

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Civile
orientamento Idraulica

Tesi di Laurea Magistrale

Bilancio idrico a scala di edificio



Relatori

Prof. Roberto Revelli
Prof. Ilaria Butera

Firma dei relatori

Candidato

Francesco Busca

Firma del candidato

Dicembre 2018

Si è liberi di riprodurre , distribuire, comunicare al pubblico, esporre, in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera alle seguenti condizioni:

- attribuzione: Bisogna attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da colui al quale è stata data quest'opera in licenza; in questo caso si tratta del Politecnico di Torino;
- non commerciale: Non si può usare quest'opera per fini commerciali;
- non opere derivate Non si può alterare o trasformare quest'opera , né usarla per crearne un'altra;
- ogni volta che si usa o si distribuisce quest'opera, lo si deve fare secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza;
- in ogni caso si possono concordare con il titolare dei diritti d'autore (il Politecnico di Torino, in questo caso) utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.

Bilancio idrico a scala di edificio

Un ringraziamento al mio relatore, Professor Roberto Revelli, per le risorse e per il tempo che ha messo a mia disposizione.

Un ringraziamento alla Professoressa Ilaria Butera per l'aiuto che mi ha sempre dato quando ne ho avuto bisogno.

Ai miei genitori Nicoletta e Massimo, a mia sorella Marta.

ABSTRACT

Ogni anno che passa, la carenza di disponibilità idrica diventa un problema sempre più radicato ed estremo. L'aumento demografico combinato con i cambiamenti climatici irreversibili peggiorano annualmente le previsioni per il futuro: nel marzo 2018 l'ONU ha stimato che 5 miliardi di persone del pianeta a metà del secolo attuale saranno colpite dall'emergenza.

Tra i tanti punti di vista attraverso i quali mettere a fuoco il problema, orientandosi su alcuni aspetti legati ad esso, il seguente elaborato si concentra sul tema dei consumi idrici domestici. Sebbene il suo contributo sul consumo idrico totale sia soggetto ad una grande variabilità in funzione dello sviluppo e dell'economia del Paese considerato, l'utilizzo di acqua a livello domestico rappresenta una fetta notevole (oltre il 10% a livello mondiale, con punto del 40% nei Paesi più sviluppati) del consumo idrico totale. E allora cosa fare per minimizzare questo contributo? L'elaborato spazia da semplici dispositivi installabili in pochi minuti nel proprio appartamento, passando per il dimensionamento di serbatoi di raccolta di acqua piovana fino a trattare casi studio di sistemi complessi di riutilizzo delle acque grigie. Lo scopo principale è duplice: minimizzazione della domanda idrica domestica dal servizio acquedottistico e riduzione dei deflussi in fognatura.

Si conclude con la trattazione in termini economici dei sistemi di riutilizzo idrico, optando poi per un'analisi dei costi per la valutazione di fattibilità economica sulla costruzione di un sistema RWH (Rainwater Harvesting) per la raccolta e il riutilizzo di acque piovane per gli usi non potabili di un edificio residenziale di 13 persone.

In Italia, così come nel resto del mondo sebbene rare eccezioni, quasi la totalità degli edifici non prevede sistemi ecosostenibili di utilizzo delle risorse idriche e l'approvvigionamento idrico proviene ancora interamente dal sistema acquedottistico tradizionale ma l'avanzamento scientifico e tecnologico raggiunti a riguardo negli ultimi anni pongono solide basi per trasformare in realtà i notevoli margini di miglioramento che interessano il Paese.

Year by year, the lack of water availability becomes an increasingly extreme problem. The demographic increase combined with irreversible climate changes annually make the forecast for the future worse: in March 2018 the ONU estimated that 5 billion people of the planet in the middle of the present century will be affected by the emergency.

Choosing between different points of view through which to focus on the problem, the following elaborate analyzes the theme of domestic water consumption. Although its contribution to the total is subject to great variability depending on the development and economy of the country considered, the use of water at the domestic level represents a significant slice (over 10% worldwide, with a 40% peak in the most developed countries) of global water consumption.

So what to do to minimize this contribution? The study ranges from simple devices that can be installed in just few minutes in your own apartment, passing through the sizing of rainwater collection tanks up to dealing with case studies of complex systems for the reuse of grey water. The main purpose is twofold: the minimization of domestic water demand from the water supply service and the reduction of drainage into sewers. In conclusion an economic treatment of water reuse systems, with the choose of a dynamic cost analysis for the assessment of economic feasibility on the construction of a RWH (Rainwater Harvesting) system for the collection and reuse of rainwater in the non-potable uses of a residential building of 13 people.

Bilancio idrico a scala di edificio

In Italy, as in the rest of the world although rare exceptions, almost all buildings do not include sustainable systems for the use of water resources and the water supply still comes entirely from the traditional network systems. The scientific and technological progress achieved in recent years lays a solid foundation for transforming the considerable margins of improvement into reality.

Parole chiave: bilancio idrico, scala residenziale, raccolta acque piovane, riutilizzo acque grigie, analisi costi

Key words: water balance, building scale, rainwater harvesting, greywater reuse, dynamic cost analysis

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	8
2. LA DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA	
2.1 Disponibilità idrica a scala mondiale.....	11
2.2 Disponibilità idrica a scala europea.....	13
2.3 Disponibilità idrica a scala italiana.....	14
3. BILANCIO IDRICO A SCALA URBANA	
3.1 Cenni generali.....	17
3.2 La rete di distribuzione idrica.....	17
3.3 Il cosiddetto “metodo tedesco”.....	25
3.4 Come risparmiare energia in città riducendo il consumo d’acqua.....	30
3.5 Bilancio idrico Comune di Castelveciana (Varese).....	31
4. IL CONSUMO IDRICO ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO	
4.1 Il ciclo dell’acqua.....	36
4.2 Il risparmio idrico negli edifici.....	37
4.3 Tariffario idrico in Italia.....	47
5. LO STUDIO DEL BILANCIO IDRICO DI EDIFICIO A LIVELLO ANALITICO	
5.1 La soluzione proposta da PELAK N., PORPORATO A. (2016) per il bilancio idrico di un edificio dotato di sistema RWH.....	52
5.2 Possibile soluzione proposta da AGUDELO-VERA C.M., KEESMAN K. J., MELS A.R., RIJNAARTS H.H. (2013) per il bilancio idrico di un edificio dotato di sistema misto di trattamento e riutilizzo di acque grigie e di raccolta delle acque piovane.....	59
6. IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE PER CONSUMI DOMESTICI: ALCUNI CASI DI STUDIO	
6.1 CASO STUDIO 1: Riutilizzo acque grigie per lo scarico WC (2008).....	71
6.2 CASO STUDIO 2: Dimensionamento impianto di raccolta di acqua piovana secondo la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012.....	76
6.3 CASO STUDIO 3: Dimensionamento sistema DRWH – Analisi a scala regionale (2012).....	81

6.4 CASO STUDIO 4: Modellazione del bilancio idrico di fonti idriche alternative a livello di edificio.	88
6.5 Considerazioni conclusive.	94
7. IL BILANCIO IDRICO NEI PROTOCOLLI DI COSTRUZIONE SOSTENIBILE	
7.1 Protocollo Itaca.	96
7.2 Protocollo Leed.	100
7.3 Protocollo Breeam.	103
7.4 Confronto finale tra protocolli.	106
8. TRATTAZIONE DELL'ASPETTO ECONOMICO LEGATI AI SISTEMI DI RIUTILIZZO DI ACQUE DI SECONDA QUALITA'	
8.1 Dimensionamento di cisterna di raccolta acque piovane basato su minimizzazione dei costi.	110
8.2 Approccio di programmazione lineare per il dimensionamento ottimale di un serbatoio di raccolta d'acqua piovana.	115
8.3 Analisi di costo in Namibia del Nord: l'acqua piovana come risorsa idrica alternativa.	128
8.4 Considerazioni finali.	137
9. IPOTESI DI INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA RWH – edificio residenziale Alba (CN) 2018	
9.1 Contatore di acqua potabile.	139
9.2 Analisi e monitoraggio dei consumi idrici di un condominio (Alba, CN – novembre 2018)	139
9.3 Dimensionamento di un serbatoio di raccolta di acque piovane.	146
9.4 Valutazione di fattibilità tecnico-economica.	150
10. CONCLUSIONI E COMMENTI.	160
11. BIBLIOGRAFIA.	162
12. BIBLIOGRAFIA WEB.	164

1. INTRODUZIONE: Perché il tema del bilancio idrico sta assumendo sempre più importanza?

Uno dei pensieri comuni più diffusi a scala globale è quello per cui si è sempre considerata l'acqua come un bene dalla disponibilità illimitata. Come molti falsi miti che ci si porta dietro dal passato, anche questo risulta essere errato e mai come oggi ce ne si può rendere conto.

Il problema della scarsità idrica risulta, inoltre, essere esponenzialmente accelerato da alcuni fenomeni che hanno caratterizzato gli ultimi decenni di vita del pianeta: aumento esponenziale della popolazione; cambiamenti climatici legati all'uso spropositato che l'uomo fa delle risorse della Terra; stagioni calde sempre più secche e torride con eventi di precipitazione estremi sono solo alcuni di questi fenomeni (Figura 1.1).



*Figura 1.1 – Sviluppo demografico terrestre e conseguente riduzione della disponibilità idrica
[Fonte: Presentazione “Soluzioni basate sulla natura e riuso delle acque reflue” di A. Rizzo]*

Risulta dunque di fondamentale importanza affrontare il problema, partendo da una visione d'insieme di esso, per poi suddividerlo nei vari rami di cui si compone; ci si concentra, in termini prettamente numerici, sulle tipologie di consumi idrici maggiormente diffusi, arrivando alla conclusione che in moltissime realtà nazionali il peso dei consumi idrici per uso civile è notevole.

Quello che si vuole sottolineare in questa parte introduttiva è che il tema del bilancio idrico a livello di edificio risulta essere estremamente attuale, così come la ricerca di soluzioni economicamente vantaggiose di riutilizzo delle acque “sporche” domestiche (le cosiddette acque grigie) e di raccolta dell'acqua piovana. A livello internazionale, l'aumento delle pressioni sulle risorse idriche e l'affermazione del concetto di “sviluppo sostenibile” hanno condotto alla definizione di importanti programmi di conservazione e di risparmio, mediante innovazioni tecnologiche e gestionali, spesso accompagnate da campagne di sensibilizzazione e da modificazioni tariffarie dell'acqua.

Il secondo capitolo si occupa di dare una visione di insieme della disponibilità idrica partendo dalla scala maggiore, quella mondiale, restringendo poi il discorso al contesto europeo e soffermandosi infine sulla situazione italiana. Risulta evidente che la tipologia di consumi che ha

subito l'aumento più marcato negli ultimi decenni è stata propria quella degli usi civili: questo conferisce ulteriore importanza al tema trattato dal seguente elaborato, ovvero uno studio approfondito del bilancio idrico a livello residenziale e quali soluzioni adottare per ottimizzarlo, riducendo i consumi ma mantenendo costante lo standard di vita dell'utenza.

Come appena accennato, l'utilizzo di acqua ad uso civile sta subendo un notevole aumento a scala globale. Secondo lo studio condotto nel Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), sono i paesi in via di sviluppo (quali Cina ed India, ad esempio) ad esserne particolarmente interessati: dagli anni '80 ai giorni nostri, il consumo di acqua per usi civili è raddoppiato nella realtà cinese ed addirittura triplicato in quella indiana.

Il discorso inizia ad entrare nello specifico nel terzo capitolo, in cui ci si concentra sull'utilizzo idrico a scala urbana, dapprima con una trattazione prettamente teorica e poi riportando un esempio di bilancio idrico di una realtà italiana. In questo esempio vengono riportati i dati reali di consumo per le varie tipologie di utilizzo idrico attraverso tabelle e grafici.

Il quarto capitolo è una sorta di introduzione al capitolo successivo, in cui viene preparato il terreno per la trattazione del bilancio idrico a scala di edificio attraverso un'introduzione sul percorso che l'acqua segue all'interno dell'edificio, con un breve approfondimento dei vari passaggi. Nello stesso, viene anche riportato il frutto di una ricerca in termine di dispositivi ed accorgimenti (molti dei quali attuabili in modo semplice ed economico) attraverso i quali poter ridurre il consumo idrico tramite il riutilizzo dell'acqua domestica (acqua grigia). Per la gestione del ciclo dell'acqua, il riutilizzo delle acque reflue depurate rappresenta un approccio evoluto per un uso razionale della risorsa idrica. Il vantaggio economico del riutilizzo risiede nel fornire un approvvigionamento idrico alternativo, valido perlomeno per gli usi non potabili.

Il capitolo si conclude con un approccio prevalentemente economico a riguardo, dando una visione di insieme del tariffario idrico italiano, confrontato con gli altri Paesi dell'Unione Europea.

È poi con il quinto capitolo che si entra nel cuore dell'elaborato: lo scopo è quello di approcciare il tema che dà il titolo all'elaborato da un punto prettamente analitico.

Nella prima parte si analizza nel dettaglio uno studio di Pelak e Porporato (2016), incentrato sul dimensionamento ottimale (in termini economici) di una cisterna volta alla raccolta di acqua piovana per il riutilizzo domestico non potabile. Lo studio è interessante perché passa necessariamente attraverso la realizzazione un bilancio di massa del quantitativo idrico che interessa l'edificio, proponendo un proprio modello.

Successivamente si è proposto un secondo modello di bilancio idrico a scala di edificio, ovvero lo studio di Agudelo-Vera, Keesman, Mels, Rijnaarts (2013): nonostante risulti antecedente allo studio di Pelak, Porporato, introduce un volume non considerato da quest'ultimo: l'acqua grigia trattata e riutilizzata. In questo studio l'acqua proveniente dalle cucine, dai lavandini dei bagni e dalle docce viene raccolta in un primo serbatoio sotterraneo di raccolta, da cui poi passa alla cisterna di trattamento (secondo serbatoio) e in seguito al serbatoio finale, che raccoglie insieme acqua piovana catturata dal tetto e acque grigie trattate. Il tutto viene riutilizzato per soddisfare la domanda idrica di lavanderia e WC, per poi essere immesso nel recapito finale, ossia la fognatura. Obiettivo del riutilizzo è la limitazione del prelievo delle acque superficiali e

sotterranee, la riduzione dell'impatto degli scarichi sui corpi idrici recettori, il risparmio attraverso l'utilizzo multiplo delle acque reflue.

Una volta data l'inquadratura più strettamente "ingegneristica" al problema, con il sesto capitolo si passano in rassegna diversi casi studio raccolti in letteratura.

Ognuno dei casi riportati è stato inserito in quanto si differenzia dagli altri per la tematica trattata, senza perdere di vista il fulcro dell'elaborato: da un dimensionamento prettamente analitico di serbatoi di raccolta delle acque piovane si passa ad un sistema innovativo di riutilizzo di acque grigie provenienti dai lavandini come scarico dei gabinetti, per poi trattare un confronto tra i consumi di un appartamento in complesso residenziale con una casa indipendente provvista di pozzo di raccolta, ...

Ma quanto il problema dell'eccesso dei consumi idrici domestici viene tenuto in conto nella costruzione di un nuovo edificio? L'installazione di sistemi di riutilizzo, e quindi risparmio, di acqua domestica e/o piovana comporta dei vantaggi/incentivi? È quanto si affronta nel settimo capitolo, in cui viene sostanzialmente confrontata l'importanza data al tema idrico a livello di edificio da tre diversi protocolli di certificazione ambientale in vigore, il primo italiano e gli altri due internazionali.

L'ottavo capitolo rielabora tre diversi studi effettuati negli ultimi anni e che trattano quanto visto nel precedente capitolo in termini economici: quanto un sistema RWH (Rainwater Harvesting, ossia raccolta di acqua piovana) risulta finanziariamente conveniente? A quale scala? E quali sono i parametri che ne influenzano la fattibilità economica?

Una delle analisi dinamiche di costo analizzata nel capitolo 8 viene poi applicata ad un'analisi condotta sui consumi idrici di un edificio residenziale ad Alba, in provincia di Cuneo. Il nono capitolo riporta tale studio, presentando le caratteristiche generali del sito, le modalità con cui l'indagine è stata condotta e i risultati ottenuti. In allegato vengono riportate le tabelle e i grafici di consumo idrico giornaliero complessivo, pro-capite dei consumi idrici, differenziando tra fasce orarie e tra giorni feriali e festivi.

Seguono le conclusioni con i commenti finali, bibliografia e bibliografia web.

2. LA DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA

2.1 Disponibilità idrica a scala mondiale

Il 71% della superficie terrestre è ricoperta di acqua. La distribuzione della risorsa idrica mondiale è riassunta in Figura 2.1.

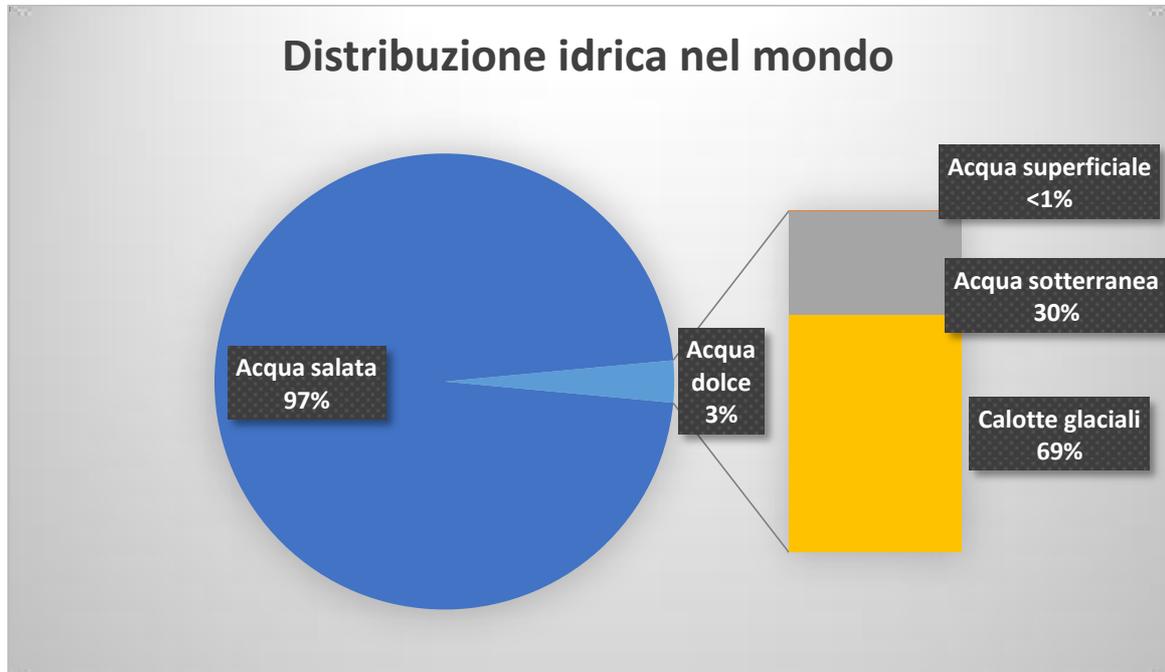


Figura 2.1 – Distribuzione dell'acqua globale [Fonte: USGS – United States Geological Survey]

Come è possibile vedere dalla Figura 2.1, il 69% dell'acqua dolce presente sulla superficie terrestre non è disponibile all'uso immediato in quanto sotto forma di ghiacciai.

Ad aggravare la situazione idrica mondiale è stato la rapida crescita demografica dell'ultimo secolo, che ha portato il valore di 17.000 m³ all'anno per abitante di disponibilità idrica nel 1950 ad abbassarsi a poco più di 7.000 m³ all'inizio del secolo corrente; entro il 2025 è previsto un'ulteriore riduzione del valore a 5.100 m³ (Fanizzi, 2008). Si tratta di una riduzione superiore al 70% in un arco temporale inferiore al secolo.

Già nel 2000, per una popolazione mondiale stimata di circa 6 miliardi di persone, risultava che:

- il 16,7% avesse acqua in sovrabbondanza;
- il 34,7% fosse in condizioni di insufficienza;
- il 24,5% fosse in condizione di stress idrico;
- il 7,8% fosse in condizione di scarsità.

Entro il 2025 è previsto una popolazione mondiale di 8 miliardi, corrispondente ad un incremento del 33% nel solo primo quarto di secolo corrente.

Di seguito in Tabella 2.1, evidenzia il cambiamento che ha subito il valore pro-capite di acqua dolce disponibile in diverse realtà territoriali in poco più di 50 anni, a causa dell'aumento

Bilancio idrico a scala di edificio

demografico e dei cambiamenti climatici. Spicca la riduzione percentuale degli Emirati Arabi del 99%, legata all'aumento esponenziale della popolazione a partire dagli anni '60; la media dei Paesi dell'Unione Europea mostra il dato migliore tra quelli esposti in Tabella 2.1, seppur si tratti di una riduzione del 16% tra il 1967 e il 2014.

Paese	1967 [m ³]	2014 [m ³]	Variazione [%]
Terra	13395	5919	-44
Nord America	27628	16006	-42
Sud America	59607	22232	-63
Cina	4225	2062	-51
India	3091	1118	-64
Giappone	4487	3378	-25
Unione Europea	3526	2961	-16
Australia	45802	20971	-54
Africa Nord	2069	549	-73
Africa Subsaariana	18301	3969	-78
Emirati Arabi	1334	17	-99

Tabella 2.1 – Acqua dolce rinnovabile pro-capite [Fonte: The World Bank]

La Tabella 2.2 invece mostra l'andamento dei consumi idrici ad uso civile nei principali Paesi del mondo, mostrando la notevole variabilità di valori.

PAESE	CONSUMI CIVILI [l/ab/gg]
Canada	751
Usa	564
Italia	381
Giappone	374
Colombia	343
Argentina	334
Grecia	326
Spagna	325
Israele	275
Francia	273
Austria	247
Cile	243
Kuwait	235
Turchia	219
Danimarca	207
Germania	193
Egitto	187
Brasile	177
Irlanda	177
India	131

Bilancio idrico a scala di edificio

Giordania	100
Tunisia	99
Cina	87
Bolivia	56
Yemen	36
Burkina Faso	21
Burundi	17

Tabella 2.2 – Consumi idrici ad uso civile nel mondo [Fonte su consumi idrici: Geo Data Portal dell'UNEP; fonte su dati popolazione: International Data Base dell'U.S. Census Bureau]

La variabilità dei dati così netta che la Tabella 2.2 evidenzia è legata a diversi fattori. Innanzitutto la disponibilità idrica del Paese considerato ha una notevole incidenza: i consumi di un Paese africano, quale per esempio il Burkina Faso, non potranno mai essere paragonabili a quelli di uno stato europeo qualunque.

Un altro dei fattori determinati è lo stato di sviluppo di un Paese, che inevitabilmente comporta un determinato standard di vita e, di conseguenza, di consumi (per esempio, gli Stati Uniti presentano un valore di consumo pro-capite pari a 564 litri giornalieri, pari a più del doppio di un Paese più arretrato, come per esempio il Brasile con i suoi 177 litri).

2.2 Disponibilità idrica a scala europea

PAESE	1967 [m ³]	2014 [m ³]	Variazione [%]
Unione Europea	3.526	2.961	-16
Spagna	3.584	2.392	-33
Portogallo	4.225	3.653	-14
Grecia	6.865	5.325	-22
Austria	7.714	6.439	-17
Belgio	1.301	1.071	-18
Bulgaria	2.621	2.907	+11
Cipro	1.350	677	-50
Danimarca	1291	1063	-18
Finlandia	23.823	19.592	-18
Francia	4.156	3.015	-27
Germania	1.445	1.321	-9
Irlanda	17.278	10.612	-39
Lussemburgo	3.118	1.798	-42
Malta	156	118	-24
Paesi Bassi	932	652	-30
Polonia	1.768	1.410	-20
Regno Unito	2.273	2.244	-1
Romania	2.269	2.129	-6
Svezia	22.614	17.636	-22
Ungheria	596	608	+2

Tabella 2.3 – Disponibilità di acqua dolce pro-capite [Fonte: The World Bank]

I dati della Tabella 2.3 mostrano la variazione che il dato di volume idrico pro-capite a disposizione ha subito dal 1967 al 2014, mettendo in risalto, salvo rare eccezioni, un calo generale europeo (si parla di circa un 16%).

Per esempio sono solamente due i casi interessati da un incremento: Bulgaria (+11%) e Ungheria (+2%).

I picchi negativi più preoccupanti riguardano lo Stato di Cipro (-50%), Lussemburgo (-42%) e Irlanda (39%). In Italia il dato risulta essere in linea con l'andamento europeo (-16%).

La disuniformità di risorse idriche è notevole se, per esempio, si confrontano Paesi estremamente ricchi (come la Finlandia e la Svezia) con paesi poveri di acqua (come Malta), con una proporzione spaventosa di quasi 150 a 1 tra i Paesi appena citati. Questa differenza dipende da diversi fattori, tra cui principalmente il posizionamento geografico, la presenza di ghiacciai importanti, il numero di abitanti.

La carenza idrica è un fenomeno allarmante che riguarda l'11% della popolazione europea. Il costo stimato per sopperire alla siccità è stato di 100 milioni negli ultimi trenta anni.

A peggiorare la situazione, si stima che lo spreco di acqua nel continente sia compreso tra il 20 e il 40% (perdite in rete, irrigazione inutile, perdite da rubinetti).

In futuro (entro il 2030), i consumi (domestici, industriali ed agricoli) potrebbero lievitare del 16%.

2.3 Disponibilità idrica a scala italiana

In Italia la disponibilità annua teorica di acqua è di 155 miliardi di m³, il che corrisponde a 2700 m³ pro-capite; entrambi i valori vengono ridotti, rispettivamente, a 110 miliardi di m³ e 2000 m³ a causa di inefficienze ed irregolarità dei flussi (Gruppo Hera).

L'acqua effettivamente utilizzabile scende a 42 miliardi di m³ (che equivalgono a 764 m³ a persona all'anno e poco più di 2000 litri a persona al giorno), di cui 8 m³ destinati all'utilizzo civile.

Il 15% della popolazione italiana (8 milioni di persone, principalmente concentrate nelle regioni meridionali e nelle isole) è sotto la soglia di fabbisogno idrico minimo di 50 litri al giorno a persona per 4 mesi all'anno.

Inoltre, in tutto il bacino del Mediterraneo (compresa l'Italia), negli ultimi 100 anni si è verificata una riduzione delle precipitazioni estive di circa il 20%, con aumento della temperatura media di 1,5°C.

In qualsiasi caso, l'IRSA (Istituto di Ricerca sulle Acque) riporta che le precipitazioni nel Paese italiano sono di 296 miliardi di m³ che, depurati dal quantitativo di evaporazione, si riducono a 155 miliardi di m³ di risorse superficiali e 13 miliardi di m³ sotterranee.

Dunque 168 miliardi di m³ è il totale della risorsa idrica che in Italia annualmente si rigenera, il che si traduce in un quantitativo di 2800 m³ per abitante, dato notevolmente superiore a molte realtà europee. Il dato teorico di risorsa idrica "rinnovabile" di 2800 m³ sembra superare il dato precedentemente riportato (2700 m³) di disponibilità annua teorica di acqua pro-capite. In realtà non è così in quanto le precipitazioni sono distribuite in modo molto irregolare nel corso dei 12 mesi: la maggior parte di esse si manifesta tra il mese di ottobre e quello di marzo. Questo significa che una buona parte del deflusso superficiale teoricamente accumulabile non è effettivamente utilizzabile.

Bilancio idrico a scala di edificio

Infatti gran parte delle piogge si verificano nel periodo che va da ottobre a marzo.

La non regolarità delle precipitazioni a scala annuale si traduce nella necessità di serbatoi con dimensioni eccessivamente grandi affinché la disponibilità idrica venga sfruttata a pieno.

Se si volesse utilizzare questo deflusso totalmente, soprattutto nel periodo estivo (usi irrigui) sarebbero necessari serbatoi dalle dimensioni abnormi.

Questa caratteristica tipica di un clima mediterraneo rende la reale disponibilità di risorsa idrica dell'Italia inferiore a molti Paesi del Nord Europa con distribuzione continua delle precipitazioni durante l'anno.

Inoltre non si è considerata la compatibilità con la qualità dell'acqua delle falde acquifere e dei fiumi: durante l'estate, un prelievo spropositato delle risorse idriche è in netto contrasto con il mantenimento del deflusso idrico naturale minimo, necessario per la sopravvivenza dell'ecosistema del corso d'acqua e per la diluizione degli inquinanti scaricati in esso.

Le risorse non risultano distribuite in modo uniforme nemmeno sul territorio, con precipitazioni intense e bacini di grosse dimensioni al Nord a contrasto con fenomeni di siccità rilevanti e corsi irregolari nelle regioni meridionali. In Tabella 2.4 risulta evidente la suddetta disuniformità.

COMPARTIMENTO IDROGRAFICO	DISPONIBILITA' [10⁶ m³/anno]	DISPONIBILITA' PRO-CAPITE [m³/ab/anno]
Bacino del Po	20.586	1.334
Nord-est	12.660	1.975
Liguria	679	377
Romagna-Marche	1.615	478
Toscana	983	275
Lazio-Umbria	2.525	437
Abruzzo-Molise	2.702	1.755
Puglia	848	220
Campania	2.166	400
Calabria-Lucania	3.109	1.180
Sicilia	1.889	388
Sardegna	2.058	1.298
ITALIA	51.819	921

Tabella 2.4 – Distribuzione di risorsa idrica in Italia [Fonte: IRSA-CNR, 1999]

Un'indagine dell'Istat (Istituto Nazionale di Statistica) del 2005 ha mostrato come i consumi di acqua per usi civili in Italia stiano procedendo verso una stabilizzazione, in ritardo rispetto a quella che ha interessato i consumi idrici per irrigazione e per il settore industriale negli anni '90.

Un altro problema che interessa particolarmente l'Italia è la percentuale di perdita d'acqua nelle condotte idriche, del 30% in media con picchi del 50% nelle regioni meridionali ed in Sardegna.

In questa percentuale bisogna tenere conto di due contributi:

- perdite di rete effettive, distribuite lungo il sistema di distribuzione;
- acque erogate e non fatturate (prelievi non autorizzati, fornitura gratuita di acqua riguardante alcuni enti).

Bilancio idrico a scala di edificio

Il margine di miglioramento italiano in termini di consumo idrico è elevato, in particolar modo per quanto riguarda gli utilizzi civili, i quali risultano notevolmente superiori a molti altri Paesi europei: solo due regioni (Puglia ed Umbria) hanno registrato negli ultimi anni un consumo inferiore a 200 l giornalieri pro-capite.

In molte Regioni il valore supera addirittura la soglia dei 300 l giornalieri per abitante.

In Italia il concetto di BILANCIO IDRICO è stato introdotto dal Decreto del Ministero dei lavori pubblici dell'8 gennaio 1997 n.99.

Con questo decreto i gestori del Servizio Idrico Integrato hanno l'obbligo di valutare annualmente le perdite idriche in rete, attraverso una serie di indicatori, e poi di comunicarle al Ministero dei lavori pubblici.

La valutazione viene eseguita sia sugli impianti di acquedotto dalla captazione all'utenza, sia sugli impianti di fognatura dall'utenza al recapito finale (depuratore).

Nel 2016 secondo gli studi di Utilitalia e Italia Sicura, il consumo idrico giornaliero è di 241 litri pro-capite, tra cui 40 litri per il servizio doccia, 40 litri per la cucina, 20 litri per il lavabo del bagno, 16 litri wc, ...

Il dato italiano risulta essere notevolmente superiore alla media europea, tanto che l'Italia occupava la terza posizione nella classifica mondiale di consumo idrico, dietro a Canada e Stati Uniti (Fanizzi, 2008).

Un altro discorso è invece quello legato alla ripartizione della risorsa nei diversi usi, che dipende molto dal sistema produttivo del paese considerato. Per esempio l'Italia si differenzia dagli altri Paesi europei sotto questo aspetto, in quanto caratterizzata da un settore agricolo predominante e responsabile di gran parte del prelievo idrico nazionale.

La Tabella 2.5 mostra la ripartizione di prelievo idrico tra i diversi utilizzi nelle diverse macroregioni italiane.

	CIVILI [10 ⁶ m ³ /anno]	INDUSTRIALI [10 ⁶ m ³ /anno]	IRRIGUI [10 ⁶ m ³ /anno]	ENERGIA [10 ⁶ m ³ /anno]	TOTALE [10 ⁶ m ³ /anno]
Nord-ovest	2268	3520	8193	1863	15844
Nord-est	1453	1648	5277	2538	10915
Centro	1618	1482	970	72	4142
Sud	1803	879	3506	36	6223
Isole	798	457	2191	0	3447
Italia	7940	7986	20136	4509	40571

Tabella 2.5 – Ripartizione dei consumi idrici in Italia [Fonte: IRSA-CNR 1999]

In termini percentuali, il prelievo idrico è così suddiviso:

- uso irriguo 49,6%;
- uso industriale 19,7%;
- uso civile 19,6%;
- uso energetico 11,1%.

3. BILANCIO IDRICO A SCALA URBANA

3.1 Cenni generali

Al fine di realizzare lo sviluppo della sostenibilità idrica a scala urbana, quattro sono gli obiettivi principali (Bizzarri, Di Federico, Di Federico, Mazzacane, 2000):

- riduzione del volume totale richiesto al sistema acquedottistico;
- minimizzazione della percentuale di superficie impermeabile della città, prevedendo la progettazione di edifici di nuova costruzione capaci di raccogliere e riutilizzare il più possibile l'acqua interna di utilizzo e l'acqua piovana captata;
- restituzione dell'acqua al punto di captazione più vicino, riducendo al minimo il percorso idrico;
- necessità di un adeguato sistema di trattamento delle acque restituite ai corpi idrici.

La Legge 5 gennaio 1994, n.36 "Disposizioni in materia di risorse idriche" (1), mira a salvaguardare il patrimonio idrico promuovendo risparmio dell'acqua al fine di consentire annualmente un consumo inferiore alla capacità di rigenerazione idrica del Paese, mantenendo sotto controllo la situazione ed evitando casi futuri di scarsità acuta.

Il D. Lgs. 8 gennaio 1997, n.99 "Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature" (2), obbliga i gestori del sistema acquedottistico italiano a comunicare al Ministero dei Lavori Pubblici documenti dettagliati sui bilanci idrici annuali, quantificazione delle perdite. In caso di anomalie da questo punto di vista, è necessario produrre piani di contenimento delle perdite.

Sono state citate alcuni esempi di normativa italiana,(1) e (2), che trattano nel modo specifico il bilancio idrico a livello urbano.

3.2 Le reti di distribuzione idrica

A scala urbana, è bene subito sottolineare come il principale problema dell'inefficienza della rete di approvvigionamento idrico (acquedotto) è l'elevata percentuale di perdite localizzate distribuite lungo la stessa.

In Italia, un'indagine del 1991 dell'ISTAT (Istituto Nazionale di statistica) parla di una perdita idrica (ad uso civile) annuale di circa 8 Gm³. In termini percentuali questo significa una media del 27% sul totale, con punte del 46%.

Su una rete di distribuzione idrica nazionale di 150.000 chilometri, si stima che circa un buon 30% di essa richiederebbe un ingente lavoro di manutenzione e, in alcuni casi, di completa sostituzione al fine di migliorare l'efficienza del sistema complessivo, da cui si trarrebbero vantaggi sia economici che ambientali (Bizzarri A., Di Federico I., Di Federico I., Mazzacane S., 2000).

Un buon 10% di questa perdita avviene nella fase di "adduzione", ovvero nel tratto che va dal prelievo dell'acqua al suo inserimento in rete in seguito a potabilizzazione. La restante percentuale rappresenta la differenza tra il volume idrico introdotto in rete e quello effettivamente pervenuto all'utenza, ed è costituito da due tipologie di perdita.

Bilancio idrico a scala di edificio

- “Perdita Reale”, ovvero il quantitativo idrico rilasciato lungo il percorso di distribuzione dell’acqua a causa di rotture delle tubazioni, compromissione dei giunti, malfunzionamento dello scarico di overflow.
Si tratta di circa il 27% sul totale di prelievo idrico, ossia il 90% delle perdite, pari a circa 2 miliardi di m³ annuali in Italia.
- “Perdita Apparente”, tra cui prelievi abusivi, prelievi autorizzati senza contatore, sfiori di overflow, usi interni per manutenzione degli impianti e imprecisione degli strumenti di misura. In questa categoria rientrano anche quei prelievi non contabilizzati in quanto legati ad accordi antichi che contemplano la gratuità della fornitura idrica (vedi Città del Vaticano).
Questo contributo corrisponde a circa il 3% sul totale di prelievo idrico, ovvero il 10% delle perdite.

Bisogna tenere conto, però, del fatto che una percentuale di perdita acquedottistica è fisiologica. Infatti l’AWWA (American Water Work Association) ha condotto uno studio dal quale è emerso che circa il 10% del volume idrico introdotto in rete è il valore limite sotto il quale il vantaggio economico ottenuto dagli interventi di modernizzazione della rete viene superato dal costo necessario per eseguirli.

Comunque, risulta chiaro che un piano di gestione razionale del servizio pubblico idrico non può tollerare gli sprechi ingiustificati, a maggior ragione perché si tratta di un notevole quantitativo di acqua che, in qualche modo, viene irreversibilmente perso senza aver ricavato alcun vantaggio da esso.

Entrando in uno studio più approfondito dello studio dell’inefficienza di rete, si procede ad analizzare le varie fasi di cui si costituisce il processo di distribuzione dell’acqua di servizio.

1) Fase di Adduzione

In questa fase l’acqua viene portata dal punto di prelievo all’impianto di potabilizzazione e quindi immessa in rete.

Le perdite che avvengono in questo tratto possono essere di tipo distribuito lungo la tubazione ma, principalmente, sono legate agli sfiori di acqua in ingresso all’impianto di potabilizzazione. Questa è l’unica fase dell’intero processo in cui le perdite “apparenti” superano quelle “reali”.

Ma perché i gestori degli impianti di distribuzione delle acque non prevedono uno studio accurato sulla capacità di trattamento degli impianti di potabilizzazione, in modo da eliminare gli sprechi di acqua in eccesso?

Nel caso di prelievo di acqua da sorgenti o corsi d’acqua, dove il gestore ha la concessione di prelevare una fissata portata nell’unità di tempo, per assicurarsi di avere sempre una rete di distribuzione che lavora a pieno regime (massimizzazione del ricavo) egli preferisce prelevare il massimo consentito. Se poi è stato prelevato un quantitativo d’acqua superiore alla capacità dell’impianto, quello in eccesso verrà condotto verso il corso d’acqua più vicino o, nei casi peggiori, in fognatura.

Se invece l’acqua distribuita dall’impianto proviene da falda acquifera, solitamente questo spreco è minimizzato o rimosso in quanto il gestore si fa carico del costo necessario a alimentare le pompe di sollevamento.

2) Fase di Potabilizzazione

A questa fase non sono legati sprechi oltre ai già citati sfiori di overflow che, però, sono attribuiti alla fase precedente di adduzione.

3) Immissione in rete

4) Fase di Distribuzione

È la fase in cui avviene la maggior parte delle perdite, di cui una piccola percentuale di tipo “apparente”.

Le principali cause dell'inefficienza del sistema di distribuzione sono:

- rottura delle tubazioni;
- compromissione dei giunti;
- malfunzionamento dello scarico di overflow;
- scarico incontrollato delle acque grezze.

La rottura della tubazione, principale causa dell'inefficienza del sistema di approvvigionamento idrico, provoca una perdita di acqua che varia in funzione della pressione in rete e del tempo intercorso tra rottura e sostituzione.

L'intervento può avvenire:

- a priori: esistono studi di affidabilità, analizzati nello specifico nel corso del paragrafo, legati alla prevenzione delle rotture;
- a posteriori: a rottura già avvenuta, mira a lavorare sulla sua individuazione e quindi riparazione. In questo caso è importante analizzare i bilanci idrici.

Si ricorre (Bizzarri, Di Federico I., Di Federico V., Mazzacane, 2000) a due possibili metodologie per affrontare il problema:

- **RICERCA E CONTENIMENTO DELLE PERDITE OCCULTE**

Metodo con cui si agisce sul problema già avvenuto, ricorrendo, attraverso analisi costi-benefici, a metodi classici di ricerca della perdita.

- **STUDI DI AFFIDABILITA' DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE IDRICA URBANA**

Invece in questo caso si cerca di evitare che la perdita si verifichi, attraverso uno studio di affidabilità della rete basato sul legame che intercorre tra la probabilità di rottura delle tubazioni e le loro caratteristiche (dimensioni, età, materiale) e i fattori esterni alla tubazione (caratteristiche del terreno di posa, presenza di falde acquifere, compresenza di più reti di servizio).

Ciascuna di questa correlazione ha il proprio peso nello studio di affidabilità, il quale consente di mettere in sicurezza la tubazione attraverso la sostituzione delle sue componenti prima che esse si danneggino.

Questa analisi di affidabilità consente di conoscere in tempo reale, attraverso la raccolta di dati, analisi statistiche e algoritmi che lavorano in automatico, la distribuzione temporale e spaziale delle future rotture individuando le zone critiche della tubazione. Lo scopo finale è quello di sviluppare programmi di prevenzione delle rotture, il cui lavoro è seguito automaticamente da un programma capace di stabilire la tipologia di intervento migliore.

Redazione ed analisi dei bilanci idrici

In che modo individuazione delle perdite e bilanci idrici sono collegati?

Valutando la differenza di volume d'acqua immesso nella rete e il volume che giunge a destinazione (effettivamente consumato), è possibile individuare una perdita e valutarne l'ordine di grandezza.

La valutazione di questa differenza di volumi è valutata su tutti e 4 i livelli di cui si costituisce il servizio acquedottistico italiano, ovvero:

- impianti di trattamento;
- impianti di trasporto primario;
- impianti di trasporto secondario;
- impianti di distribuzione.

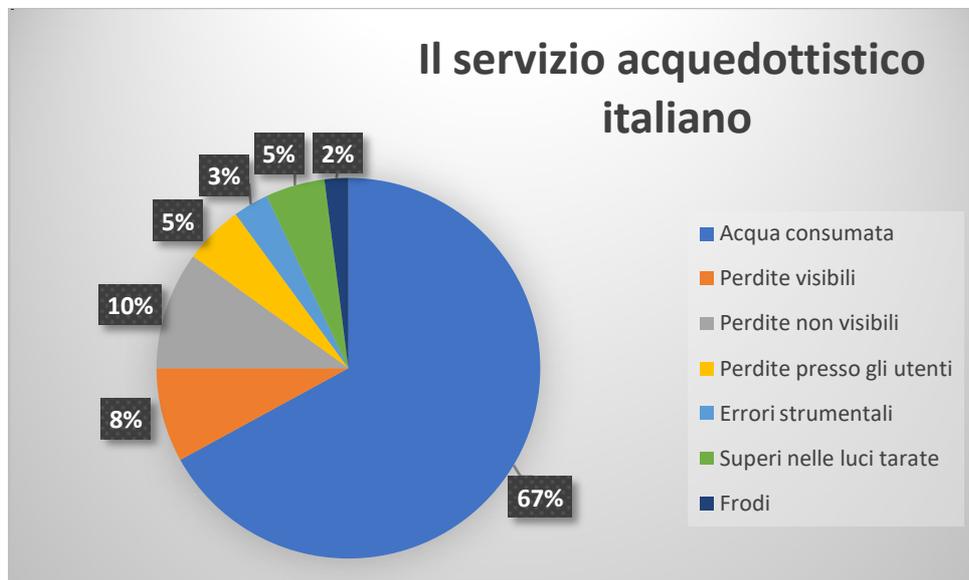


Figura 3.1 – Bilancio idrico complessivo italiano [Fonte: ACEA]

La Figura 3.1 illustra i risultati di uno studio dell'ACEA, Azienda Comunale Elettricità e Acqua di Roma in merito alla situazione italiana.

Il già citato Decreto del 8 gennaio 1997, n.99 richiede elevata precisione sulla distinzione dei contributi che costituiscono il bilancio idrico, al fine di mettere in luce l'effettiva quota di perdita idrica.

Individuazione della perdita

Il caso più semplice da individuare è quello di frattura di tubazione che comporta la fuoriuscita in superficie (anche se il più delle volte nelle cantine) di acqua. Il problema sta nel fatto che nella maggioranza dei casi l'acqua fuoriuscita viene catturata dalla tubazione di fognatura adiacente così che non c'è alcuna evidenza esterna capace di annunciare la presenza di una perdita.

Si tratta delle perdite più difficili da individuare e, al tempo stesso, le più gravi e dispendiose in termini economici, in quanto il tempo che passa tra l'insorgenza della frattura e la sua individuazione e riparazione può essere molto lungo.

Questo si traduce in un doppio danno:

- perdita di acqua comunque pagata dal gestore e non commercializzata, che comporta costi più alti che generano ulteriori costi, dati dall'aumento del consumo idrico, che a sua volta comporta una modifica del tariffario idrico e un costo aggiuntivo legato all'aumento del volume idrico in fogna che necessita di un trattamento;
- nei punti di perdita, avviene una notevole riduzione della pressione idrica che espone l'impianto acquedottistico (distributore acqua potabile) al rischio inquinamento.

La procedura che si segue è la seguente:

- Scoperta

Si è già accennato al bilancio di volumi entranti ed uscenti: vengono utilizzati misuratori di portata, azionati nelle ore notturne in cui i consumi domestici sono costanti e ridotti al minimo ed è più semplice mettere in evidenza una possibile perdita.

Stabilito una portata caratteristica notturna in quel distretto considerato, il misuratore è in grado di individuare valori di portate notevolmente differenti da quella media.

- Individuazione puntuale

Una volta assodato che sta avvenendo una perdita, il problema diventa individuare la sua posizione. I segnali più evidenti da cui trarre informazioni a riguardo sono: saturazione del terreno, vibrazioni meccaniche legate al movimento d'acqua, campo magnetico distorto.

L'indagine di individuazione di vibrazioni meccaniche può essere condotta con tre diverse metodologie:

- Microfono a diretto contatto con la tubazione
- Rilevazione tramite geofono
- Metodo della correlazione

- Riparazione

Riparazione che può avvenire andando ad agire localmente nel punto interessato o intervenendo su un più ampio tratto della tubazione. Questo discorso, però, confina con problemi di tipo strutturale e non verrà approfondito.

Perdite idriche – parametri di valutazione

I parametri che descrivono le perdite idriche sono indici adimensionali con valore compreso tra 0 e 1. I primi quattro parametri valutano il rendimento del sistema sotto punti di vista diversi, mentre gli ultimi due indici quantificano le perdite idriche sul totale.

- Rendimento al trattamento RT

$$RT = \frac{V_{uscita\ impianti}}{V_{ingresso\ impianti}} \quad (3.1)$$

L'Equazione (3.1) mostra un rapporto adimensionale tra il volume effettivamente in uscita dagli impianti di trattamento ed il volume totale in ingresso. L'intenzione è quella di valutare numericamente l'efficienza dell'impianto trattato e, al tempo stesso, quantificare il volume di acqua sprecato in questa fase.

Bilancio idrico a scala di edificio

- Rendimento primario R_1

$$R_1 = \frac{V_{utenza \text{ ,misurato}}}{V_{ingresso \text{ impianti}}} \quad (3.2)$$

L'Equazione (3.2) esprime, tramite un parametro adimensionale, quanta acqua effettivamente è giunta (cioè è stata misurata) all'utenza rispetto al volume totale passato attraverso l'impianto di trattamento.

- Rendimento al consumo R_2

$$R_2 = \frac{V_{utenza \text{ ,misurato}} + V_{utenza \text{ ,non misurato}}}{V_{ingresso \text{ impianti}}} \quad (3.3)$$

Il rendimento al consumo di Equazione (3.3) presenta una sottile differenza rispetto al rendimento primario R_1 : nel conteggio volumetrico è inclusa anche la componente consumata dall'utenza ma di cui è indisponibile la misurazione. In questo modo si fa una stima del rendimento legato all'effettivo consumo idrico.

- Rendimento al consumo R_3

$$R_3 = \frac{V_{utenza \text{ ,misurato}} + V_{utenza \text{ ,non misurato}} + V_{perso \text{ ,manutenzione}}}{V_{ingresso \text{ impianti}}} \quad (3.4)$$

R_3 prende il nominativo di "Rendimento al consumo" come R_2 ma, come evidente in Equazione (3.4), considera una componente di volume in più, ovvero il volume perso per manutenzione. Questo volume può essere considerato comunque come una componente di consumo.

- Indice delle perdite totali di distribuzione P_1

$$P_1 = \frac{V_{perso \text{ ,distribuzione}}}{V_{ingresso \text{ ,distribuzione}}} \quad (3.5)$$

L'indice P_1 dà un'idea generale della quantità di acqua persa durante tutto il percorso in distribuzione rispetto a quella effettivamente introdotta in rete (riferimento a Equazione 3.5).

- Indice dell'acqua non servita all'utenza P_2

$$P_2 = \frac{V_{ingresso \text{ ,distribuzione}} - V_{utenza \text{ ,misurato}} - V_{utenza \text{ ,non misurato}}}{V_{ingresso \text{ ,distribuito}}} \quad (3.6)$$

Nell'indice P_2 di Equazione (3.6) non si parla prettamente di "perdita" come per l'Equazione (3.5) poiché il volume considerato al numeratore rappresenta effettivamente un quantitativo volumetrico che tiene conto non solo delle perdite lungo la rete di

distribuzione ma anche del volume perso in fase di trattamento, di volume consegnato ad altri sistemi acquedottistici, ...

Per questo motivo, per tutti i centri abitati analizzati, P_2 risulta sempre maggiore o, al massimo, uguale a P_1 .

I parametri appena trattati non sono sufficienti a dare una descrizione completa del problema dell'inefficienza idrica delle reti italiane.

Infatti, è necessario tener conto anche dell'estensione della rete considerata, in quanto la probabilità di individuare una perdita aumenta con l'aumentare della lunghezza di rete (Equazione 3.7) e con la superficie interna delle condotte (Equazione 3.8).

Per questo motivo, nei prossimi cinque indici di perdita idrica, ve ne sono alcuni che descrivono le "perdite specifiche" ovvero perdite per unità di lunghezza/superficie. Non si tratta di indici adimensionali compresi tra 0 e 1, come nel caso precedente.

- Indice lineare delle perdite totali I_1

$$I_1 = \frac{V_{perso, distribuzione}}{L_{rete}} \quad (3.7)$$

L'Equazione (3.7) è un indice di perdita idrica della rete valutata per unità di lunghezza della rete. Infatti la conoscenza del singolo valore di volume d'acqua perso non è sufficiente per confrontare la reale efficienza delle reti comunali.

Usando la scala dei m^3/km giornalieri persi, è utile riportare un confronto tra la situazione italiana e quella di uno dei Paesi più efficienti da questo punto di vista: i Paesi Bassi.

Nei Paesi Bassi, I_1 varia tra 1 e 5 $m^3/km/giorno$, mentre il valore italiano, che varia molto in base alle Regioni, passa da 9 $m^3/km/giorno$ in Emilia Romagna a 100 $m^3/km/giorno$ nelle regioni meridionali. La media nazionale è di 20 $m^3/km/giorno$.

Risulta chiaro che il margine di miglioramento italiano è decisamente elevato, con l'obiettivo di rientrare in un futuro prossimo nei 5,5 $m^3/km/giorno$ (obiettivo del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna, una delle Regioni italiane più attive in questo senso).

- Indice superficiale delle perdite totali I_2

$$I_2 = \frac{V_{perso, distribuzione}}{A_{interna, condotte}} \quad (3.8)$$

Mentre l'Equazione (3.7) mostra l'influenza della lunghezza della rete, l'indice espresso in Equazione (3.8) distingue le reti in funzione del diametro delle condotte considerate, parametro che si riflette sul denominatore dell'indice. Infatti una condotta con diametro più grande, e quindi area interna maggiore, presenta indubbiamente una probabilità di rottura maggiore.

Bilancio idrico a scala di edificio

- Indice lineare di consumo netto I_4

$$I_4 = \frac{V_{utenza, misurato} + V_{utenza, non misurato} + V_{perso, manutenzione}}{L_{rete}} \quad (3.9)$$

L'indice lineare di consumo netto, espresso in Equazione (3.9), presenta la stessa unità di misura dell'indice lineare delle perdite totali di Equazione (3.7). La differenza sta nel fatto che, mentre I_1 rapporta il volume effettivamente perso in distribuzione alla lunghezza della rete, I_4 considera le componenti di volume effettivamente utilizzate dall'utenza (misurate e non) e il volume perso per manutenzione.

- Indice demografico di consumo netto I_5

$$I_5 = \frac{V_{utenza, misurato} + V_{utenza, non misurato} + V_{perso, manutenzione}}{n^\circ \text{ residenti} + n^\circ \text{ non residenti}} \quad (3.10)$$

L'indice demografico di consumo netto I_5 mostrato in Equazione (3.10) rapporta le componenti volumetriche di consumo netto al numero di abitanti (residenti e non) del centro urbano. In questo modo è possibile fare una distinzione realistica tra centri abitati più "spreconi" e centri abitati più parsimoniosi.

- Indice di eccedenza I_6

$$I_6 = \frac{V_{utenza, netto} - DMC}{V_{utenza, netto}} \quad (3.11)$$

dove DMC sta per Dotazione Minima Contrattuale, ossia la quantità di acqua necessaria per soddisfare il fabbisogno idrico giornaliero (valutata per abitante e poi, di conseguenza, per il centro urbano considerato). In Piemonte, tale valore viene assunto pari a 200 litri giornalieri (Legge Regionale 14 gennaio 1987, n. 5).

Come mostrato in Equazione (3.11), I_6 rappresenta il grado di eccedenza del valore di volume netto consumato rispetto a DMC.

Ad un valore elevato di I_4 , ossia elevati consumi, corrisponde un indice P_1 basso, indipendentemente dall'indice I_1 .

Fissato il valore dell'indice lineare delle perdite totali I_1 , quindi, il valore di P_1 risulta essere inversamente proporzionale ad I_4 .

È necessario tenere conto che la valutazione della rete di distribuzione varia in funzione della metodologia applicata dai vari gestori che monitorizzano gli impianti. Infatti, a seconda dei casi, il rilievo può spingersi a valutare la lunghezza fino alle derivazioni (e quindi contatori) o fermarsi prima.

La differenza percentuale di perdita idrica considerando esclusivamente le reti di distribuzione o l'intero impianto acquedottistico è rilevante: secondo un'indagine ISTAT del 1987, la dispersione totale negli impianti italiani era del 27%, mentre essa si riduceva al 21% considerando le sole reti di distribuzione.

Non sempre, però, gli indici di perdita idrica sono sufficienti per quantificare l'efficienza di un sistema acquedottistico e soprattutto non sempre risulta economicamente conveniente riparare le rotture in quanto i costi necessari per farlo risultano maggiori del guadagno economico ricavato (ossia il costo sostenuto per la riparazione supera il costo equivalente degli sprechi idrici avvenuti nel periodo di vita utile della tubazione riparata).

3.3 Il cosiddetto “metodo tedesco”

Il metodo tedesco è una delle metodologie all'avanguardia nel rilevare la posizione e l'entità della perdita idrica garantendo immutato il servizio di distribuzione d'acqua.

È spesso chiamato “metodo di misura a consumo minimo” perché viene applicato durante le ore notturne, in cui i consumi idrici sono pressappoco costanti e ridotti al minimo.

Si parla di distretto per indicare l'elemento base con cui si suddivide una rete idrica e caratterizzato dalla capacità di isolamento attraverso la presenza di saracinesche di sezionamento. La lunghezza di tali distretti è variabile, da un minimo di 1 km ad un massimo di 4 km. Lo scopo è quello di garantire l'operatività dell'impianto anche durante un intervento su un particolare distretto.

L'Italia presenta un sistema di distribuzione delle acque di servizio vecchio e usurato, caratterizzato da una quasi totale assenza di conformità all'applicazione del metodo esposto.

Questa tecnica richiede necessariamente una serie di condizioni:

- disponibilità di cartografia dettagliata dei dispositivi di rete (idranti, allacci utenze, saracinesche);
- presenza di un idrante per ogni distretto;
- presenza di saracinesche di sezionamento omogeneamente distribuite lungo l'impianto.

Entrando nello specifico del metodo, si procede ad isolare il distretto chiudendo le saracinesche di sezionamento. Il distretto continua ad essere rifornito tramite gli idranti esterni che trasferiscono acqua all'idrante interno al distretto.

Il metodo necessita dell'utilizzo di uno strumento di misurazione delle portate, un misuratore di pressione e una pompa di sovrappressione.

Affinché i dati ricavati siano verosimili, le misure devono prevedere una durata minima di 20 minuti e, come già affermato, le misurazioni vengono eseguite di notte.

Legenda dei dati necessari allo studio:

Q_0 [m^3/h]: valore misurato della portata immessa nel distretto in esame;

q_1 [$m^3/h/km$]: portata minima specifica di perdita tollerata (legata a perdite troppo lievi per essere riparate);

q_2 [$m^3/h/km$]: consumo specifico minimo notturno domestico;

q_{12} [$m^3/h/km$] = $q_{s1} + q_{s2}$: portata limite specifica di individuazione della perdita;

L : lunghezza del tratto di condotta;

$Q_{12} = q_{12} L$ [m^3/h]: valore limite per l'individuazione della perdita;

Q_V [m^3/h]: perdita.

$$\text{Se } Q_0 > Q_{12} \rightarrow \text{PROBABILE PERDITA}$$

Bilancio idrico a scala di edificio

Questa condizione comporta la riduzione progressiva della dimensione di indagine all'interno del distretto utilizzando le saracinesche di sezionamento.

In caso contrario si esclude a priori un malfunzionamento.

Lavorando per progressive chiusure delle saracinesche all'interno del distretto specifico, si giunge ad un restringimento sempre più localizzato del tratto interessato dal problema. Per aumentarne la precisione, si possono utilizzare tecniche:

- elettrico-acustiche: si misura l'intensità sonora legata alla fuoriuscita idrica;
- correlative: due sensori inviano le informazioni raccolte ad un correlatore che produce un grafico di correlazione, in cui viene individuato un picco. Dallo studio del picco e conoscendo la posizione dei sensori utilizzati e la velocità del suono, il correlatore è in grado di stimare la posizione accurata della perdita.

Applicazione del metodo

Il metodo di misura a consumo minimo è stato applicato per la prima volta in Italia nel 1997: l'acquedotto esaminato è stato quello di Montecchio Emilia-Bibbiano (RE). L'obiettivo era quello di ricercare e ridurre le perdite d'acqua causate da rotture.

L'acquedotto ha una lunghezza totale di 70 km e si articola in due principali reti di distribuzione: una legata alla città di Montecchio Emilia, l'altra legata al Comune di Bibbiano, servendo un totale di 10949 utenti. La portata media è di 119 m³/h.

In Tabella 3.1 si riporta il bilancio idrico del tratto di acquedotto a servizio di Montecchio Emilia considerato nell'analisi (lunghezza della porzione di rete di 5 km, con 7400 utenti serviti) mentre la Tabella 3.2 mostra i valori dei parametri di valutazione delle perdite relative ad esso.

Infine la Figura 3.2 mostra una schematizzazione del suddetto tratto di rete.

Tipologia di volume idrico	m³/anno
Volume riservato all'uso acquedottistico	2.020.320
Volume prelevato dall'ambiente	838.215
Volume consegnato ad altri sistemi di acquedotto	41.997
Volume in ingresso alla distribuzione	796.218
Volume consegnato alle utenze – misurato	592.275
Volume consegnato alle utenze – non misurato	0
Volume perso per manutenzione	2.223
Volume effettivo perso in distribuzione	178.306
Volume di errore di misura	23.414
Volume totale perso in distribuzione	201.720
Volume utilizzato	617.912
Volume immesso nell'acquedotto	838.215

Tabella 3.1 – Volumi d'acqua che caratterizzano il bilancio idrico del tratto di acquedotto considerato

Bilancio idrico a scala di edificio

Parametro	Valore
Durata periodo di analisi (giorni)	366
Residenti interessati dalla rete di distribuzione	7870
Rendimento primario R_1	1
Rendimento al consumo R_2	1
Rendimento al consumo R_3	1
Indice delle perdite totali in distribuzione P_1	0
Indice dell'acqua non servita all'utenza P_2	0
Indice lineare delle perdite totali I_1	$4,29 \text{ m}^3/\text{m}$
Indice superficiale delle perdite totali I_2	$17,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$
Indice lineare di consumo netto I_4	$12,65 \text{ m}^3/\text{m}$

Tabella 3.2 – Parametri di valutazione di perdita idrica del tratto di acquedotto considerato (anno 1996)

In totale, lo studio riportato si è concentrato su 27 misure di perdita idrica, di seguito si riporta l'applicazione del metodo ad una misura in particolare.

Punto di misura: Via Gondar, Montecchio Emilia

Idrante: V

Pressione prima del sezionamento: 3,7 bar

Sviluppo lineare del distretto: 2,2 km

Orario della misura: 23,30 – 01,30

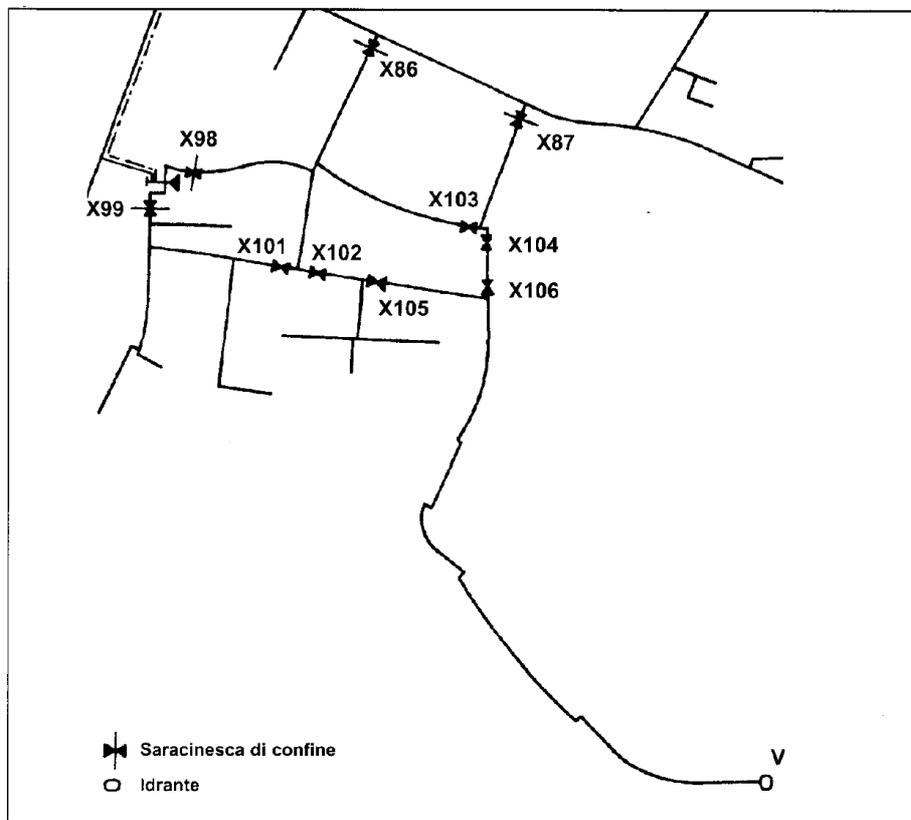


Figura 3.2 – Tratto di rete in esame [Fonte: Bizzarri et al., 2000]

Bilancio idrico a scala di edificio

Individuato il tratto di rete da analizzare, si è proceduto alla ricerca dell'idrante di alimentazione che agisce come rifornimento idrico durante la campagna di misura.

Successivamente è stata misurata la pressione di rete e si è proceduto a chiudere le saracinesche di isolamento del distretto scelto.

Si è collegato l'idrante di alimentazione ad un laboratorio mobile (automezzo Fiat Ducato Maxi) in modo da rifornire la quantità di acqua necessaria. Per verificare l'isolamento effettivo del distretto, è stata eseguita una prova di tenuta a pressione.

La Tabella 3.3 riporta la sequenza di manovre idrauliche eseguite durante la campagna.

Operazione	Saracinesche chiuse	Saracinesche aperte	Lunghezza [km]	Q_0 [m ³ /h]	Q_{s12} [m ³ /h]
1	X86, X87, X98, X99	X101, X102, X103, X104, X105, X106	2,2	5,7	0,66
2	X86, X87, X98, X101	X99, X102, X103, X104, X105, X106	1,63	5,4	0,48
3	X87, X102, X103	X86, X98, X99, X101, X104, X105, X106	1,08	5,2	0,32
4	X102, X104	X86, X87, X98, X99, X101, X103, X105, X106	0,97	5,0	0,29
5	X104, X105	X86, X87, X98, X99, X101, X102, X103, X106	0,76	5,0	0,23
6	X105, X106	X86, X87, X98, X99, X101, X102, X103, X104	0,68	0,1	0,2
7	X104, X105	X86, X87, X98, X99, X101, X102, X103, X106	0,76	5,1	0,23

Tabella 3.3 – Sequenza di operazioni svolte

Operazione 1: la portata immessa nel distretto in esame Q_0 risulta decisamente maggiore del valore limite per l'individuazione della perdita Q_{s12} , dunque la probabilità di presenza di perdita idrica è molto alta.

Si procede dunque alla riduzione dell'estensione di tratto di rete monitorato attraverso le operazioni 2, 3, 4, 5, 6.

Questa sequenza di operazioni ha permesso di scovare una possibile rottura tra saracinesca X104 e saracinesca X106. Non si può parlare con certezza a riguardo in quanto la misurazione è stata effettuata di notte e considerato un valore stimato di consumo specifico minimo delle utenze nelle ore notturne q_{s2} , ma è plausibile che si possa verificare un prelievo maggiore rispetto a quello stimato, da parte dell'utenza.

Operazione 5 e Operazione 6 sono caratterizzate da portate minime immesse rispettivamente pari a $5 \text{ m}^3/\text{h}$ e $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$, dunque la perdita probabile Q_V è stata di $4,9 \text{ m}^3/\text{h}$.

Ricapitolando l'operazione effettuata, a partire da un tratto di rete dell'acquedotto di Montecchio Emilia-Bibbiano (RE) di 22 km, il metodo di misura a consumo minimo ha permesso di circoscrivere la localizzazione della perdita ad un tratto di soli 80 m, attraverso una sequenza di sette operazioni, per una durata totale di 2 ore. Inoltre, non è stato apportato alcun disagio all'utenza da un punto di vista di approvvigionamento idrico: infatti la chiusura di una saracinesca è sempre immediatamente seguita dall'apertura di un'altra: così si garantisce l'alimentazione di acqua ad ogni tratto di settore e l'utenza non subisce disagi.

Considerazioni in merito al metodo esposto

Il metodo trattato è vincolato in Italia dall'assenza di un adeguato rispetto delle condizioni necessarie per la sua applicazione: cartografia completa dell'impianto e sufficiente numero di saracinesche di sezionamento.

Un esempio di acquedotto in cui è stato possibile sperimentare il metodo è quello di Montecchio Emilia. A seguito delle misurazioni notturne di portata per i tratti principali della rete di distribuzione comunale, si è ricavato una portata idrica recuperata di $353 \text{ m}^3/\text{giorno}$ traducibile in $8,4 \text{ m}^3/\text{giorno}/\text{km}$.

Questo esempio è particolarmente interessante perché, mentre in molte altre realtà europee risulta essere sufficientemente diffuso, in Italia si tratta della prima vera applicazione del metodo e può rappresentare una linea guida da consultare in vista di un futuro sviluppo a scala nazionale della metodologia.

Dunque, in Italia è necessariamente richiesto la modernizzazione dell'impianto acquedottistico per il raggiungimento delle condizioni minime di applicabilità delle soluzioni descritte, in vista di:

- riduzione dei tempi di riparazione (e quindi, riduzione dei tempi con assenza di funzionamento);
- riduzione/eliminazione dei disagi creati all'utenza per l'individuazione e misurazione delle portate di perdita;
- garanzia di continuità nell'erogazione del servizio idrico pubblico.

3.4 Come risparmiare energia in città riducendo il consumo d'acqua

Uno studio della World Environmental and Water Resources Congress stima che il 7% del consumo energetico mondiale nell'anno 2000 è stato dovuto al pompaggio e trattamento delle acque ad uso civile (S.R. Ghimire, B.D. Barkdoll, 2007).

La richiesta di energia di una rete di distribuzione idrica dipende da:

- caratteristiche del terreno (altimetria, disponibilità di risorsa idrica);
- caratteristiche delle condotte (diametro, scabrezza);
- caratteristiche delle pompe di sollevamento (rendimento).

Minimizzando il volume di acqua che le pompe devono sollevare, si riduce il consumo energetico, nell'ottica di una ottimizzazione energetica nazionale. Per questo motivo risparmio d'acqua e risparmio di energia sono legati.

Questo legame è particolarmente interessante perché dà maggiore importanza alla necessità di ottimizzazione dell'efficienza dei sistemi di distribuzione idrica e incentiva economicamente la sua modernizzazione. Infatti il pensiero che una rete acquedottistica sia efficiente comporta, oltre che un risparmio economico in termini di prelievo idrico, un risparmio economico di energia, che è decisamente più allettante in quanto si parla di costi decisamente maggiori.

L'analisi "Alliance to Save Energy" del 2002 (Watergy), basata sul legame tra acqua ed energia, ha affermato che in Texas, ad una riduzione delle perdite idriche del 5%, corrisponde un risparmio energetico compreso tra i 140 e 240 milioni di kWh annuali.

In questo studio si parla di "watergy efficiency", per combinare insieme i due risparmi.

Un altro valore sui cui è possibile lavorare per avere una riduzione combinata dei due consumi è la pressione idrica. In Sudafrica, la città Emfuleni di circa 400 mila abitanti, attraverso un mirato sistema di gestione della pressione ha ottenuto un risparmio idrico del 30% e un risparmio energetico di 14 milioni di kWh.

Un ulteriore vantaggio che scaturisce dal risparmio combinato di acqua ed energia è la minimizzazione dell'inquinamento (gas serra). Nel caso specifico sudafricano, la riduzione sarebbe stata di 12 mila tonnellate annuali.

In Italia un'indagine a riguardo è stata condotta sulla rete idrica bolognese, nel distretto Bolognina comprendente circa 20 mila abitanti. In questo contesto, l'introduzione di due valvole riduttrici di pressione ha portato a:

- riduzione di 2 bar;
- risparmio idrico di 650 m³ giornalieri;
- risparmio energetico di 520 kWh giornalieri.

I risultati riportati in questo paragrafo si rifanno ad una relazione della Regione Emilia Romagna-Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua, in associazione con l'Università di Bologna, DISTART (Dipartimento Ingegneria Strutture Trasporti Acqua Rilevamento Territorio).

Questo rappresenta uno dei primi esempi di studi italiani volti allo sfruttamento del legame idrico-energetico in vista di una futura svolta ecosostenibile del nostro Paese, ancora molto lontano dagli obiettivi prefissati e dagli altri Paesi sviluppati del mondo.

3.5 Bilancio idrico Comune di Castelveciana (Varese)

Nel seguito è riportata un'indagine eseguita nel Comune di Castelveciana, in provincia di Varese, risalente al periodo quinquennale 2009-2013, al fine di valutare la disponibilità di risorsa idrica attuale e confrontarla con la realtà dei consumi di acqua potabile proveniente dall'acquedotto. Lo studio si conclude con uno sguardo al futuro, valutando le possibili evoluzioni del confronto, considerando l'andamento demografico previsto nei prossimi anni.

I dati utilizzati nello studio qui proposto sono i seguenti:

- consumo d'acqua fatturato nel periodo 2009-2013;
- volume idrico attinto da pozzi e sorgenti;
- popolazione residente e popolazione fluttuante;
- riepilogo dati dei contatori residenti/non residenti.

La Tabella 3.4 riassume le fonti principali di approvvigionamento potabile di Castelveciana.

Essa è stata redatta dalla combinazione delle informazioni dell'amministrazione comunale con le banche dati provinciali ("Piano Cave della Provincia di Varese-Carta idrogeologica"; "ATO Provincia di Varese-Studio Idrogeologico ed Idrochimico della Provincia di Varese").

I tipi di captazione principali risultano essere due pozzi attivi ed una serie di sorgenti.

Captazione	Stato di attività	Nome	Località	Quota sul livello mare [m]	Uso
Pozzo	Attivo	S. Antonio	S. Antonio	594	Potabile
Pozzo	Attivo	Torrente Asino	Caldè	195	Potabile
Pozzo	Chiuso	Foce Froda	Caldè	243	Potabile
Sorgente	Attiva	Motta 46	Salvetta	475	Potabile
Sorgente	Attiva	Motta 47	Salvetta	478	Potabile
Sorgente	Attiva	Motta	Salvetta	485	Potabile
Sorgente	Attiva	S. Michele	Valle Ronè	510	Potabile
Sorgente	Attiva	S. Michele	Valle Ronè	515	Potabile
Sorgente	Attiva	S. Michele	Valle Ronè	545	Potabile
Sorgente	Attiva	S. Michele	Valle Ronè	550	Potabile
Sorgente	Attiva	S. Michele	Valle Ronè	635	Potabile
Sorgente	Attiva	Rovedera	S. Antonio	475	Potabile
Sorgente	Attiva	Nass	C.ne Froda	455	Potabile
Sorgente	Attiva	Rionale	C.ne Froda	500	Potabile
Sorgente	Attiva	Pira Alta	Pira di sopra	490	Potabile
Sorgente	Attiva	Cuvignone	Alpe Cuvignone	830	Potabile

Tabella 3.4 – Fonte di approvvigionamento idrico potabile a Castelveciana

Come calcolato in Tabella 3.5 la portata dei pozzi e delle sorgenti di proprietà del Comune è di 23,50 l/s, pari ad un volume annuo di 741096 m³.

Bilancio idrico a scala di edificio

POZZI	PORTATA [l/s]
Pozzo torrente Asino	6,00
Pozzo S. Antonio	5,00
SORGENTI	PORTATA [l/s]
S. Michele alto	3,00
S. Michele basso	2,00
Nass	2,00
Rionale	1,50
Rovedera	2,00
Motte	0,50
Cuvignone	1,50
TOTALE	23,50

Tabella 3.5 – Valori di portata estraibile dalle fonti di approvvigionamento potabile

Nell’ottica di realizzare un bilancio idrico a scala comunale, risulta evidente la necessità di avere un’idea del fabbisogno idrico totale, o meglio della cosiddetta DIMA, Dotazione Idrica Media Annuale (in litri giornalieri per abitante). Con questo termine si intende il totale dei consumi idrici ad uso civile (domestico, industriale, commerciale, turistico), tenuto conto non solo della quantità d’acqua effettiva utilizzata ma anche delle perdite lungo l’impianto di distribuzione.

Il valore di DIMA tradizionalmente utilizzato in Italia è di 250 l/ab/giorno.

L’ultimo censimento del Comune di Castelvecchana risalente al 2017 riporta una popolazione di 1996 residenti.

Il consumo giornaliero a scala urbana è calcolato in Equazione (3.12).

$$C = 250 \frac{l}{ab*g} 1996 ab = 499000 \frac{l}{g} \quad (3.12)$$

Il valore di Equazione (3.12) corrisponde ad una portata d’acqua di 5,78 l/s, che il sistema municipale deve essere in grado di fornire costantemente. L’assunzione semplificativa adottata è che la richiesta idrica si mantenga costante nel corso della giornata, anche se nella realtà l’andamento è decisamente variabile.

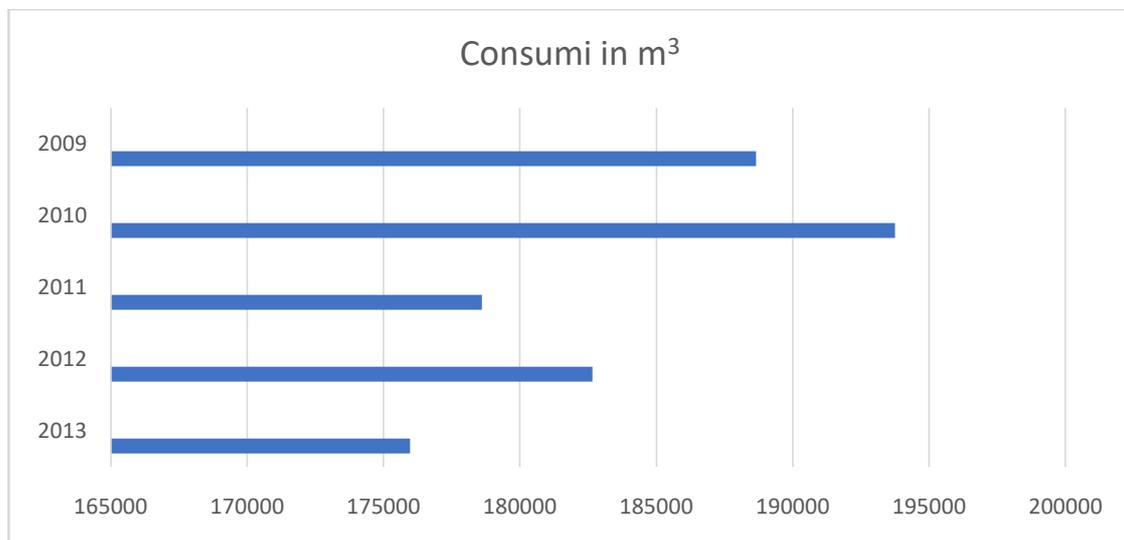


Figura 3.3 – Consumi fatturati negli anni 2009-2013

Bilancio idrico a scala di edificio

La Figura 3.3 riportano il consumo idrico reale del Comune nel quinquennio 2009-2013.

La media risulta essere di 183.922 m³, mediamente costante con un lieve aumento registrato nel 2010 di circa il 5%.

Il consumo annuale comunale medio diventa di 200922 m³ sommando i consumi per edifici pubblici (scuola, Municipio, palestre, ospedale, ...) di circa 17000 m³.

Questo dato porta ad un consumo giornaliero di 550,47 m³ ovvero 6,37 l/s.

Confrontando quest'ultimo valore ottenuto con il dato di Tabella 3.5 (23,50 l/s di portata fornita), risulta evidente che le fonti idriche comunali sono in grado di garantire completamente il soddisfacimento del fabbisogno idrico.

Sviluppi futuri

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Contatori residenti	911	918	931	920	941	919	907	918
Contatori non residenti	684	686	695	682	671	685	696	693
Giardini/Commerciali	105	106	104	94	99	109	113	116
Piscine residenti	17	20	19	20	23	22	23	23
Piscine non residenti	24	23	22	23	22	24	25	25

Tabella 3.6 – Situazione residenziale a Castelvecchana

Dalla Tabella 3.6, considerando i dati relativi all'anno 2013, il numero di contatori risulta pari a 918; essendo il numero di abitanti di circa 2000, la media approssimativa è di 1 contatore ogni 2 abitanti.

L'andamento dei contatori dei residenti e dei non residenti è rappresentato rispettivamente dalla Figura 3.4 e dalla Figura 3.5.

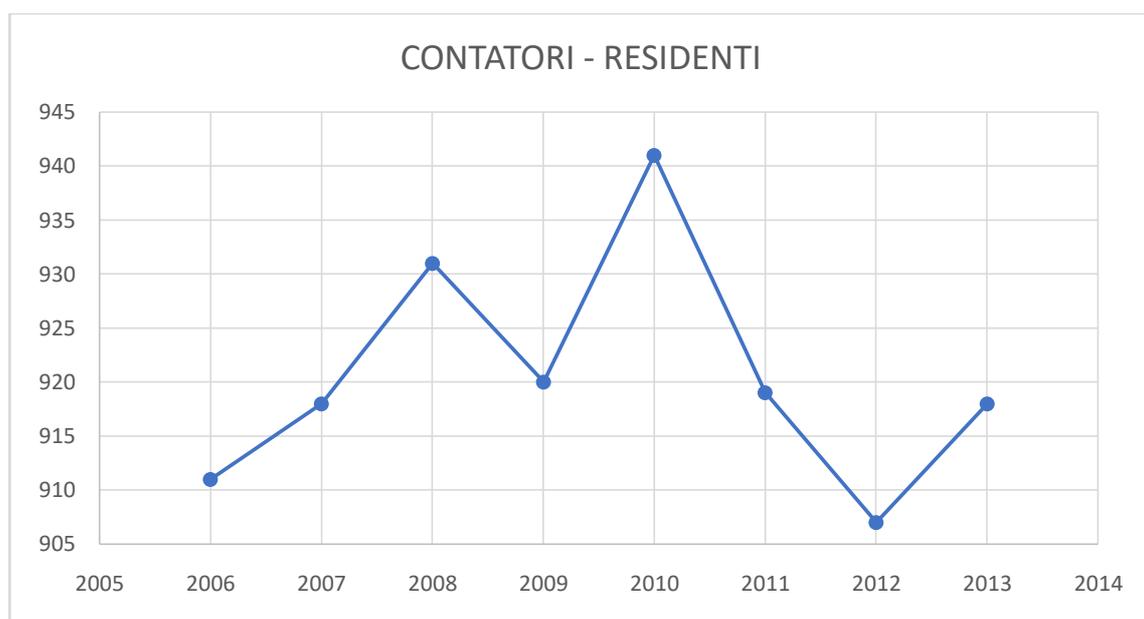


Figura 3.4 – Andamento contatori residenti (2009-2013)

Bilancio idrico a scala di edificio

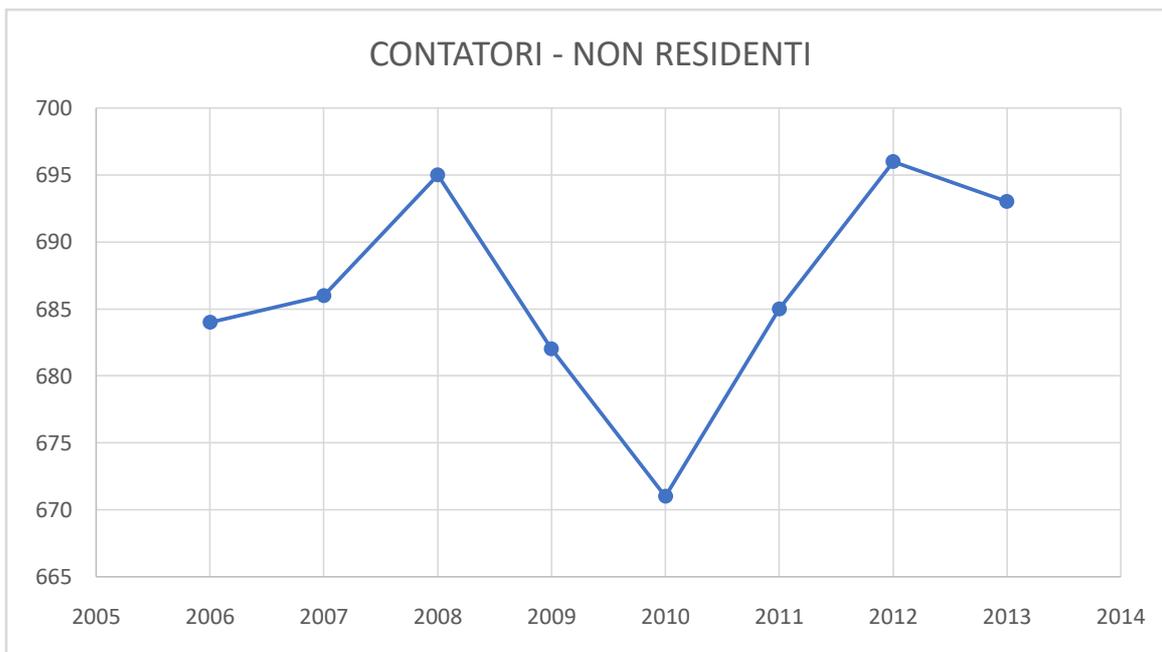


Figura 3.5 – Andamento contatori non residenti (2009-2013)

Agendo approssimativamente, considerando la media di 1 contatore ogni 2 abitanti anche per i non residenti, il numero di contatori sarebbe di 138. Lo studio, poi, fissa una permanenza media degli utenti non residenti nel Comune per metà anno, ovvero 6 mesi, decretando una media annua di circa 700 non residenti a Castelvecchana, arrotondata poi per eccesso a 800.

Uno studio di potenzialità insediative, riferendosi al Documento di Piano, in seguito ad analisi finalizzate alla determinazione degli obiettivi quantitativi di sviluppo complessivo, ha previsto una popolazione di 3116 abitanti nel Comune di Castelvecchana (non residenti compresi) nel decennio successivo (riferimento a Tabella 3.8).

VOLUME PREVISTO NELL'AMBITO DI COMPLETAMENTO AC.1 A DESTINAZIONE RESIDENZIALE	m²
Volume residenziale totale	4128
Volume previsto nell'Ambito di Trasformazione AT.1 – destinazione residenziale	30150
ABITANTI EQUIVALENTI PREVISTI DI PROSSIMO INSEDIAMENTO	ab
Abitanti equivalenti previsti, valorizzando la densità insediativa in 300 m ³ /ab	14
Abitanti equivalenti previsti, valorizzando la densità insediativa dedicata al settore turistico-recettivo in 100 m ³ /ab	302

Tabella 3.8 – Prospettiva futura a Castelvecchana

Questo valore complessivo è comprensivo di:

- 2014 residenti;
- 800 non residenti;
- 302 abitanti equivalenti previsti in seguito alla valorizzazione del settore turistico (ristrutturazione Ex fornaci Rocca di Caldè, si veda la Tabella 3.8).

Bilancio idrico a scala di edificio

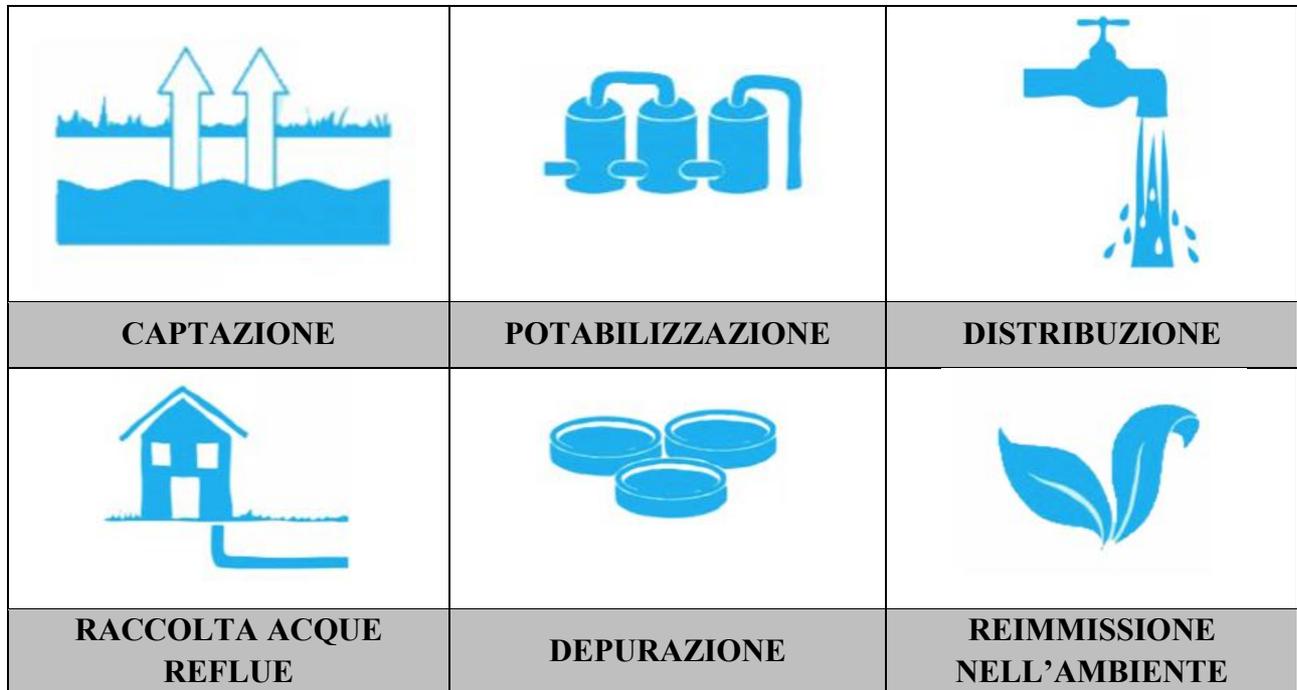
Considerando la stima del “Rapporto sulle Infrastrutture” del 2008, prima già citato, sul consumo medio giornaliero (DIMA) di 250 l/ab, il consumo totale risulterà essere pari a 779.000 l/giorno.

Il che si traduce in 9,01 l/s.

Dunque è previsto un aumento notevole di fabbisogno idrico potabile (quasi del 50%, passando da 6,11 l/s a 9,01 l/s), comunque garantito dalle fonti di approvvigionamento del territorio, stimate in Tabella 3.5 pari ad una portata di 23,50 l/s.

4. IL CONSUMO IDRICO ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO

4.1 Il ciclo dell'acqua



*Figura 4.1 – Illustrazione del ciclo dell'acqua ad uso domestico
[Fonte: Ciclo dell'acqua, una visione d'insieme, Gruppo Hera]*

In Figura 4.1 è illustrato il ciclo artificiale delle acque. In modo particolare:

- **CAPTAZIONE:** prelievo di acqua da fonti naturali quali acque superficiali, sorgenti, acque sotterranee;
- **POTABILIZZAZIONE:** insieme dei trattamenti fisici e chimici necessari per rendere l'acqua idonea per il consumo umano (sedimentazione, ossidazione, filtrazione, disinfezione);
- **DISTRIBUZIONE:** insieme di infrastrutture volte a trasportare l'acqua potabile agli utenti finali (rete di distribuzione sotterranea, solitamente ad una profondità di un metro sotto il rilevato stradale);
- **RACCOLTA ACQUE REFLUE:** trasporto delle acque grigie prodotte dagli utenti attraverso la rete fognaria;
- **DEPURAZIONE:** acque reflue provenienti dal sistema fognario, ricche di sostanze inquinanti. Il processo si compone di una serie di fasi (tra cui grigliatura, ossidazione, sedimentazione e disinfezione) e consente di rilasciare acqua pulita;

Bilancio idrico a scala di edificio

- REIMMISSIONE NELL'AMBIENTE: acque provenienti dal depuratore tornano alla loro collocazione precedente senza alterare gli ecosistemi naturali.

Negli ultimi anni si è iniziato a muovere critiche verso questo modello “urbano” di distribuzione idrica in quanto si caratterizza di:

- eccessivo consumo di risorsa idrica di alta qualità;
- produzione inquinamento;
- acquedotto pubblico come unica fonte di approvvigionamento idrico per gli edifici;
- utilizzo acqua potabile di elevata qualità per lo scarico WC;
- assenza di raccolta e riutilizzo acqua piovana;
- assenza di separazione tra scarico acque nere (escrementi) e scarico acque bianche (acqua per cucinare) in fognatura.

“È necessario innescare una piccola rivoluzione culturale, tecnica e normativa” (G. Conte, *Nuvole e sciacquoni*, 2008).

- CULTURALE perché molte abitudini domestiche, a livello di consumo idrico, sono legate a prassi che i cittadini considerano non modificabili in quanto praticate da secoli.
- TECNICA perché inevitabilmente gli impianti odierni a disposizione delle case non permettono di realizzare la maggior parte degli interventi presi in considerazione e necessitano dunque di una modernizzazione e/o sostituzione.
- NORMATIVA perché un qualsiasi cambiamento a livello nazionale (in questo caso, modernizzazione del sistema di gestione delle acque) richiede una normativa che lo accompagni e che lo regoli in tutte le sue ramificazioni. Queste normative non devono essere rivolte esclusivamente agli enti coinvolti nella distribuzione dell'acqua (enti pubblici, società private e Autorità di bacino), ma anche al recapito finale della risorsa idrica, ovvero gli abitanti.

4.2 Il risparmio idrico negli edifici

Le due cause principali di dispersione e spreco della risorsa idrica a livello di distribuzione urbana sono:

- inefficienza del sistema di distribuzione idrica, con perdite idriche lungo la rete di circa il 30% in media nel contesto italiano e punte superiori al 40% nelle regioni meridionali;
- consumo incontrollato dei consumatori finali nel proprio domicilio, complice un costo relativamente basso dell'acqua in bolletta e una quasi totale assenza di politiche volte all'istruzione sull'importanza del risparmio idrico.

Nei Paesi più sviluppati del mondo (i cosiddetti “Paesi occidentali”), il settore idrico civile è quel settore servito da un sistema acquedottistico e con scarico una rete fognaria (principalmente unitaria).

Bilancio idrico a scala di edificio

Quando, nel proseguo, si parla di “consumi domestici” ci si riferisce nello specifico alle utenze residenziali (circa il 75% sul totale), tralasciando gli altri consumi di tipo civile, quali: settore industriale, irriguo, ...

CITTA'	CONSUMI IDRICI DOMESTICI GIORNALIERI [l/ab/gg]
Bristol	294
Parigi	287
Patrasso	285
Torino	243
Roma	221
Catania	214
Stoccolma	210
Lione	209
Napoli	207
Oslo	200
Genova	199
Verona	199
Milano	191
Tampere	190
Venezia	179
Aalborg	179
Riga	176
Goteborg	173
Palermo	169
Berlino	163
Helsinki	162
Londra	159
Firenze	155
Bari	154
Vienna	152
Bologna	149
Nicosia	143
Madrid	140
Praga	127
Aarhus	120
Copenaghen	119
Barcellona	118
Bruxelles	108
Saragozza	104
Heidelberg	103

Tabella 4.1 – Consumi d'acqua per uso domestico in diverse città nel 2007 [Fonte: Istituto Ambiente Italia-Dexia, “Ecosistema Urbano Europa, Rapporto 2007”]

Bilancio idrico a scala di edificio

Nella Tabella 4.1 è possibile notare una certa disuniformità dei consumi in base alla città a cui ci si riferisce.

Lo studio recente della Water Corporation (Perth, in Australia) ha considerato 720 casi differenti, tra cui case monofamiliari, plurifamiliari, appartamenti in edifici di diversa tipologia, abitati da famiglie con diverso tenore di vita. Lo studio è stato condotto in una zona australiana caratterizzata da un clima mediterraneo e per questo motivo risulta essere particolarmente interessante per il contesto italiano.

Il risultato dell'analisi che merita attenzione è la quasi totale indipendenza del consumo dalla tipologia di clima: il consumo di acqua in appartamenti di edifici multipiano è praticamente costante durante l'anno, compresi i mesi caldi. Eccezione è il caso delle case monofamiliari con giardino dove a far da padrone sui consumi è il dato relativo all'irrigazione (che da 500 l/giorno nei mesi freddi può arrivare a 1200 l/giorno d'estate), anche legato al fatto che i giardini privati in Australia risultano essere mediamente molto estesi.

È quindi più corretto legare la diversità tra i consumi idrici delle città riportati in Tabella 4.1 con le politiche di risparmio idrico attuate nei Paesi relativi, piuttosto che sintetizzare la non uniformità legandola semplicemente alla diversità climatica.

Tipologia di utilizzo	%
Bagno e igiene personale	32
WC	30
Cucina (alimentare)	12
Lavatrice	12
Irrigazione/usi esterni	8
Lavastoviglie	3
Cucina (lavabi)	3

Tabella 4.2 – Suddivisione dei consumi idrici domestici [Fonte: “Nuvole e sciacquoni”, G. Conte, 2008]

Volendo fare un bilancio sull'effettiva percentuale di acqua potabile necessaria sul totale dei consumi idrici domestici, spicca un risultato molto interessante e che lascia ampi margini di miglioramento in quanto a risparmio idrico. Facendo riferimento a Tabella 4.2, è possibile limitare i consumi richiedenti acqua potabile a:

- bagno e igiene personale 32%;
- cucina (alimentare) 12%;
- lavastoviglie 3%.

Per un totale di 47%, ovvero meno della metà del totale.

Questo significa che per la maggior parte dei consumi domestici sarebbe sufficiente un'acqua non potabile.

Prima di concentrarsi più approfonditamente sui sistemi di riuso delle acque piovane e/o delle acque grigie, di seguito è riportato un elenco di alcune semplici soluzioni tecnologiche

facilmente installabili, che riducono i volumi idrici consumati senza peggiorare la qualità di vita degli abitanti.

INSTALLAZIONE DI LIMITATORI DI FLUSSO

Questa tecnologia riduce la portata di acqua in uscita da un rubinetto mantenendo invariata la pressione. In funzione della necessità e della pressione, questo meccanismo permette di regolare il flusso d'acqua in uscita.

L'installazione del dispositivo, all'interno della cartuccia del rubinetto, deve solitamente essere effettuata da un idraulico.

Il risparmio massimo raggiungibile si aggira intorno al 50%.

Esempio: Figura 4.3 (a).

FRANGIGETTO/FRANGIFLUSSO

Lo scopo ottenuto con questo dispositivo è lo stesso del limitatore di flusso e, apparentemente, può sembrare che siano la stessa cosa: in realtà il limitatore di flusso riduce il valore di portata idrica in uscita, il frangigetto va a miscelare acqua con aria in uscita dal rubinetto.

L'efficacia della miscela aria-acqua sta nel mantenere invariato il volume totale in uscita dal rubinetto, risparmiando una notevole quantità di acqua grazie alla presenza di un certo quantitativo volumetrico di aria (minor flusso idrico effettivo).

Un comune frangigetto ha un ulteriore vantaggio in quanto contribuisce ad evitare gli accumuli di calcare nel rubinetto che, a lungo andare, provocano blocchi e riducono la vita utile dello stesso.

Nella rubinetteria moderna, il frangigetto è direttamente installato in fase di fabbricazione. Nel caso in cui l'installazione avvenga in un secondo momento su impianti vecchi, essa avviene all'estremità del rubinetto, mediante filettatura (interna o esterna). Ad oggi è il dispositivo di risparmio idrico "ad uso domestico" (ovvero adottabile facilmente da un qualsiasi consumatore) più conosciuto ed utilizzato.

Il risparmio di acqua ottenibile può variare dal 30 al 70%, a seconda del modello.

Esempio: Figura 4.3 (b).

LIMITATORI DI PRESSIONE

Si tratta di dispositivi assimilabili a valvole di riduzione della pressione idrica, che evitano variazioni improvvise di pressione in rete, tipiche dell'uso contemporaneo di diversi dispositivi idraulici domestici (nelle ore di punta della giornata).

Effettivamente, non producono un risparmio reale di volume idrico.

La collocazione di questi dispositivi avviene in corrispondenza delle tubazioni di ingresso dei bagni o direttamente nelle tubazioni di ingresso del piano.

Principalmente si ricorre all'utilizzo di questi dispositivi nei casi di palestre, alberghi e scuole, ossia strutture ad elevato e contemporaneo consumo d'acqua in determinate ore del giorno, evitando brusche variazioni di pressione idrica che potrebbero danneggiare gli impianti.

Risparmio idrico tra il 20 e il 40%.

Esempio: Figura 4.3 (c).

INSTALLAZIONE DI SOFFIONI A BASSO CONSUMO PER DOCCIA

Principio simile a quello dei frangigetto sopra trattati, con installazione semplice e realizzabile da un qualunque consumatore.

Il risparmio ottenibile raggiunge anche il 50%.

RUBINETTI CON TEMPORIZZATORE

Si tratta di rubinetti dotati di un meccanismo di chiusura automatica al passaggio di un determinato numero di secondi. Solitamente i temporizzatori viaggiano insieme ai limitatori di flusso all'interno dei rubinetti.

Lo scopo è quello di ridurre lo spreco idrico legato ad un uso irrazionale da parte dell'uomo.

Il funzionamento è il seguente: premendo un pulsante, un pistone si inserisce all'interno di un piccolo cilindro, il quale si riempie di acqua fino a far risalire il pistone.

Il tempo di apertura del rubinetto è funzione della velocità con cui il cilindro si riempie di acqua; commercialmente esso varia tra un minimo di 5 secondi ed un massimo di 45 secondi.

Sebbene possa non sembrare una metodologia di risparmio idrico diretto, i risultati parlano chiaro: circa 25% di riduzione del consumo d'acqua nei lavandini e 35% nelle docce.

RUBINETTI ELETTRONICI

Tipologia di rubinetto che viene azionato con il movimento delle mani in vicinanza ad esso. Nel caso di presenza di un oggetto ad ostacolo, il tempo massimo di apertura è di 30 secondi.

Flusso e temperatura del getto risultano essere pre-regolati, sta all'utente decidere se apportare modifiche.

La loro installazione prevede la necessità di corrente elettrica fino al rubinetto.

Risparmio idrico stimato tra il 40 e il 50%.

Esempio: Figura 4.3 (d).

RUBINETTI TERMOSTATICI

Rubinetti provvisti di pre-selettore termico, in grado di mantenere la temperatura scelta anche a distanza di ore dall'apertura precedente.

È chiaro che essi hanno raggiunto la loro massima diffusione nelle docce, consentendo una doppia efficacia in termini di risparmio idrico (massimo del 50%) ed energetico: infatti si riducono i tempi morti di attesa del cambiamento di temperatura dell'acqua.

Esempio: Figura 4.2 (e).

RUBINETTI MONOCOMANDO

Si tratta di una tipologia di rubinetto che sta prendendo piede negli ultimi anni perché prevedono un'ottima e rapida regolazione del flusso idrico e della temperatura. Gli sprechi sono ridotti al minimo.

Si parla di un 50% circa di risparmio idrico.

Esempio: Figura 4.3 (f).

INTERRUTTORI MECCANICI DI FLUSSO

Stessa funzione del rubinetto monocomando, si applicano solitamente alle docce. Dotati di una leva che permette la chiusura e apertura del flusso, questi dispositivi permettono il riavvio della

doccia senza dover regolare nuovamente la temperatura, evitando gli sprechi superflui idrici ed energetici.

Si ipotizza un risparmio idrico tra il 10 e il 30%, a seconda dell'utente.

INSTALLAZIONE CASSETTE WC A DOPPIO PULSANTE

Ci si riferisce a cassette di risciacquo che permettono una riduzione della portata scaricata in funzione dell'utilizzo richiesto. Questi WC presentano un doppio pulsante che permette due volumi di scarico: il pulsante di dimensioni più piccole che scarica solitamente dai 3 ai 6 litri, e quello più grande che prevede uno scarico tra i 6 e i 9 litri (9 litri è la cassetta tradizionale di un tempo).

Esempio: Figura 4.3 (g).

RIDUZIONE DEL RIEMPIMENTO DELLA CASSETTA WC

È possibile limitare il consumo di acqua (potabile) dei gabinetti, il quale rappresenta una notevole percentuale (30% da Tabella 4.2) del consumo totale domestico, introducendo all'interno della cassetta dello sciacquone un oggetto che riempie parte del volume.

In questo modo quando si "tirerà lo sciacquone", il volume di risparmio idrico sarà pari al volume occupato dall'oggetto.

ACCORGIMENTI DI RISPARMIO SENZA SOSTITUZIONE DELLA CASSETTA WC

Si tratta, per esempio, di dispositivi con funzionamento a contrappeso, applicabili alle cassette tradizionali del WC.

Il dispositivo viene collegato al tubo di uscita dell'acqua e agisce come un peso che controlla in modo preciso la quantità di acqua scaricata: a seconda della pressione applicata al tasto, la cassetta si svuota in misura diversa.

Queste apparecchiature presentano un unico pulsante e prevedono fino a 3 modalità di scarico:

- 1) scarico minimo di 3 litri (fino ad un massimo di 6);
- 2) scarico totale dai 9 ai 15 litri (in funzione della capacità della cassetta);
- 3) scarico variabile con possibilità di interruzione, semplicemente premendo una seconda volta il pulsante.

ACQUISTO ELETTRODOMESTICI A BASSO CONSUMO

Lavastoviglie e lavatrici di ultima generazione che permettono un risparmio idrico notevole.

MANUTENZIONE IMPIANTI

L'assenza di manutenzione causa un danneggiamento lento nel tempo degli impianti idro-sanitari, causando perdite e, quindi, consumi maggiori ingiustificati.

MONITORAGGIO CONSUMI

Sistemi wireless in grado di tenere sotto controllo il consumo giornaliero dell'edificio, individuando eventuali perdite.

UNA NUOVA FRONTIERA: COMPOSTING TOILET

Come già detto, il consumo idrico legato all'utilizzo dei WC risulta avere una quota dominante sul totale: circa un terzo del prelievo di acqua potabile giornaliero da sistema acquedottistico per soddisfare la domanda idrica di un qualunque edificio va a rifornire lo scarico dei gabinetti.

Risulta quindi ovvio che, negli ultimi anni, molti degli studi volti alla minimizzazione dei consumi idrici si siano rivolti a questa particolare tipologia di utilizzo.

Il compostaggio degli escrementi, in realtà, è studiato da molto tempo e ciò ha portato al cosiddetto "toilet a compostaggio" (Composting toilet). Si può parlare di una modernizzazione della semplice latrina, che era una fossa di accumulo degli escrementi nell'antichità.

Il vantaggio sta nell'assenza di utilizzo di acqua. Il progresso sta nell'assenza totale di cattivi odori.

Il sistema si caratterizza di un impianto idrosanitario molto simile a quello classico, con tubo di scarico di grosse dimensioni con inclinazione variabile (si veda la Figura 4.2) che deposita indistintamente gli escrementi in una camera dove avviene lentamente la decomposizione.

È necessario tenere presente che questo sistema, ancora poco diffuso, necessita di precise e rigorose condizioni di ventilazione e di temperatura (10-55 °C).

Esempio: Figura 4.3 (h).

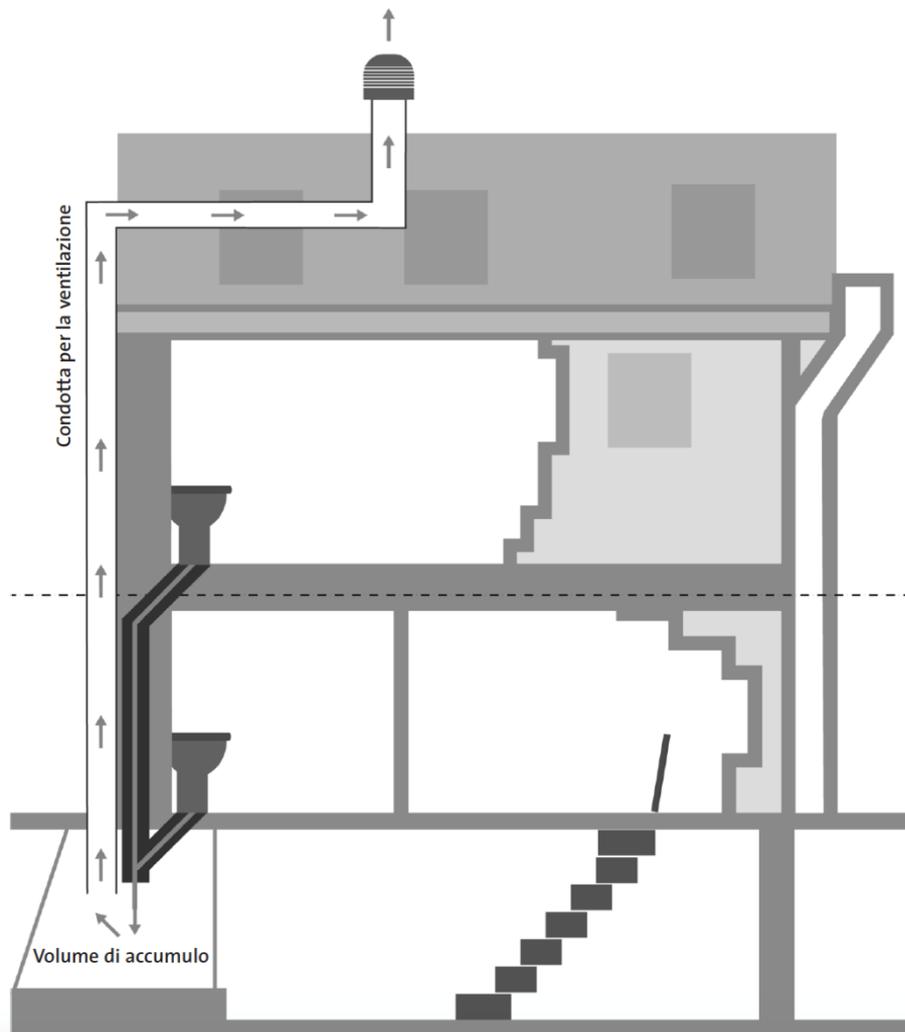


Figura 4.2 – Funzionamento Composting toilet [Fonte: elaborazione di Chiara Nordio]



Figura 4.2 – Alcuni delle tecnologie di risparmio idrico:

- a) Limitatore di flusso; b) Frangigetto; c) Limitatore di pressione; d) Rubinetto elettronico; e) Rubinetto termostatico; f) Rubinetto monocomando; g) Cassetta WC a doppio pulsante; h) Composting toilet*

La Tabella 4.3 riassume le principali caratteristiche di risparmio idrico dei dispositivi precedentemente elencati.

Bilancio idrico a scala di edificio

DISPOSITIVO	COSTO (prodotto, installazione, ...) [€]	RISPARMIO IDRICO [%]
Limitatori di flusso	100	≤50
Frangigetto/Frangiflusso	5	30-70
Limitatori di pressione	30	20-40
Soffioni per doccia	20	≤50
Rubineti temporizzati	50	25-35
Rubineti elettronici	40	40-50
Rubineti monocomando	50	50
Rubineti termostatici	100	≤50
Interruttori meccanici di flusso	-	10-30
Cassette WC doppio pulsante	30-70	35-50
Elettrodomestici a basso consumo	300-700	30
Composting toilet	200-1000	100

Tabella 4.3 – Schema riassuntivo delle caratteristiche dei dispositivi di risparmio idrico

Lo studio che viene riportato di seguito (G. Conte, 2008) è volto a dimostrare in termini numerici l'efficienza di risparmio idrico di alcune tecnologie di risparmio precedentemente citate, senza ricorrere all'installazione di sistemi di riutilizzo idrico.

In particolare i tre casi considerati sono:

- **caso A** – caso di consumatore medio ordinario;
- **caso B** – caso di consumatore che ha installato i frangigetto distribuiti dal Comune gratuitamente di competenza su tutti i lavandini;
- **caso C** – caso estremo di consumatore che ha assunto le migliori tecnologie di risparmio idrico (frangigetto, limitatori di pressione, soffione doccia a basso consumo, scarico differenziato dell'acqua da WC, elettrodomestici a basso consumo idrico).

I consumi del consumatore tipo ordinario A sono riportati in Tabella 4.3, divisi per tipologia, riferendosi ad uno studio di Legambiente e Regione Emilia Romagna a Bagnacavallo (RA).

Il consumatore B, rispetto al caso A, riduce i consumi legati agli usi che prevedono l'installazione dei dispositivi frangigetto: prevalentemente igiene personale e cucina (alimentare).

L'ambientalista C raggiunge un livello di risparmio notevole per quanto riguarda tutti gli utilizzi idrici domestici, ad eccezione dell'uso esterno irriguo (per cui non sono state assunte metodologie di risparmio idrico) e della pulizia casa. Notevole il risparmio ottenuto (quasi del 50%) nel caso di consumi per l'igiene personale (da 70 a 50 l) e per il WC (da 54 a 30 l).

In conclusione, il consumo giornaliero complessivo è stato il seguente:

- 200 litri per il consumatore A;
- 181 litri per il consumatore B;
- 127 litri per il consumatore C.

Questo si traduce in un risparmio d'acqua rispettivamente del 10% e del 35% per il secondo ed il terzo utente.

Bilancio idrico a scala di edificio

È evidente come il risparmio di consumi (e quindi di costi) ottenibile con la semplice assunzione di alcuni semplici accorgimenti a scala domestica è notevole, pur senza considerare alcun tipo di sistema più complesso di raccolta e riutilizzo di acque riciclate.

Uso	Consumo ordinario A(no risparmio) [l]	Consumo con frangigetto B[l]	Consumo con migliori tecnologie di risparmio C[l]
Bagno/igiene personale	70	55	40
WC	54	54	30
Cucina (alimentare)	24	20	20
Lavatrice	24	24	12
Irrigazione/usi esterni	16	16	16
Lavastoviglie	6	6	3
Pulizia casa	6	6	6
Totale	200	181	127

Tabella 4.3 – Confronto consumi giornalieri con tre diverse tecnologie di risparmio idrico assunte [Fonte: elaborazione di G. Conte, 2008]

Legame tra risparmio idrico e risparmio energetico

Il discorso legato al risparmio idrico è molto più ampio di quello che può sembrare.

Una conseguenza neanche troppo indiretta del ridurre i consumi idrici è il risparmio di energia necessaria per il riscaldamento della acqua domestica.

Risulta quindi interessante conoscere come acqua ed energia siano collegate tra di loro, a livello di utilizzo domestico quotidiano, per poi concentrarsi sul discorso legato al risparmio duplice.

Secondo uno studio del Ministero dell’Ambiente, il consumo medio italiano di acqua calda è di 50 l/ab/giorno (T=45°C).

Considerando acqua di servizio disponibile a 15 °C, un semplice calcolo ci permette di valutare l’energia termica pro-capite da produrre, di 1,7 kWh.

A riguardo, lo studio (G. Conte, 2008) analizza il confronto tra caldaia a metano e boiler elettrico.

In termini di rendimento energetico, il boiler elettrico prevede una doppia trasformazione: energia combustibile trasformata in energia elettrica, poi trasformata in energia termica dopo aver raggiunto l’abitazione. Ciò si traduce in un rendimento di 0,35 (65% dell’energia iniziale viene perso).

Per produrre 1,7 kWh termici, è richiesto un quantitativo di energia primaria di 4,93 kWh.

Il rendimento della caldaia a gas, invece, raggiunge livelli decisamente più alti, circa 80%. La differenza sta nel fatto che, in questo caso, avviene combustione diretta del gas.

Per produrre l’energia termica pro-capite, in questo caso, 2,18 kWh rappresenta il consumo energetico primario necessario.

In termini di risparmi ottenibili, è stato effettuato uno studio di Legambiente in collaborazione con Regione Emilia Romagna, Provincia di Ravenna e Comune di Bagnacavallo per valutare il

legame presente tra l'assunzione di semplici tecnologie di risparmio idrico e il risparmio energetico ottenibile.

In realtà, i vantaggi ottenibili non si limitano semplicemente ad un risparmio di energia, ma comprendono anche una riduzione di inquinamento e, ovviamente, un minor costo in bolletta, come illustrato in Tabella 4.4.

	Caldaia a metano	Boiler elettrico
Risparmi domestici di energia pro-capite [10 ⁻³ tep/anno]	10,06	23,08
Emissioni di CO ₂ ridotte pro-capite [kg/anno]	24	66
Risparmio economico pro-capite [€/anno]	14,64	34,74

Tabella 4.4 – Confronto caldaia a metano/boiler elettrico

Un ulteriore studio della Energy Manager Team ha riportato risultati interessanti da un punto di vista pratico: l'analisi ha preso in considerazione l'uso di docce dotate di riduttori di flusso (risparmio del 50%, da 100 a 50 l). Il risparmio ottenibile nel caso di una famiglia composta da 4 persone, utilizzando una caldaia a gas, è stato valutato intorno ai 122 euro all'anno, riducendo le emissioni di CO₂ di 284,5 kg.

4.3 Tariffario idrico in Italia

Nel seguente paragrafo si approfondisce l'aspetto economico legato all'utilizzo di acqua di rete acquedottistica. Attualmente, essa rappresenta l'unica fonte di approvvigionamento idrico per la maggior parte delle abitazioni italiane e il suo costo ha una certa ripercussione sul bilancio economico di una qualsiasi utenza. Inoltre i valori di prezzo attuali del tariffario idrico sono destinati ad aumentare notevolmente nel futuro e ciò comporterà un progressivo aumento di interesse agli aspetti economici legati all'utilizzo di risorsa idrica e alle modalità volte al risparmio di acqua e, quindi, di denaro.

Al giorno d'oggi l'acqua in Italia ha un costo basso.

Con la Delibera 664/2015 dell'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico, dal 1 gennaio 2016 è entrato in vigore il nuovo metodo tariffario idrico.

Il provvedimento regola l'operato che il SII (Servizio Idrico Integrato, ovvero i responsabili dei servizi di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e depurazione delle acque reflue) deve seguire per la determinazione del costo della bolletta dell'acqua nel periodo 2016-2019.

La bolletta presenta una quota fissa e una quota variabile (€/anno) per ciascuno dei seguenti servizi:

- acquedotto;
- fognatura;
- depurazione.

Bilancio idrico a scala di edificio

Ad oggi le tre quote fisse possono essere riportate come un'unica voce. Dal 2016 per coloro che vogliono modificare la propria situazione tariffaria, la Delibera AEEGSI ha introdotto l'obbligatorietà di introdurre separatamente i tre costi fissi.

La quota variabile per l'acquedotto ha una struttura a scaglioni di consumo.

È prevista una tariffa agevolata per consumi inferiori a 30 m³ annui; una tariffa base; tre tariffe di eccedenza il cui valore unitario (al m³) cresce in modo più che proporzionale all'aumentare del consumo, nell'ottica di un riconoscimento sostenuto dalla Direttiva Europea 2000/60/CE secondo cui ad un maggiore consumo d'acqua debba corrispondere un costo maggiore non proporzionale.

La Tabella 4.5 è un esempio di possibile articolazione tariffaria.

QUOTE	SERVIZIO	TARIFFA	SCAGLIONI [m ³ /anno]	UNITA' DI MISURA	VALORI TARIFFARI
Variabili	Acquedotto	Agevolata	0-30	€/m ³	0,2091
		Base	31-180	€/m ³	0,6735
		1° eccedenza	181-276	€/m ³	1,9390
		2° eccedenza	277-370	€/m ³	2,4244
		3° eccedenza	>370	€/m ³	4,7423
	Fognatura			€/m ³	0,1930
	Depurazione			€/m ³	0,5540
Fisse	Acquedotto			€/anno	17,5138
	Fognatura			€/anno	4,9215
	Depurazione			€/anno	14,5468

Tabella 4.5 – Esempio di possibile articolazione tariffaria [Fonte: Il Sole 24 ORE]

Da anni va avanti una discussione legata alla “privatizzazione” dell'acqua. C'è chi sostiene la necessità di questo radicale cambiamento in termine di gestione della risorsa idrica, sulla base del principio secondo il quale l'acqua è un diritto di base dell'uomo.

In realtà, sebbene la gestione odierna dell'acqua non abbia raggiunto standard di qualità sufficienti, la privatizzazione della stessa potrebbe avere conseguenze ancora più gravi se non regolata in modo rigoroso, portando a consumi spropositati e ad un futuro di scarsità idrica.

Ed ecco che ci si ricollega all'aspetto economico legato all'acqua, in quanto non è sufficiente istruire i consumatori sui vantaggi ambientali raggiungibili anche solo con l'installazione dei dispositivi elencati nel Paragrafo 4.2. La motivazione di risparmio economico è indispensabile per il raggiungimento dello scopo.

Facendo un calcolo rapido, partendo da Tabella 4.5, se si considera in Italia una famiglia di quattro persone residenti in un classico alloggio (privo di giardino), è possibile risalire ad un valore indicativo di costo annuale di bolletta idrica.

Trascurando l'assunzione di dispositivi di risparmio idrico e di sistemi di riutilizzo idrico, si prevede un consumo quotidiano giornaliero di 200 l, nel caso di singolo utente e 150 l/abitante nel caso di conviventi. Considerando poi che la famiglia presa in esame è composta da 2 adulti e 2 bambini, è verosimile considerare un consumo giornaliero complessivo di 600 l/giorno.

Bilancio idrico a scala di edificio

Questo significa 0,6 m³/giorno, il che si traduce in 219 m³/anno, rientrando nella fascia di 1° eccedenza della tariffa acquedottistica.

Il costo legato alle quote variabili è mostrato in Equazione (4.1) mentre quello legato alle quote fisse in Equazione (4.2).

$$C_{var} = Consumo\ annuale \cdot (\text{€ Acquedotto} + \text{€ fognatura} + \text{€ Depurazione}) \quad (4.1)$$

$$= 219 \frac{m^3}{anno} \cdot (1,9390 + 0,1930 + 0,5540) \frac{\text{€}}{m^3} = 588,23 \frac{\text{€}}{anno}$$

$$C_{fisso} = \text{€ Acquedotto} + \text{€ fognatura} + \text{€ Depurazione} \quad (4.2)$$

$$= (17,5138 + 4,9215 + 14,5468) \frac{\text{€}}{anno} = 36,98 \frac{\text{€}}{anno}$$

Per un totale di 625 € annuali.

A causare l'elevato costo totale annuo è stata la voce del costo acquedottistico, in quanto l'assenza di risparmio idrico ha portato la situazione considerata a rientrare nella 1° fascia d'eccedenza, che prevede un costo 3 volte superiore della tariffa base.

Da questo punto di vista, l'esempio riportato ha chiaramente dimostrato che la Delibera 664/2015 ha introdotto una forte motivazione economica volta al risparmio idrico.

Nel caso di rientro nella fascia di tariffa base, il costo totale sarebbe stato di circa 348 € annuali, poco più della metà.

La Tabella 4.6, invece, mostra il costo della bolletta idrica per i principali Stati europei, prendendo come riferimento una famiglia tipo con consumo di 180.000 l/anno composta da 2 adulti e 2 bambini (studio della Global Water Intelligence GWI).

Questo dato si traduce in circa 490 l/giorno consumati complessivamente, sottostimato rispetto alla valutazione fatta in precedenza.

STATO	TARIFFE MEDIE [€/m ³]	AUMENTO 2013-2015 [%]	SPESE ANNUA PER BOLLETTA IDRICA [€]
Italia	1,35	9,7	248
Spagna	2,51	2,2	451
Svezia	3,41	2,6	614
Francia	3,52	2,0	634
Finlandia	4,26	3,9	767
Regno Unito	4,38	4,2	788
Belgio	4,51	4,8	812
Paesi Bassi	4,57	4,3	823
Germania	5,16	-1,4	929
Danimarca	6,67	0,9	1201

Tabella 4.6 – Confronto a livello europeo della spesa in bolletta d'acqua per una famiglia tipo con consumo di 180.000 l/anno (2 adulti e 2 bambini) [Fonte: Life Gate (seconda e terza) e studio della GWI, Global Water Intelligence (quarta colonna)]

Bilancio idrico a scala di edificio

Confrontando i dati della Tabella 4.6, si nota:

- una netta associazione tra bassi costi e consumi elevati (Italia, Spagna);
- una netta corrispondenza tra alti costi e consumi minori (Germania, Danimarca);
- situazione non chiara per i casi intermedi.

Nel Regno Unito, colpito da una forte crisi idrica nell'ultimo decennio, le tariffe idriche sono aumentate notevolmente negli ultimi 5 anni, ben oltre il tasso di inflazione. Questo ha permesso una consistente riduzione degli usi civili di acqua, seppure non è sufficiente (e sostenibile) pensare che l'aumento del prezzo possa essere l'unica soluzione.

Secondo la Delibera AEEGSI (Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico) 664/2015, i valori tariffari sono determinati, per ogni anno del periodo 2016-2019, moltiplicando i valori tariffari vigenti nel 2015 per un moltiplicatore tariffario (ϑ).

Questo coefficiente trasferisce ai consumatori parte dei costi con cui i gestori assicurano in modo continuativo acqua potabile e servizi di depurazione e fognatura.

Per assicurare la sostenibilità della tariffa idrica, AEEGSI fissa un tetto all'aumento annuo del coefficiente ϑ .

L'intervento regolatorio (e quindi il pagamento della bolletta idrica) si rende necessario affinché al sistema di gestione idrico siano forniti incentivi atti a realizzare tutti gli investimenti e miglioramenti qualitativi delle infrastrutture idriche. Si intende che l'utilizzo delle risorse ricavate dall'aumento del tariffario deve essere investito per l'ammodernamento/sostituzione delle infrastrutture di base, anche se si pensa che una parte di queste risorse economiche possa essere destinata a incentivare il progresso dei consumatori verso le tecnologie già citate al Paragrafo 4.2, piuttosto che verso veri e propri sistemi di riutilizzo idrico.

Per limitare l'impatto che l'aumento del tariffario idrico porterà con sé, è utile considerare il valore di spesa per ciascun consumatore.

Le fasce del tariffario visto in Tabella 4.5 mostrano come esso sia studiato per agevolare famiglie di medie dimensioni, con consumi massimi di 150 litri giornalieri.

Chi vive da solo all'interno di un condominio con contatore centralizzato è ovviamente svantaggiato. In poche parole, il tariffario oggi in vigore applica incrementi di costo notevole solo ed esclusivamente in base al consumo della utenza considerata, senza tener conto del numero di persone che la costituiscono.

Risulta dunque necessario un aggiornamento del tariffario italiano, da studiare in funzione del singolo utente, basandosi su un'autodichiarazione dello stesso, verificata dal database ISTAT di censimento.

Questo significherebbe, però, andare a stravolgere in buona parte il "Metodo normalizzato per la definizione delle componenti di costo e la determinazione della tariffa di riferimento del servizio idrico integrato", da Decreto ministeriale del 1996 che mette in atto la legge 36/1994.

Analizzando nello specifico il tariffario idrico italiano, si giunge alla conclusione che esso copre quattro contributi:

- il costo di manutenzione e gestione del sistema di distribuzione;
- gli investimenti da realizzare;
- il canone, ossia la tassa che il gestore paga alle Regioni per metter le mani su un bene pubblico;

- il guadagno del gestore.

L'aumento interessa tutti e quattro i contributi anche se risulta evidente che l'unico dei quattro che può essere considerato come misura di politica ambientale è l'aumento della terza voce, particolarmente importante in Italia in quanto i prelievi idrici in Italia risultano sempre più incompatibili con il "buono stato" dell'acqua.

L'aumento del cosiddetto "costo ambientale" porterebbe i gestori a dare maggiore attenzione allo spreco di acqua, controllando le portate prelevate per minimizzare/eliminare lo sfioro della quantità in eccesso.

Inoltre, un secondo vantaggio interessante da considerare è il fatto che il riutilizzo delle acque (piovane e/o grigie), non essendo interessato dal canone, assumerebbe maggiore importanza.

Una possibile soluzione per garantire l'aumento del tariffario senza andare a gravare sulle famiglie con problemi economici sarebbe quello di agire sulle utenze commerciali e turistiche (ovvero le utenze non domestiche, circa un 25% sul totale di consumo idrico per uso civile).

Oggi, queste utenze godono di un tariffario simile a quello visto precedentemente, ad eccezione dell'assenza della fascia di tariffa agevolata. Se si considera la bassa incidenza del costo della bolletta idrica sulla spesa economica complessiva di un qualsiasi albergo, si potrebbe pensare ad uno stravolgimento del tariffario destinato a questi utenti, aumentando notevolmente i costi.

In conclusione, il sistema di gestione della risorsa idrica odierno è pubblico e quindi monopolistico (assenza di regime di concorrenza), e probabilmente risulta ancora essere la soluzione in vista di un futuro aumento del livello di scarsità idrica.

È la stessa Commissione Europea a sancire il principio del "Full Cost Recovery", secondo il quale i consumatori debbano contribuire alla copertura dei costi operativi, ambientali e delle risorse sostenuti dai gestori.

A tal proposito, prossimamente la Corte di Giustizia Europea comunicherà all'Italia l'importo sanzionatorio per il mancato recepimento della Direttiva 91/271/CEE sul trattamento dei reflui; si tratta di sanzioni che andranno ad aumentare il tariffario idrico futuro in Italia.

5. LO STUDIO DEL BILANCIO IDRICO DI EDIFICIO A LIVELLO ANALITICO

Questo capitolo si pone l'obiettivo di entrare nel cuore del tema dell'elaborato, attraverso una trattazione analitica del bilancio idrico a scala di edificio con cui analizzare i principali contributi di cui si compone e approfondire alcuni aspetti specifici. Tra le diverse trattazioni a livello di letteratura, si è scelto di esaminare nello specifico due soluzioni.

La prima soluzione (Pelak, Porporato, 2016) modella il bilancio idrico di un edificio introducendo il contributo delle acque meteoriche attraverso l'installazione di un sistema di raccolta di acque piovane. Vengono riportate le equazioni fondamentali dello studio, per poi introdurre alcuni indici adimensionali in grado di ridurre il numero di variabili in gioco e dare un quadro di comprensione più completo. Attraverso l'utilizzo di tali indici adimensionali, è possibile infatti comprendere il legame che intercorre tra le componenti del bilancio idrico e, quindi, imparare a gestire tali indici al fine di ottenere l'ottimizzazione del sistema RWH installato.

La seconda soluzione (Agudelo-Vera et al., 2013), pur essendo più datata, introduce all'interno del bilancio idrico modellato anche la componente di riutilizzo di acque grigie, secondo l'approccio UHA (Urban Harvesting Approach, ossia approccio di raccolta a livello urbano). Infatti il modello di edificio considerato prevede la presenza di tre serbatoi di raccolta idrica posti in sequenza: il primo si occupa della raccolta delle acque reflue provenienti dalle docce, il secondo prevede il trattamento di tali acque e nel terzo serbatoio confluiscono acque grigie trattate e acque meteoriche raccolte dalle superfici impermeabili dell'edificio. Gli obiettivi del modello applicato sono la riduzione del volume di acqua di rete prelevato dalla rete pubblica e la riduzione dei volumi di deflusso in fognatura e, nel corso della trattazione, viene spiegato su quali componenti del bilancio idrico agire per poter realizzare tali obiettivi.

5.1 La soluzione proposta da PELAK N., PORPORATO A. (2016) per il bilancio idrico di un edificio dotato di sistema RWH

Nel corso della trattazione proposta, si considerano i seguenti parametri:

- A – Area efficace di tetto [m^2];
- c – Memoria normalizzata di cisterna [-];
- D_c – Indice di domanda della cisterna [-];
- h – Tasso di domanda idrica [m^3 /giorno];
- H – Tasso di domanda idrica soddisfatta dalla cisterna [m^3 /giorno];
- H_m – Tasso di domanda idrica soddisfatta da fonte municipale [m^3 /giorno];
- p_o – Probabilità che $c=0$ [-];
- Q – Portata di sfioro [m^3 /giorno];
- q – Costo di capacità unitaria di serbatoio [$\$/m^3$];
- R – Tasso di precipitazione [m/giorno];
- RWH – Indice di raccolta d'acqua piovana (Rainwater Harvesting) [-];
- r – Costo unitario di acqua da fonte municipale [$\$/m^3$];
- T – Vita utile cisterna [giorni];
- V – Volume cisterna [m^3];
- α - Profondità di evento medio di precipitazione [mm];
- ϕ - Coefficiente di deflusso [-];

γ - Volume normalizzato di cisterna [-];

λ - Frequenza di precipitazione [1/giorno];

θ - Funzione a gradino Heaviside (Heaviside step function) [-].

Bilancio idrico stocastico in cisterna

Il bilancio di massa di acqua in un serbatoio di raccolta di acqua piovana è mostrato in Equazione (5.1): il volume di serbatoio di raccolta dipende dalla portata di precipitazione raccolta dalla superficie effettiva di copertura, dalla domanda idrica domestica soddisfatta dalla cisterna e, in caso di riempimento totale, dal tasso di sfioro della cisterna stessa.

$$V \frac{dc}{dt} = \phi \cdot A \cdot R(t, \alpha, \lambda) - H(c) - Q(c) \quad (5.1)$$

Il valore dell'indice c varia tra 0 e 1. $R(t, \alpha, \lambda)$ è il tasso di precipitazione associato ad un evento con altezza di pioggia α e frequenza di accadimento λ che si verifica al tempo t . L'evento si presenta ogni $\frac{1}{\lambda}$ giorni.

Si suppone che la cisterna sia coperta, in modo che le perdite di evapotraspirazione possano essere trascurate, e che non ci siano perdite distribuite nel sistema di trasporto dell'acqua piovana né perdite in corrispondenza del serbatoio.

Coefficiente di deflusso ϕ dipende da fattori come materiale e pendenza del tetto, nonché dall'efficienza del sistema di raccolta dell'acqua. Uno studio (Farreny et al., 2011) ha stabilito che esso può variare da 0,7 a 0,95. Per non influenzare qualitativamente i risultati, non viene considerata la possibilità di deviare la cosiddetta “prima pioggia”, ovvero i primi 2,5 mm di precipitazione, i quali raccolgono i residui accumulati sulle coperture nel periodo di tempo secco antecedente e per questo preferibilmente trascurabili. Molti sistemi RWH odierni considerano tale deviazione nei bilanci idrici.

Per quantificare la portata di sfioro del serbatoio si utilizza l'espressione di Equazione (5.2).

$$Q(c) = [\phi \cdot R \cdot A - V(1 - c)] \cdot \theta(\phi \cdot R \cdot A - V(1 - c)) \quad (5.2)$$

Ricapitolando le tre ipotesi semplificative:

- assenza di evapotraspirazione;
- assenza di perdite distribuite lungo il sistema di trasporto di acqua piovana dalla copertura al serbatoio e assenza di perdite in corrispondenza del serbatoio di raccolta (caso ideale);
- la “prima pioggia” (first flush) considerata allo stesso modo della pioggia di dilavamento (“seconda pioggia”).

Il coefficiente di deflusso ϕ è funzione di:

- materiale costituente il tetto;
- pendenza;
- efficienza del sistema di raccolta.

L'Equazione (5.3) mostra la dipendenza del tasso di domanda idrica soddisfatta dalla cisterna da c .

$$H(c) = \begin{cases} 0 & c = 0 \\ h & c > 0 \end{cases} \quad (5.3)$$

Quando $c = 0$, l'acqua si presume venga fornita da un'altra fonte, come una fornitura comunale, invece se il serbatoio è parzialmente o totalmente riempito ($c > 0$) significa che il tasso di domanda idrica dell'edificio (h) viene completamente soddisfatto dal serbatoio (H).

La funzione a gradino Heaviside (Heaviside step function) Θ è definita in Equazione (5.4).

$$\Theta = \begin{cases} 0 & c \leq 1 \\ > 0 & c > 1 \end{cases} \quad (5.4)$$

Dunque Θ rappresenta una funzione diversa da 0 solamente nel caso in cui la cisterna risulti piena e la quantità di acqua piovana aggiuntiva sfiora. Infatti in Equazione (5.2) il ruolo della funzione a gradino Heaviside è proprio quello di rendere nulla la portata di sfioro Q in assenza di totale riempimento della cisterna.

Parametri adimensionali

Il sistema può essere descritto da quattro variabili ($\alpha; \lambda; \frac{V}{\phi \cdot A}$ e $\frac{h}{V}$) che contengono due unità di misura base (lunghezza L e tempo T). Applicando il Teorema di Buckingham (Logan, 2013), conosciuto come Teorema pi greco, le variabili a cui fare riferimento si riducono ai due "gruppi" adimensionali di Equazione (5.5) e di Equazione (5.6).

$$1) \text{ Volume normalizzato di cisterna } \gamma = \frac{V}{\phi \cdot A \cdot \alpha \cdot \text{Volume entrante durante evento medio}} \quad (5.5)$$

$$2) \text{ Indice di domanda della cisterna } D_c = \frac{h}{\phi \cdot A \cdot R} = \frac{\text{Tasso di domanda idrica domestica}}{\text{Tasso di precipitazione caduta}} \quad (5.6)$$

Il volume normalizzato di cisterna γ di Equazione (5.5) è un valore numerico compreso tra 0 e 1 che relaziona il volume reale del serbatoio installato con il volume di acqua piovana che entra durante un evento medio di precipitazione. Esso ricopre un ruolo fondamentale nella soluzione stazionaria della Funzione di Densità di Probabilità $p(c)$, associata al valore assunto dalla memoria normalizzata di cisterna c .

Il secondo parametro, l'indice di domanda della cisterna D_c rapporta il tasso di domanda idrica richiesto dall'edificio al tasso di precipitazione raccolta dal serbatoio durante l'evento di pioggia. Questo significa che se esso risulta minore o uguale ad 1, la velocità con cui la risorsa piovana fluisce nel serbatoio è superiore alla velocità con cui l'utenza dell'edificio richiede acqua per soddisfare i propri bisogni. Se, in modo particolare, D_c è minore di 1, il serbatoio di raccolta si sta riempiendo.

Il ruolo di D_c viene ulteriormente spiegato successivamente per spiegare l'importanza del grafico di Figura 5.3.

Partizione dell'acqua raccolta

La quantità di acqua piovana raccolta $\phi \cdot A \cdot R$, viene consumata dalla domanda o persa per sfioro. Il bilancio idrico a lungo termine nella cisterna considera una partizione del volume di acqua piovana accumulata in una componente volta a soddisfare parte della domanda domestica (H) e in una componente volumetrica di sfioro dal serbatoio (Q), come in Equazione (5.7).

$$\phi \cdot A \cdot R = H + Q \quad (5.7)$$

ovvero il tasso di acqua piovana catturata risulta pari alla somma di tasso di domanda idrica dell'edificio soddisfatta dal serbatoio e portata di sfioro.

L'Equazione (5.8) è la riscrittura in termini adimensionali di Equazione (5.7).

$$1 = \frac{H}{\phi \cdot A \cdot R} + \frac{Q}{\phi \cdot A \cdot R} \quad (5.8)$$

Il tasso di domanda idrica domestica soddisfatto dalla cisterna H, secondo l'Equazione (5.9), è uguale al tasso di domanda idrica domestica h moltiplicato per la probabilità di essere nella condizione di cisterna parzialmente o totalmente riempita. Questa probabilità è pari al complementare della probabilità di trovare la cisterna completamente vuota p_0 .

$$(H) = h (1 - p_0) \quad (5.9)$$

dove p_0 è la probabilità che la cisterna sia vuota, dunque $(1 - p_0)$ rappresenta la frazione di tempo in cui la cisterna non è vuota.

Soluzioni allo stato stazionario di $p(c)$

Il termine p_0 rappresenta la probabilità di incorrere nella condizione di cisterna completamente vuota, ossia con memoria normalizzata c pari a 0.

Poiché la domanda soddisfatta è costante finché $c=0$, c'è un atomo di probabilità, p_0 , che la cisterna sia vuota. Invece $p(c)$ rappresenta la funzione di densità di probabilità (pdf) di trovare un valore di memoria normalizzata di cisterna pari a c.

Le soluzioni allo stato stazionario di $p(c)$ sono riportate in Equazione (5.10) (Milly, 1993; Rodríguez-Iturbe e Porporato, 2004).

$$\left\{ \begin{array}{l} p(c) = \frac{\gamma}{D_c} p_0 e^{\gamma \left(\frac{1}{D_c} - 1\right) c} \\ p_0 = \frac{1 - D_c}{e^{\gamma \left(\frac{1}{D_c} - 1\right) - D_c}} \end{array} \right. \quad (5.10)$$

L'Equazione (5.11) è la riscrittura semplificata di Equazione (5.10) per il caso speciale di indice di domanda della cisterna D_c pari a 1, ovvero con tasso di domanda idrica domestica pari al tasso di precipitazione catturata.

$$\begin{cases} p(c) = \frac{\gamma}{1+\gamma} \\ p_0 = \frac{1}{1+\gamma} \end{cases} \quad (5.11)$$

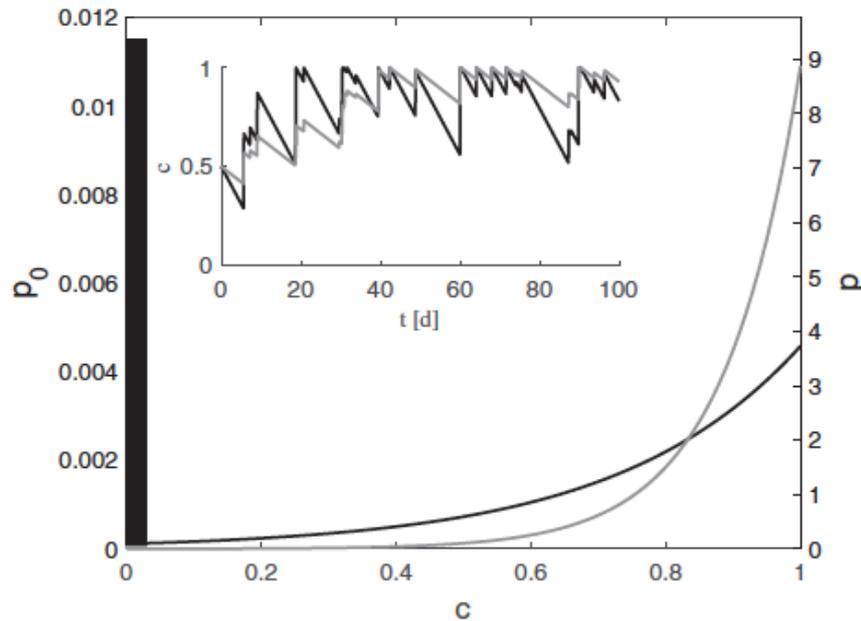


Figura 5.1 – Funzione di Densità di Probabilità (pdf) al variare del volume di stoccaggio, con area di copertura di 267 m² (Duke Smart Home) [Fonte: Pelak, Porporato, 2016]

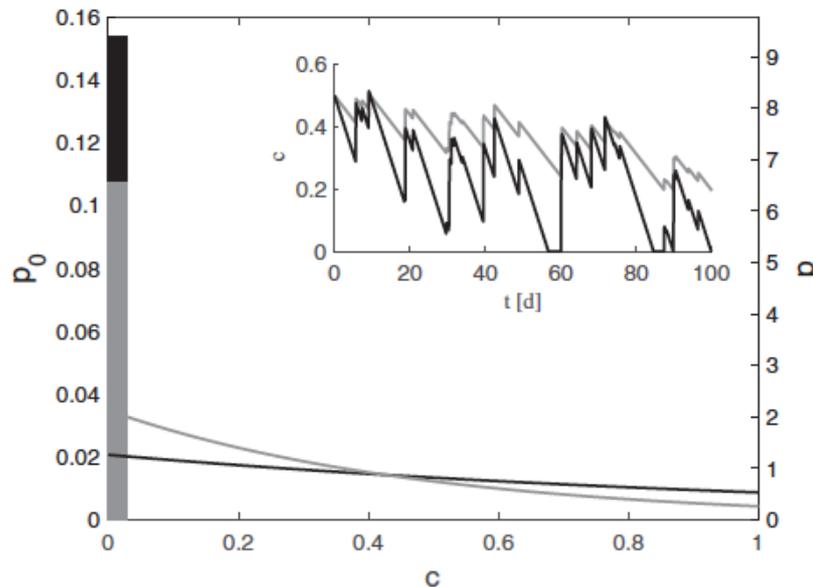


Figura 5.2 – Funzione di densità di probabilità (pdf) al variare del volume di stoccaggio, con metà area di copertura della Duke Smart Home (133,5 m²) [Fonte: Pelak, Porporato, 2016]

In Figura 5.1 e in Figura 5.2 sono riportati i grafici di due Funzioni di Densità di Probabilità $p(c)$ con rispettivamente area della copertura di 267 m² (l'area del tetto approssimativa della Duke Smart Home a Durham, NC, USA), e di 133,5 m² (la metà), per mostrare diversi possibili forme della funzione. Le linee grigie corrispondono a un volume di cisterna di 7,95 m³ (il volume delle

cisterne interne della Smart Home) e le linee nere corrispondono a un volume di cisterna di 19,2 m³ (il volume combinato di cisterne interne ed esterne presso la Smart Home). I grafici interni contengono serie temporali campione per ciascuna combinazione di area del tetto e volume della cisterna.

Dunque le due figure si riferiscono ad un caso reale di residenza universitaria in Carolina del Nord chiamata appunto “casa intelligente” in quanto prevede l’installazione di tetti verdi sulla sua copertura ed un sistema RWH.

Integrando l’Equazione (5.8) con l’Equazione (5.9), si deduce dunque:

$$\frac{\langle H \rangle}{\phi A \langle R \rangle} = D_c (1 - p_0) \quad (5.12)$$

L’espressione di Equazione (5.12) può essere visualizzata in Figura 5.3: note le informazioni sulle precipitazioni (R) e sui tassi di utilizzo idrico domestico (D_c), essa permette di valutare il potenziale di un qualsiasi sistema RWH nel ridurre la domanda di acqua di rete acquedottistica.

L’indice di domanda della cisterna D_c è un buon parametro per valutare l’efficienza del sistema RWH.

I due casi possibili sono i seguenti:

- se $D_c < 1$ allora arriva più acqua (piovana) di quella richiesta dalla domanda domestica;
- se invece $D_c \geq 1$ allora il limite di domanda soddisfatta è rappresentato dalla disponibilità di acqua in cisterna.

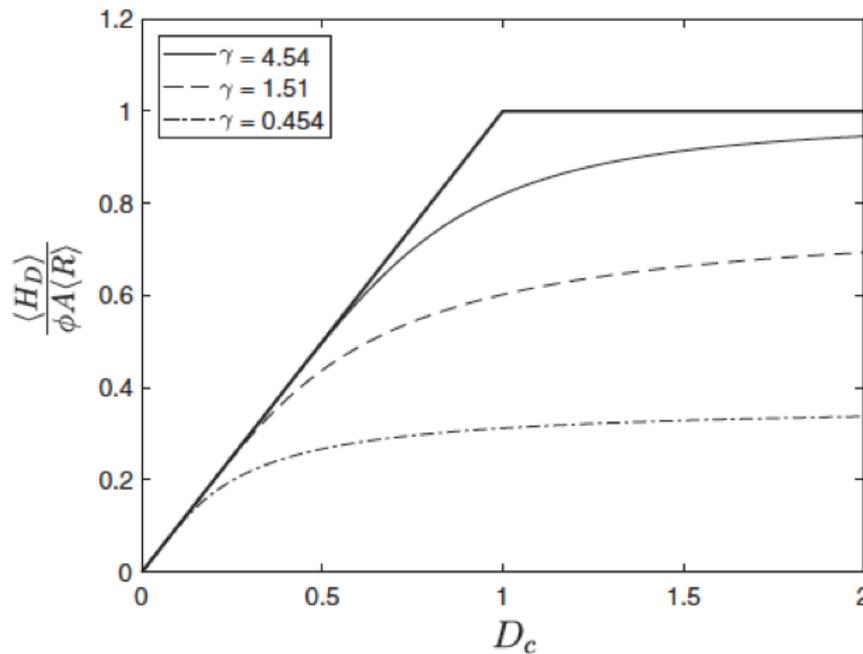


Figura 5.3 – Andamento dell’indice di domanda soddisfatta in funzione dell’indice di domanda della cisterna D_c al variare di γ [Fonte: Pelak, Porporato, 2016]

La Figura 5.3 presenta in ordinata il primo membro di Equazione (5.10), mentre l'indice di domanda della cisterna rappresenta il dato in ascissa. La variabilità di p_0 è implicita nel valore di γ , dunque la rappresentazione grafica di Figura 5.3 descrive a tutti gli effetti l'Equazione (5.10). I tre grafici nascono empiricamente da studi effettuati sulla Duke Smart Home per valori differenti del volume normalizzato di cisterna γ . In particolare il grafico con linea continua si riferisce ad un valore di γ elevato (4,54), il grafico con linea tratteggiata presenta un valore di γ pari ad un terzo di 4,54 (1,51), infine il grafico con linea tratto-punto conclude con γ pari ad un decimo di 4,54 (0,454).

Innanzitutto si nota che con volumi di cisterna di dimensione ridotta rispetto all'evento di precipitazione avvenuto (valori bassi di γ) il valore di domanda idrica domestica soddisfatta H non supera mai il 40% della portata di acqua piovana caduta durante l'evento: questo significa che la limitatezza del volume di cisterna disponibile causa l'inefficienza del sistema RWH e gran parte della risorsa idrica viene persa.

Con valori di γ superiori all'unità, ossia con volumi di cisterna capaci di raccogliere completamente il volume di acqua piovana catturata dalla copertura, l'efficienza del sistema migliora notevolmente. Infatti con valori di domanda idrica domestica h superiori alla portata di acqua piovana catturata (D_c maggiore di 1), fino al 70% dell'acqua piovana caduta viene riutilizzata per soddisfare il fabbisogno idrico dell'edificio.

Infine, la linea nera spessa di Figura 5.3 rappresenta il limite teorico verso cui i sistemi RWH con dimensione enorme di cisterna (γ di grande entità) tendono. Questa condizione teorica presenta un andamento lineare fino a $D_c=1$ per poi stabilizzarsi su un valore unitario di ordinata: questo significa che, considerando un serbatoio dal volume capace di contenere più volte l'evento di pioggia verificatosi ($\gamma \gg 1$), all'aumentare della domanda idrica dell'edificio (h), aumenta proporzionalmente il valore di domanda idrica soddisfatta dal sistema RWH fino al raggiungimento di $D_c=1$.

Il raggiungimento del valore unitario di indice di domanda della cisterna, ossia tasso di domanda idrica pari al tasso di precipitazione catturata, comporta un valore di $\frac{(H)}{\phi A (R)}$ pari a 1, che equivale a dire che tutta la pioggia caduta è stata catturata per essere riutilizzata per scopi domestici. Questa condizione si mantiene per qualsiasi altro valore di D_c superiore ad 1: il valore di ordinata, ovviamente, non può essere maggiore di 1 perché questo significherebbe che la portata di acqua inviata dal serbatoio all'edificio è superiore alla portata di pioggia caduta.

La Figura 5.3, nata dall'esperienza condotta alla Duke Smart Home, rappresenta un punto di riferimento semplice ed efficace per tutti i sistemi RWH.

In presenza di un sistema RWH, conoscendo semplicemente il volume della cisterna installata, i dati sulla precipitazione e il fabbisogno idrico dell'edificio, è possibile ricavare i valori di D_c e di γ e, mediante la Figura 5.3, usarli per conoscere il valore di H , ossia la portata di domanda idrica dell'edificio che l'acqua piovana raccolta è in grado di soddisfare.

5.2 Possibile soluzione proposta da AGUDELO-VERA C.M., KEESMAN K. J., MELS A.R., RIJNAARTSH.H. (2013) per il bilancio idrico di un edificio dotato di sistema misto di trattamento e riutilizzo di acque grigie e di raccolta delle acque piovane

L'approccio di raccolta urbana (UHA, Urban Harvesting Approach) propone una sequenza gerarchica di misure per migliorare la gestione delle risorse urbane.

L'UHA può essere descritto attraverso tre tecniche principali:

- minimizzazione dei volumi idrici richiesti alla rete acquedottistica;
- minimizzazione dei volumi idrici in uscita tramite riciclaggio dei flussi;
- multi-sourcing, ossia soddisfacimento della domanda idrica rimanente non soddisfatta tramite la raccolta di risorse locali (come acqua piovana).

Un esempio di applicazione dell'UHA (Agudelo-Vera et al. 2012) ha dimostrato il raggiungimento dell'autosufficienza idrica per due casi di abitazione nei Paesi Bassi e in Australia.

Questi risultati sono tuttavia validi per una famiglia media, supponendo che tutte le risorse idriche locali possano essere raccolte. In realtà, è necessario considerare la presenza di limitazioni nella loro raccolta, tra cui:

- variazioni spaziali legate alla tipologia di edificio (case indipendenti o condomini);
- variazioni stagionali legate ai modelli annuali di precipitazione;
- limitazioni temporali (modelli di domanda/offerta che variano tra il giorno e la notte, tra i giorni feriali e i giorni festivi e tra le stagioni).

Lo studio prevede l'applicazione della strategia UHA a due tipologie di edifici nei Paesi Bassi, ovvero una casa monofamiliare indipendente di 4 persone e un appartamento di media altezza all'interno di un complesso residenziale composto da 28 appartamenti con 2 persone per appartamento.

Di seguito vengono connotati i parametri considerati nello studio:

d_{sho} – domanda domestica per doccia e lavabo;

d_{tap} – domanda domestica per rubinetti;

d_{toi} – domanda domestica per wc;

d_{lau} – domanda domestica per lavatrice;

R_{pot} – riciclaggio potenziale;

D_{Q1} – domanda domestica di acqua potabile;

D_{Q2} – domanda domestica di acqua di 2° qualità (non potabile);

T_i – volumi totali in ingresso;

T_o – volumi totali in uscita;

C_o – consumo;

E_{iQ1} – acqua di rete pubblica per soddisfare richiesta potabile D_{Q1} ;

E_{iQ2} – acqua di rete pubblica per soddisfare richiesta non potabile D_{Q2} ;

M_{pot} – multi-sourcing potenziale (raccolta acqua piovana);

O_1 – sfioro serbatoio 1;

- O_2 – sfioro serbatoio 3;
- R_{act} – riciclaggio effettivo;
- M_{act} – multi-sourcing effettivo (raccolta acqua piovana);
- W_e – volume idrico di acqua grigia in fognatura;
- S_1, S_2, S_3 – volume di costruzione dei serbatoi;
- S – volume idrico immagazzinato.

Tutti i parametri indicati sono espressi su base giornaliera e l'unità di misura utilizzata per i volumi è il m^3 .

Nello studio di Agudelo-Vera et al. (2013) è presentata l'applicazione dell'approccio UHA ad un edificio secondo le modalità descritte in Figura 5.4. Gli intenti sono quelli di: descrivere analiticamente il bilancio idrico complessivo che interessa l'edificio in questione, analizzandolo nelle sue componenti e mostrare le modalità di applicazione dell'UHA in modo da ottimizzare il suddetto bilancio, massimizzando lo sfruttamento delle risorse idriche disponibili e minimizzando le fuoriuscite.

Il modello di domanda d'acqua considerato è il modello stocastico SIMDEUM.

Usando SIMDEUM, sono stati simulati i bilanci idrici annuali considerando la domanda convenzionale e una domanda minimizzata, assumendo come intervallo temporale la scala oraria.

Questo studio è focalizzato sul consumo di acqua domestica per usi interni, dunque non sono state prese in considerazione le variazioni stagionali della domanda.

Le unità di accumulo d'acqua, come è possibile vedere in Figura 5.4, sono:

- serbatoio S_1 per la raccolta di acqua grigia non trattata (greywater);
- serbatoio S_2 in cui avviene il trattamento delle acque grigie:

$$V_2 = RT \times k \quad (5.13)$$

L'Equazione (5.13) mostra il dimensionamento del volume di serbatoio di trattamento V_2 in funzione di RT (tempo di residenza idraulica in giorni) e k (capacità di trattamento in m^3 /giorno);

- serbatoio S_3 in cui convogliano le acque grigie provenienti da S_2 e l'acqua piovana raccolta dal sistema RWH.

Assunzioni semplificative:

- i serbatoi risultano essere sotterranei e dunque chiusi: questo significa che si trascura l'evapotraspirazione;
- il volume iniziale di immagazzinamento (Dead Storage Capacity) è considerato nullo.

Per le tecniche di UHA applicate in questo studio, l'acqua grigia proveniente da doccia (d_{sho}) rappresenta l'unica componente di riciclaggio potenziale R_{pot} , come mostrato in Equazione (5.14), raccolta in S_1 , trattata in S_2 e nuovamente raccolta in S_3 per poi essere riutilizzata per soddisfare la domanda idrica non potabile per gabinetti (d_{toi}) e per lavanderia (d_{lau}). Questi due

Bilancio idrico a scala di edificio

quantitativi idrici sommati rappresentano la domanda domestica di acqua di seconda qualità D_{Q2} (riferimento a Equazione 5.15).

Si noti che in questo modello l'acqua domestica che scorre dai rubinetti domestici non è soggetta a raccolta e riutilizzo, ma finisce direttamente nel sistema fognario.

$$R_{pot}(t) = d_{sho}(t) \quad (5.14)$$

$$D_{Q2}(t) = d_{toi}(t) + d_{lau}(t) \quad (5.15)$$

Bilancio di massa

Il bilancio di massa idrico considerato nell'approccio UHA è il seguente:

$$(\text{Ingressi totali } T_i) - (\text{Fuoriuscite totali } T_o) - (\text{Consumi } C) = \text{Deposito}$$

dove gli Ingressi totali sono calcolati in Equazione (5.16), le Fuoriuscite totali in Equazione (5.17) e i consumi in Equazione (5.18).

$$T_i = E_{iQ1} + E_{iQ2} + M_{pot} \quad \text{Ingressi totali} \quad (5.16)$$

$$T_o = d_{sho} + d_{toi} + d_{lau} + O_1 + O_2 \quad \text{Fuoriuscite totali} \quad (5.17)$$

$$C_0 = 0 \text{ (no perdite assunte)} \quad \text{Consumi} \quad (5.18)$$

$$\frac{dS}{dt} = [E_{iQ1}(t) + E_{iQ2}(t) + M_{pot}(t)] - [d_{tap}(t) + d_{sho}(t) + d_{lau}(t) + d_{toi}(t) + O_1(t) + O_2(t)] \quad (5.19)$$

L'Equazione (5.19) rappresenta il bilancio di massa complessivo e rappresenta l'equazione di continuità intorno al quale il sistema ruota, applicabile a tutti e tre i serbatoi in serie. La variazione nel tempo di volume idrico immagazzinato è pari alla differenza tra i volumi idrici in ingresso nell'edificio (acqua di rete E_{iQ1} e E_{iQ2} e acqua piovana potenziale M_{pot}) e i volumi idrici in uscita dall'edificio (acque grigie prodotte dall'utenza d_{sho} , d_{lau} e d_{toi} e le quantità di sfioro O_1 e O_2).

Dando per scontato che la domanda venga soddisfatta completamente, si giunge ad Equazione (5.20).

$$D(t) = D_{Q1}(t) + D_{Q2}(t) = E_{iQ1}(t) + E_{iQ2}(t) + R_{act}(t) + M_{act}(t) \quad (5.20)$$

dove la domanda di acqua potabile D_{Q1} (rubinetti cucina, rubinetti bagno, doccia) è espressa in funzione del tempo in Equazione (5.21) mentre la domanda di acqua non potabile D_{Q2} (toilette, lavanderia) fa riferimento a Equazione (5.15).

$$D_{Q1}(t) = d_{tap}(t) + d_{sho}(t) \quad (5.21)$$

L'Equazione (5.20) considera D_{Q1} soddisfatta completamente da acqua di rete municipale, in quanto essa rappresenta l'unica fonte di acqua potabile. Questo è espresso nello specifico in Equazione (5.22).

$$D_{Q1}(t) = E_{iQ1}(t) \quad \text{domanda di acqua potabile soddisfatta} \quad (5.22)$$

Allo stesso modo, l'Equazione (5.23) mostra le quattro componenti che consentono di soddisfare completamente la domanda di acqua non potabile del sistema, tra cui un quantitativo di acqua di rete E_{iQ2} , il quantitativo effettivo di acque grigie trattate e riutilizzate R_{act} e il quantitativo effettivo di acqua piovana raccolta e riutilizzata M_{act} .

$$D_{Q2}(t) = E_{iQ2}(t) + R_{act}(t) + M_{act}(t) \quad \text{domanda di acqua non potabile soddisfatta} \quad (5.23)$$

La Figura 5.4 mostra una schematizzazione dettagliata del sistema di gestione idrica preso in considerazione nell'analisi.

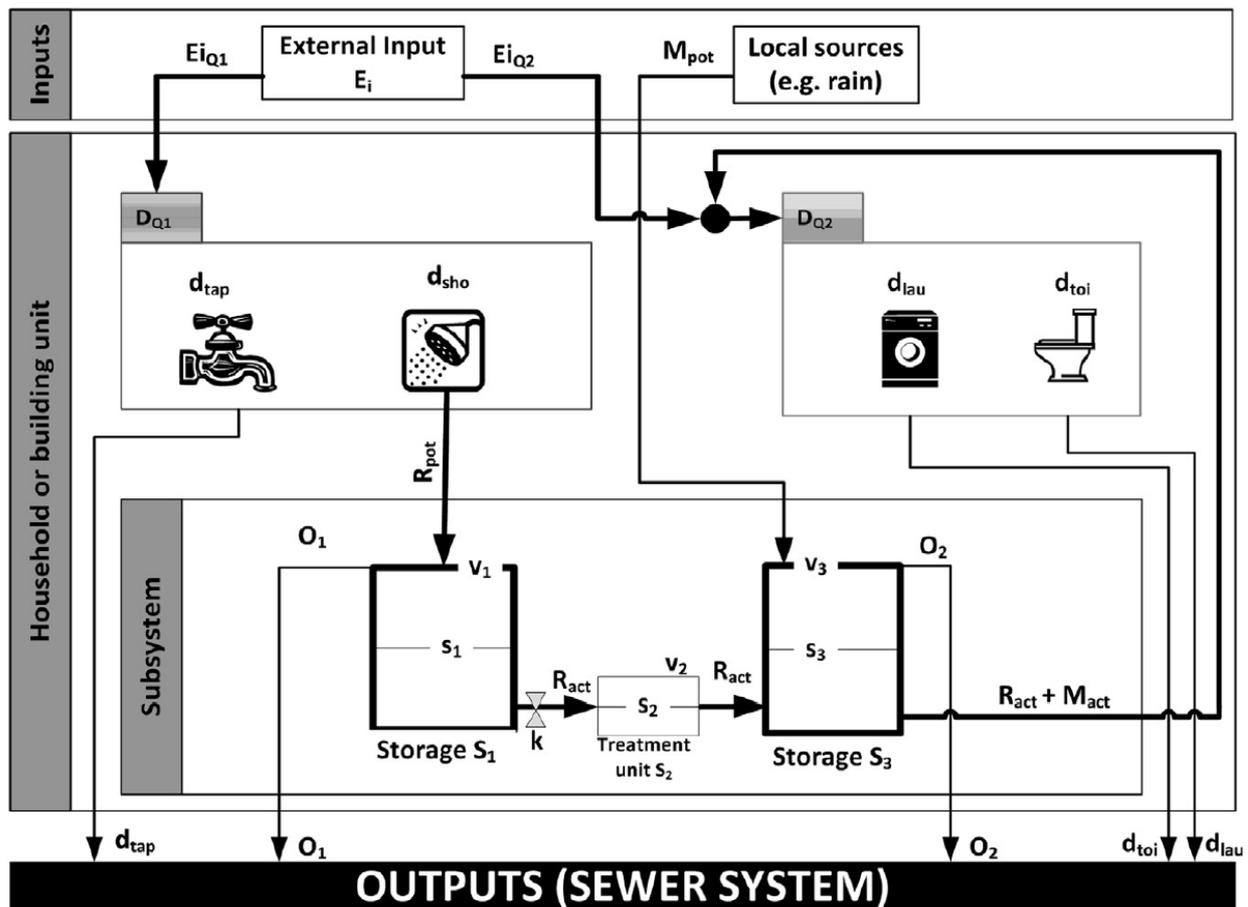


Figura 5.4 – Schematizzazione del sistema di gestione dell'acqua considerato
 [Fonte: Agudelo-Vera et al., 2013]

Di seguito vengono riportati i due obiettivi principali che l'applicazione dell'approccio UHA appena vista si pone di raggiungere.

Obiettivo 1

Lo scopo è quello di minimizzare la portata di acqua di rete prelevata E_{iQ2} per soddisfare la domanda D_{Q2} , la cui espressione è mostrata in Equazione (5.24).

$$E_{iQ2}(t) = D_{Q2}(t) - R_{act}(t) - M_{act}(t) \quad (5.24)$$

La condizione ideale sarebbe $E_{iQ2} = 0$, ovvero che la somma della portata di acqua piovana raccolta M_{act} con la portata di acque grigie riutilizzate R_{act} uguagliasse la domanda di acqua non potabile D_{Q2} .

Per raggiungere l'obiettivo 1 è necessario:

- massimizzare il termine R_{act} ;
- massimizzare il termine M_{act} ;
- ridurre la richiesta di acqua non potabile D_{Q2} .

Obiettivo 2

Si tratta della minimizzazione del cosiddetto "Waste Export" $W_e(t)$ ovvero la portata idrica di scarico in uscita dall'edificio e che va a finire in fognatura.

L'Equazione (5.25) mostra le componenti idriche prodotte dall'edificio e che vengono scaricate nel sistema fognario.

$$W_e(t) = d_{tap}(t) + d_{sho}(t) + d_{lau}(t) + d_{toi}(t) + O_1(t) + O_2(t) \quad (5.25)$$

Si consideri che:

$$R_{act}(t) = R_{pot}(t) - O_1(t) \quad (5.26)$$

La portata di acque grigie effettivamente trattate e raccolte nel serbatoio 3 sono inferiori al suo valore potenziale quando il serbatoio 1 risulta totalmente riempito e si verifica condizione di sfioro.

Inoltre si ricorda che la domanda idrica totale dell'edificio è la seguente:

$$D(t) = D_{Q1}(t) + D_{Q2}(t) = d_{tap}(t) + d_{sho}(t) + d_{toi}(t) + d_{lau}(t) \quad (5.27)$$

Combinando l'Equazione (5.25) con l'Equazione (5.26) e con l'Equazione (5.27) e ricordando l'Equazione (5.14) si ottiene la seguente espressione di W_e .

$$W_e(t) = D(t) - R_{act}(t) + O_2(t) \quad (5.28)$$

Per raggiungere l'obiettivo 2, seguendo l'Equazione (5.28) si può agire con tre diverse modalità:

- ridurre il quantitativo di acqua richiesta dall'utenza D ;
- aumentare la quantità di acqua grigia effettivamente riciclata R_{act} ;
- ridurre lo sfioro di acqua dal serbatoio 3 O_2 .

La selezione della capacità di immagazzinamento ottimale comporta compromessi, perché dipende direttamente dalla disponibilità di spazio e dai costi di installazione. Però, si potrebbe

considerare la possibilità di esportare risorse verso altre utenze, come i quantitativi di sfioro O_1 e O_2 .

Nel seguente studio la scala di analisi è quella di edificio perciò si è supposto che non ci sia esportazione di risorse, mentre essa potrebbe essere considerare a scala più ampia (isolato, città).

Indici di profilo metabolico

I seguenti tre indici adimensionali sono stati introdotti dall'approccio UHA per quantificare, in termini numerici, il rendimento raggiunto dalle tre strategie di cui si compone il modello e che sono state introdotte in apertura di Paragrafo 5.2 (minimizzazione domanda, riciclaggio risorse idriche, multi-sourcing).

- Indice di minimizzazione della domanda

Questo indice, compreso tra 0 e 1, rappresenta in termini numerici l'efficacia raggiunta con la minimizzazione della domanda convenzionale. La sua espressione è quella di Equazione (5.29).

$$DMI = \frac{\text{Domanda convenzionale} - \text{domanda ridotta}}{\text{Domanda convenzionale}} = \frac{D_{con}(t) - D(t)}{D_{con}(t)} \quad (5.29)$$

- Indice di produzione di acque grigie

Si tratta ancora di un valore numerico che ha la finalità di evidenziare l'efficacia raggiunta in termini di minimizzazione del quantitativo idrico scaricato in fognatura (riferimento a Equazione 5.30).

$$WOI = \frac{\text{Acqua scaricata in fognatura}}{\text{Domanda convenzionale}} = \frac{W_e(t)}{D(t)} \quad (5.30)$$

- Indice di sostenibilità

L'indice di sostenibilità, la cui espressione si trova in Equazione (5.31), evidenzia quale quantitativo di domanda domestica riesce ad essere soddisfatto dalle acque di riutilizzo immagazzinate in serbatoio 3.

$$SSI = \frac{\text{Acqua immagazzinata}}{\text{Domanda convenzionale}} = \frac{R_{act}(t) + M_{act}(t)}{D(t)} \quad (5.31)$$

Gli indici DMI, WOI e SSI possono essere calcolati a qualsiasi scala temporale (giorno, mese o anno). Il profilo metabolico può essere calcolato per unità di costruzione (bu, building unit) o sottosistema (ss, subsystem), dove il sottosistema è definito come il sistema di raccolta e trattamento per acque grigie e di raccolta per acqua piovana.

Dal momento che l'acqua da rubinetto (d_{tap}) non è riciclata, SSI_{bu} risulta essere sempre minore di 1.

Inoltre, l'indice di sostenibilità del sottosistema SSI_{ss} è sempre maggiore dell'indice di sostenibilità dell'edificio SSI_{bu} : anche se il quantitativo di risorsa idrica raccolta $R_{act} + M_{act}$ è uguale in entrambi i casi, la domanda totale per l'edificio D_{bu} risulta sempre maggiore della domanda totale per il sottosistema D_{ss} poiché D_{bu} è dato dalla somma del contributo di acqua

Bilancio idrico a scala di edificio

potabile richiesta D_{Q1} e di acqua non potabile D_{Q2} mentre D_{ss} è interessata solo dalla seconda componente D_{Q2} .

La differenza tra SSI_{ss} e SSI_{bu} è tanto maggiore quanto è minore il rapporto D_{Q2}/D .

Applicazione del modello

Il modello teorico proposto viene applicato a due unità abitative dei Paesi Bassi, le cui caratteristiche sono sintetizzate in Tabella 5.1.

	Casa indipendente monofamiliare	Appartamento in complesso residenziale
Area copertura [m ³]	60	640
Occupazione	1 famiglia – 4 persone	28 appartamenti – 56 persone
Numero di WC	2	28
Numero di lavatrici	1	28
Numero di vasche da bagno	1	0
Numero di docce	1	28

Tabella 5.1 – Confronto casa monofamiliare/appartamento

Il consumo medio domestico di acqua nei Paesi Bassi ammonta a 124 litri giornalieri pro-capite secondo un'indagine del 2010 sull'uso residenziale dell'acqua (Foekema e van Thiel, 2011). Il sondaggio ha anche mostrato che la percentuale maggiore di acqua è consumata per doccia e lavanderia. Inoltre, ha segnalato differenze di consumo di acqua legate alle dimensioni della famiglia: anche se le famiglie più grandi fanno più spesso il bucato, il consumo idrico a persona per lavanderia è inferiore al valore pro-capite di una coppia di conviventi.

Quando nel seguito si parlerà di domanda idrica minimizzata ci si riferisce alla possibilità di installare dispositivi di risparmio idrico già trattati nel paragrafo 4.2.

La Tabella 5.2 mostra il consumo medio giornaliero di acqua per persona, simulato con SIMDEUM, per i due tipi di edifici considerati, con o senza apparecchi di risparmio idrico installati.

	Casa indipendente monofamiliare		Appartamento in edificio residenziale	
	Convenzionale [l/pers/giorno]	Minimizzato [l/pers/giorno]	Convenzionale [l/pers/giorno]	Minimizzato [l/pers/giorno]
Doccia	50,7	43,9	50,7	43,9
WC	32,1	4,8	32,1	4,8
Lavatrice	13,5	12,0	14,5	13,0
Lavandino cucina	8,7	8,7	16,8	16,8
Lavandino bagno	4,0	4,0	4,0	4,0
Lavastoviglie	3,1	3,1	3,9	3,9
Vasca da bagno	7,7	7,7	0,0	0,0
Totale	119,8	84,2	122,0	86,4

Tabella 5.2 – Consumi convenzionali e minimizzati per le due opzioni considerate

Dalla Tabella 5.2 risulta evidente che il consumo giornaliero di acqua per persona è simile per le due tipologie di edificio mentre la distribuzione del consumo idrico è diverso. La principale differenza è la vasca da bagno: per la casa indipendente i consumi della vasca rappresentano il 6% del totale consumo, mentre secondo le ipotesi dello studio di Agudelo-Vera et al. (2013), per i 28 appartamenti non è prevista la sua presenza. I modelli annuali sono stati costruiti attraverso simulazioni giornaliere (365 simulazioni annuali) per i due tipi di edifici sia per la domanda convenzionale che per la domanda minimizzata.

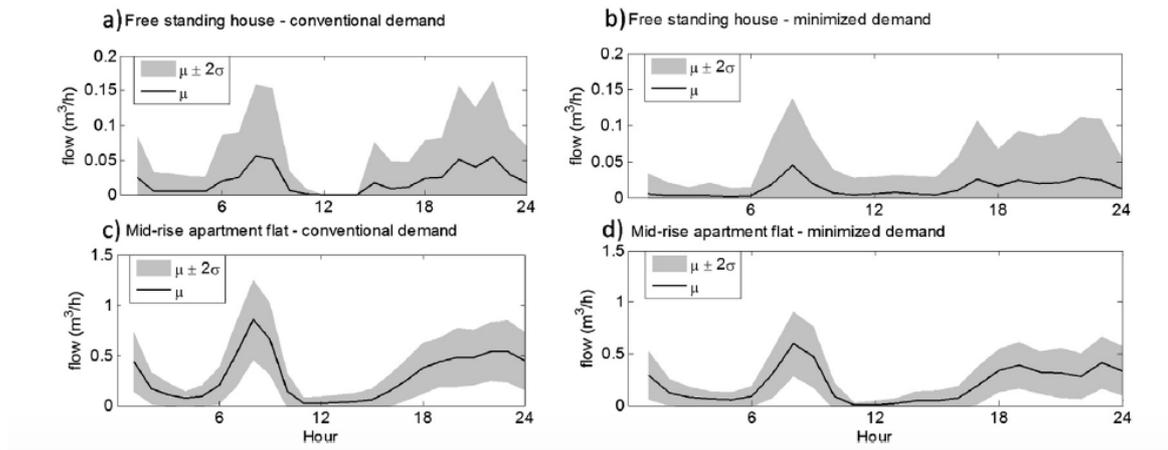


Figura 5.5 – Simulazione di consumo pro-capite durante l'arco della giornata

- a) casa monofamiliare - domanda convenzionale
- b) casa monofamiliare - domanda minimizzata
- c) appartamento - domanda convenzionale
- d) appartamento - domanda minimizzata

[Fonte: Agudelo-Vera et al., 2013]

La Figura 5.5 mostra la media e la deviazione standard delle simulazioni di consumo idrico nell'arco di una giornata media per i quattro sotto-casi considerati. La deviazione standard, in generale, risulta essere più grande nel caso di casa monofamiliare indipendente: questo significa che l'aumento del numero di utenti per unità abitativa rende le statistiche di consumo più incerte. Anche se il consumo medio giornaliero di acqua per persona è simile per entrambi i tipi di edifici, il confronto dei modelli temporali ha mostrato che non è soddisfatto il principio di sovrapposizione lineare degli effetti.

Infatti, il consumo di acqua nel caso famiglia composta da 4 persone non è pari al doppio del caso di alloggio abitato da 2 persone.

Questo risultato mostra che l'uso di acqua pro-capite è influenzato dalle dimensioni della famiglia e che i modelli temporali aggregati sono di tipo non lineare. La non linearità è causata, oltre che dalle dimensioni della famiglia, anche da differenze nell'uso di apparecchi idrici e composizione del nucleo familiare (numero di adulti e numero di bambini).

La prima strategia prevista dall'UHA è stata applicata attraverso il caso di domanda minimizzata, mentre le altre due strategie sono state attuate nel seguente modo:

- solo riciclaggio di acque grigie prodotte dalle docce dell'edificio;
- solo multi-sourcing (riutilizzo acque piovane raccolte);
- combinazione delle due strategie di riciclaggio e multi-sourcing.

Per il riciclaggio, la capacità di trattamento k è stata impostata pari alla domanda idrica media oraria dell'edificio mentre il tempo di residenza idraulica (RT) pari a 24 ore.

Inoltre, la dimensione del primo serbatoio è stata impostata sulla produzione giornaliera media di LGW (Light Greywater, acque grigie prodotte dalle docce in questo caso) mentre sono state considerate diverse capacità per il serbatoio S_3 .

Il multi-sourcing si riferisce all'uso di fonti locali e rinnovabili. In questo studio, ci siamo coincide con la raccolta di acqua piovana.

I Paesi Bassi, con precipitazioni medie annue di 800 mm, hanno un grande potenziale M_{pot} .

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

$$M_{pot} = P \cdot A \cdot RC \quad (5.32)$$

Il coefficiente di deflusso di Equazione (5.32) 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 et al., 2011].

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

Risultati

La Tabella 5.3 mostra i risultati di simulazione SIMDEUM a livello di edificio e di sottosistema attraverso gli indici di profilo metabolico e il massimo potenziale di miglioramento di consumo idrico.

Gli indici di minimizzazione della domanda sono stati calcolati a livello di sottosistema (DMI_{ss}) utilizzando apparecchi di risparmio idrico per doccia, WC e lavatrice a basso consumo di acqua. Per entrambe le tipologie di edificio, circa il 60% della domanda convenzionale a livello di sottosistema è minimizzata.

La Tabella 5.3 fornisce anche informazioni riguardanti il massimo potenziale per riciclaggio e multi-sourcing: il riciclaggio di LGW R_{pot} è in grado di fornire il 100% della domanda idrica di seconda qualità D_{Q2} in tutti e quattro i sotto-casi considerati, con la produzione di acqua riciclata in eccesso che sfiorerebbe. Questo è dimostrato dal fatto che l'indice SSI, che in questo caso rapporta il volume di acqua grigia trattata e riutilizzata alla domanda idrica dell'edificio, risulta essere pari ad 1 in tutti e quattro i sotto-casi (casa indipendente con domanda convenzionale, casa indipendente con domanda minimizzata, appartamento con domanda convenzionale e appartamento con domanda minimizzata).

Nel frattempo, per quanto riguarda la seconda strategia di multi-sourcing, il valore di SSI (indice di sostenibilità) varia tra 0,37 e 1,00 a livello di sotto-sistema. Questo significa che il potenziale massimo di multi-sourcing varia tra il 37% (nel caso di appartamento con domanda convenzionale) e il 100% di D_{Q2} (nel caso di casa indipendente con domanda minimizzata), corrispondente ad un percentuale compresa tra 14% e 29% della domanda idrica totale D.

Infine, la terza strategia considerata, ovvero la combinazione di acque grigie trattate e riciclate con acqua piovana raccolta (come in Figura 5.4) corrisponde alla condizione di massimizzazione di risorse idriche recuperate ma, al tempo stesso, produce il massimo quantitativo di overflow.

Bilancio idrico a scala di edificio

Infatti a livello di sottosistema il valore di WOI, indice di produzione di acque grigie in fognatura, della terza strategia raggiunge un valore maggiore sia nel caso di domanda convenzionale che in quello di domanda minimizzata (1,04 e 3,59) rispetto ai relativi valori per le prime due strategie.

Parametro	Unità di misura	Casa indipendente		Edificio residenziale	
		Convenzionale	Minimizzata	Convenzionale	Minimizzata
D	m ³ /anno	172	117	2590	1820
D _{Q2}	m ³ /anno				
Riciclaggio potenziale massimo					
R _{pot}	m ³ /anno	89	72	1112	952
SSI _{ss}	-	1,00	1,00	1,00	1,00
WOI _{ss}	-	0,48	2,12	0,15	1,62
Multi-sourcing potenziale massimo					
M _{pot}	m ³ /anno	34	34	358	358
SSI _{ss}	-	0,56	1,00	0,37	0,98
WOI _{ss}	-	0,00	0,47	0,00	0,00
Combinazione potenziale Riciclaggio e Multi-sourcing massimi					
R _{pot} + M _{pot}	m ³ /anno	123	106	1470	1310
SSI _{ss}	-	1,00	1,00	1,00	1,00
WOI _{ss}	-	1,04	3,59	0,52	2,60

Tabella 5.3 – Simulazione (SIMDEUM) di massima ottimizzazione dei consumi nei 4 sotto-casi

Riciclaggio di acque grigie e riutilizzo d'acqua piovana

Per i due tipi di edifici, riciclaggio effettivo (R_{act}) e multi-sourcing (M_{act}) sono stati studiati prima separatamente e poi in combinazione.

Come mostrato in Tabella 5.4, il volume di serbatoio 1 viene assunto pari a 0,2 m³ per il caso di casa indipendente e di 2,6 m³ nel caso di edificio residenziale. Essendo l'edificio costituito da 28 appartamenti, è come se si prevedesse l'installazione di un serbatoio con capacità di 0,093 m³ per ciascuna unità abitativa. Invece il volume del serbatoio di trattamento V₂ è calcolato come il prodotto tra capacità di trattamento k e tempo di residenza idraulica RT, secondo l'Equazione (5.13).

Parametro	Unità di misura	Casa indipendente		Edificio residenziale	
		Convenzionale	Minimizzata	Convenzionale	Minimizzata
k	l/h	7	3	111	42
V ₁	m ³	0,200	0,200	2,600	2,600
V ₂	m ³	0,168	0,720	2,664	1,008

Tabella 5.4 – Specifiche di sottosistema

La Figura 5.6 mostra l'andamento delle “risorse raccolte” (Resources harvested Rh), con le tre strategie:

- riciclaggio effettivo di acque grigie R_{act};
- multi-sourcing effettivo M_{act};

- combinazione delle due $R_{act} + M_{act}$.

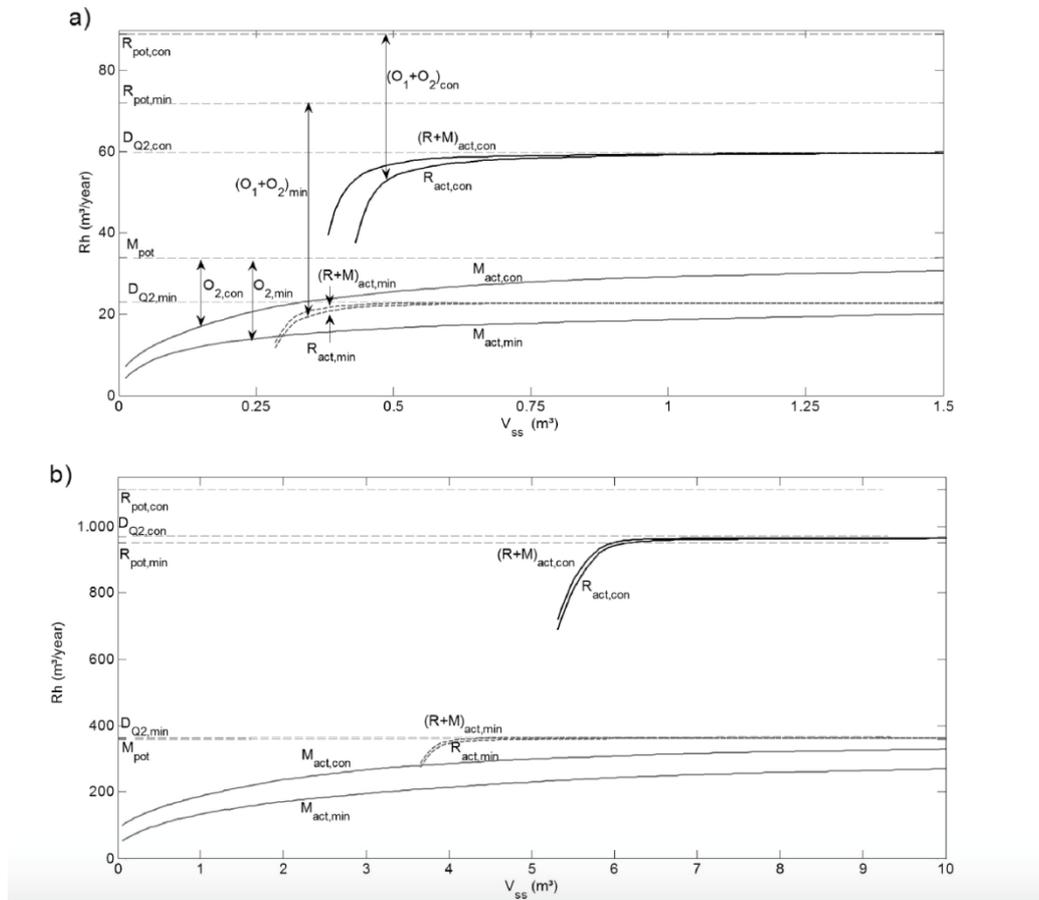


Figura 5.6 – Risorse idriche raccolte R_h per a) casa monofamiliare b) appartamento simulando 3 differenti strategie [Fonte: Agudelo-Vera et al., 2013]

La quantità di risorsa idrica “raccolta” risulta essere una funzione della capacità di immagazzinamento del sottosistema V_{SS} , pari alla somma $V_1 + V_2 + V_3$.

Per entrambe le tipologie di edificio, la pendenza del grafico, che rappresenta la resa di risorsa raccolta per m^3 di capacità di stoccaggio, è più grande per la strategia di solo riciclaggio rispetto a quella di solo multi-sourcing, con conseguente minor volume di stoccaggio necessario a parità di rendimento.

Nei casi studiati, oltre un determinato valore di capacità di sottosistema V_{SS} la pendenza si riduce a zero, poiché D_{Q2} viene soddisfatta.

La Tabella 5.3 aveva dimostrato che il riciclaggio potenziale di acque grigie era in grado di soddisfare completamente la domanda idrica non potabile D_{Q2} e la Figura 5.6, che considera i valori effettivi di riciclaggio R_{act} , lo dimostra con certezza. Questo si traduce in un surplus di risorse locali che produce lo sfioro del serbatoio 1.

Per la domanda convenzionale, il riciclaggio (R_{pot}) può coprire circa il 36% della domanda totale D , per entrambi le soluzioni di abitazione.

Invece, il multi-sourcing effettivo è in grado di fornire rispettivamente il 60% e l'80% del valore di domanda minimizzata di una casa indipendente e di un appartamento in edificio residenziale

Bilancio idrico a scala di edificio

Per una data capacità di stoccaggio, i rendimenti sono leggermente più alti nel caso di combinazione riciclaggio con multi-sourcing rispetto al caso di riciclaggio semplice.

Complessivamente, i risultati mostrano che esistono due tipi di vincoli per soddisfare la domanda di acqua con risorse locali a livello di edificio.

Il primo vincolo è legato alla disponibilità di risorse locali: la disponibilità di acqua piovana (M_{pot}) dalle condizioni locali (clima, area tetto).

Il secondo vincolo segue dal primo ed è causato dai limiti pratici nella raccolta di R_{pot} e M_{pot} , collegati alla disponibilità di spazio nell'edificio.

Comunque, i risultati confermano la gerarchia delle misure proposte dal UHA, in cui la minimizzazione della domanda è il primo passo significativo per raggiungere l'autosufficienza locale nelle aree presidenziali ed il riciclaggio è la seconda strategia più efficiente. La raccolta di acqua piovana risulta essere la strategia con minor resa.

I risultati evidenziano dunque che la progettazione di sistemi di raccolta e riutilizzo idrico locali richiede conoscenza dettagliata delle condizioni locali. Uso dell'acqua, efficienza del riciclaggio delle acque grigie e l'efficienza dei sistemi di raccolta di acque piovane sono caratteristiche specifiche del sito. Il confronto diretto tra i casi è ostacolata dall'interazione non lineare di diversi fattori dinamici che determinano l'efficienza del sistema. Pertanto, l'efficienza del sistema non è facilmente confrontabile, se le dinamiche non sono chiaramente comprese.

La metodologia presentata non si concentra solo sull'efficienza dei sistemi di riutilizzo idrico, ma anche sulla quantificazione degli sfiori del sottosistema. I risultati mostrano che un grande potenziale viene sprecato quando si concentra solo su unità immobiliari. L'ottimizzazione dei cicli idrici deve includere scale di grandi dimensioni per migliorare il profilo metabolico attraverso la conversione dei rifiuti scaricati in risorse sfruttabili (per esempio gli sfiori potrebbero essere raccolti a scala di isolato per essere riutilizzati per l'irrigazione del verde locale).

Se l'applicazione di un tale modello UHA a scala di edificio comporta un vantaggio in termini di risorsa idrica riutilizzabile a scala urbana (sfioro dei serbatoi), d'altra parte questo cambiamento nel bilancio idrico di edificio potrebbe avere due implicazioni negative sul bilancio urbano: la prima è che una minor richiesta di acqua di rete da parte dell'edificio aumenta il tempo di residenza idrica nelle rete municipale; la seconda interessa il sistema fognario, il quale è progettato sulla base di flussi medi combinati con fattori di picchi, i quali valori verrebbero modificati.

Una futura applicazione dell'approccio UHA analizzato a scala più grande (a livello di isolato o di quartiere) potrebbe produrre risultati utili a descrivere un quadro di bilancio idrico in modo più completo.

6. IL RIUTILIZZO DELLE ACQUE PER CONSUMI DOMESTICI: ALCUNI CASI DI STUDIO

Il seguente capitolo analizza cinque studi incentrati su sistemi di raccolta e di riutilizzo di acque di seconda qualità (acque meteoriche, acque grigie).

Attualmente i volumi entranti del bilancio idrico di un qualsiasi edificio provengono quasi esclusivamente dal sistema acquedottistico pubblico; le normative nazionali sono ben lontane dall'introdurre l'obbligatorietà di installare sistemi di raccolta e riutilizzo delle acque di seconda qualità a livello di edificio e tali sistemi possono contare solo su una motivazione ambientale. Infatti, al prezzo attuale dell'acqua di rete, ancora manca la motivazione economica ad incentivare l'introduzione di tali sistemi nel proprio edificio. Eppure tali sistemi pongono le basi per un sviluppo futuro di edifici sostenibili in grado di ridurre notevolmente i prelievi dall'acquedotto fino a raggiungere l'autosufficienza idrica.

Si è ritenuto coerente ed opportuno approfondire all'interno di questo elaborato, che si concentra sul bilancio idrico a scala di edificio, alcuni aspetti legati alle soluzioni sostenibili di raccolta delle acque piovane e riutilizzo delle acque grigie trattate.

6.1 CASO STUDIO 1: Riutilizzo interno delle acque per lo scarico WC [Campisano, Modica, 2008]

Negli ultimi anni sono stati condotti molti studi a volte monitorare i principali utilizzi d'acqua negli edifici residenziali. I dati registrati mostrano che circa il 30% del consumo idrico domestico viene utilizzato per la cassetta del WC mentre un valore compreso tra 10 e 20% di esso è riservato all'utilizzo di lavandini da bagno per igiene personale.

Si è dunque ipotizzato di valutare i possibili benefici derivanti dal collegamento idraulico diretto dei due dispositivi, attraverso l'acquisizione di serie cronologiche di consumo contemporaneo di lavandini e WC in bagni domestici.

Lo studio ha considerato sei famiglie siciliane differenti in quanto a tipologia e numero di utenti, come è possibile vedere in Tabella 6.1 (Campisano, Modica, 2008).

Lo scopo dell'indagine risulta essere la valutazione del risparmio idrico ottenibile con riutilizzo dell'acqua consumata nei lavandini da bagno per soddisfare la domanda idrica dello scarico del WC: in questo modo si può ridurre il prelievo di acqua di rete (potabile) dall'impianto di distribuzione municipale. Infatti l'acqua utilizzata per il risciacquo dei gabinetti non necessita della condizione di potabilità dell'acqua, dunque la qualità delle acque grigie raccolte dai rubinetti del bagno sarebbe sufficiente per permettere il loro riuso come acqua da risciacquo del gabinetto.

La durata della campagna di misurazione è stata di due settimane (si vedano le ultime due righe di Tabella 6.1) ed ha consentito di produrre il modello domestico di consumo idrico.

Lo studio condotto ha considerato lavandini con portata media di 0,12 l/s e WC tradizionali con tasto unico di risciacquo e con una cassetta di volume di 9 l.

Per ogni scenario studiato, la Figura 6.1 riporta un corrispondente grafico con le curve cumulative di consumo idrico pro-capite per lavandini (volume cumulativo V_W contrassegnato da linea tratteggiata) e per WC (volume cumulativo V_F contrassegnato da linea continua) per l'intera durata dell'indagine.

Bilancio idrico a scala di edificio

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Tipo	Comunità	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia	Famiglia
Numero di utenti	5	3	3	3	5	6
Tipologia di utenti	5 studenti	2 pensionati 1 studente	1 lavoratore 1 casalinga 1 studente	2 pensionati 1 studente	4 lavoratori 1 casalinga	3 lavoratori 3 bambini
Utenti nei giorni feriali	5	2	3	2	5	6
Utenti nei giorni festivi	1	3	3	3	5	6
Ora di inizio misurazione	27/03/06 23:00	27/03/06 6:00	15/04/06 7:00	16/04/06 21:40	01/05/06 19:30	03/05/06 14:30
Ora di fine misurazione	10/04/06 23:00	10/04/06 6:00	29/04/06 7:00	30/04/06 21:40	15/05/06 19.30	17/05/06 14:30

Tabella 6.1 – Resoconto degli scenari considerati

Dalla Figura 6.1, si può notare un andamento quasi lineare delle curve cumulative di consumo pro-capite nel tempo; inoltre, sebbene i valori numerici di volume risultino notevolmente diversi per i 6 scenari considerati, la caratteristica che accomuna tutti i grafici è il fatto che i volumi consumati dallo scarico dei WC risultano essere sempre superiori rispetto a quelli consumati nei rubinetti.

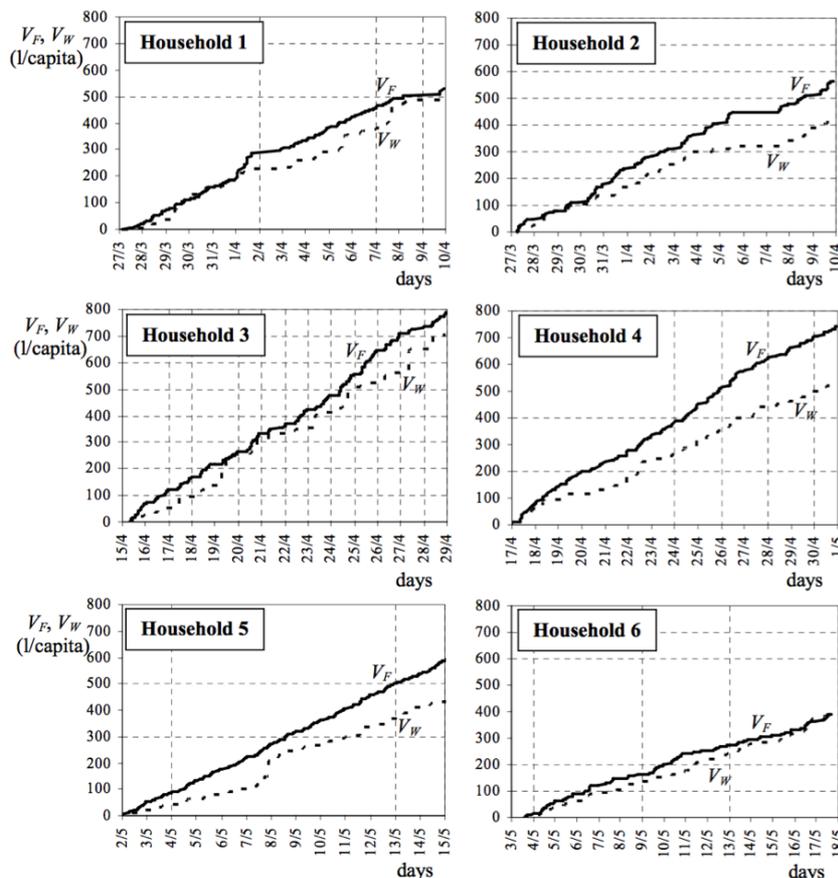


Figura 6.1 – Curve cumulative di consumo d'acqua pro-capite dei lavandini (V_W) e dei WC (V_F)
[Fonte: Campisano, Modica, 2008]

Realizzando una media tra i sei casi considerati, si deduce che un sistema di riutilizzo delle acque grigie provenienti da lavandini è in grado di soddisfare l'85% della richiesta idrica da WC, con un restante 15% che deve comunque continuare a provenire dalla rete pubblica comunale.

Finora non si è però tenuto conto dei vincoli tecnici nello schema di riutilizzo: i volumi di acqua grigia effettivamente riutilizzata per il risciacquo del WC variano in funzione della dimensione della cassetta di scarico del WC e in funzione della capacità del serbatoio dell'acqua grigia.

Per questo motivo sono state effettuate diverse simulazioni di bilancio idrico per ciascuno dei sei scenari, attraverso cui raccogliere un discreto numero di dati: in particolare, si è considerato un semplice sistema di raccolta delle acque reflue provenienti dai lavandini in un serbatoio di acqua grigia.

Da un punto di vista operativo, lo schema di riutilizzo prevede il pompaggio delle acque così raccolte nella cassetta di scarico del WC non appena il volume immagazzinato nel serbatoio di acqua grigia risulta almeno uguale alla capacità della cassetta di risciacquo del WC.

Nel caso in cui il volume di acque grigie raccolte risulti insufficienti per soddisfare la richiesta idrica dello sciacquone, il sistema prevede il ricorso alle acque di rete acquedottistica mentre, nel caso si verifichi un eccesso di risorsa reflua raccolta, si prevede lo sfioro dal serbatoio verso il sistema fognario.

Per evitare problemi in termini di qualità delle acque grigie è necessario, però, considerare una fase di trattamento di clorazione nel serbatoio di raccolta.

L'affidabilità delle simulazioni effettuate è garantita dall'aver considerato una discreta gamma di valori tipici di capacità della cassetta di risciacquo C_{WC} (6, 7, 8, 9 litri) e di valori di capacità del serbatoio di raccolta delle acque grigie C_S (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 litri).

Per ogni combinazione delle due, sono stati valutati due parametri, riportati di seguito.

- Il risparmio idrico WS , la cui formula è riportata in Equazione (6.1).

$$WS = \left(1 - \frac{V_A}{V_F}\right) \cdot 100 \quad (6.1)$$

dove V_A è il volume di acqua pro-capite fornito dall'acquedotto per lo scarico [m^3] mentre

V_W rappresenta il volume di consumo idrico da lavandini pro-capite [m^3].

Maggiore è la domanda idrica di risciacquo WC soddisfatta dalle acque grigie riutilizzate,

minore è il volume idrico richiesto all'acquedotto V_A e maggiore è il valore di WS .

- Le perdite di acqua di sfioro WL , la cui formula è riportata in Equazione (6.2).

$$WL = \frac{V_S}{V_W} \cdot 100 \quad (6.2)$$

dove V_S è il volume di acqua pro-capite traboccato dal serbatoio di acqua grigia [m^3] e V_W è il volume di consumo idrico da WC pro-capite [m^3].

Bilancio idrico a scala di edificio

Gli andamenti dei due parametri percentuali descritti WS e WL in funzione della capacità C_S e per diverse capacità C_{WC} sono riportati rispettivamente in Figura 6.2 e in Figura 6.3.

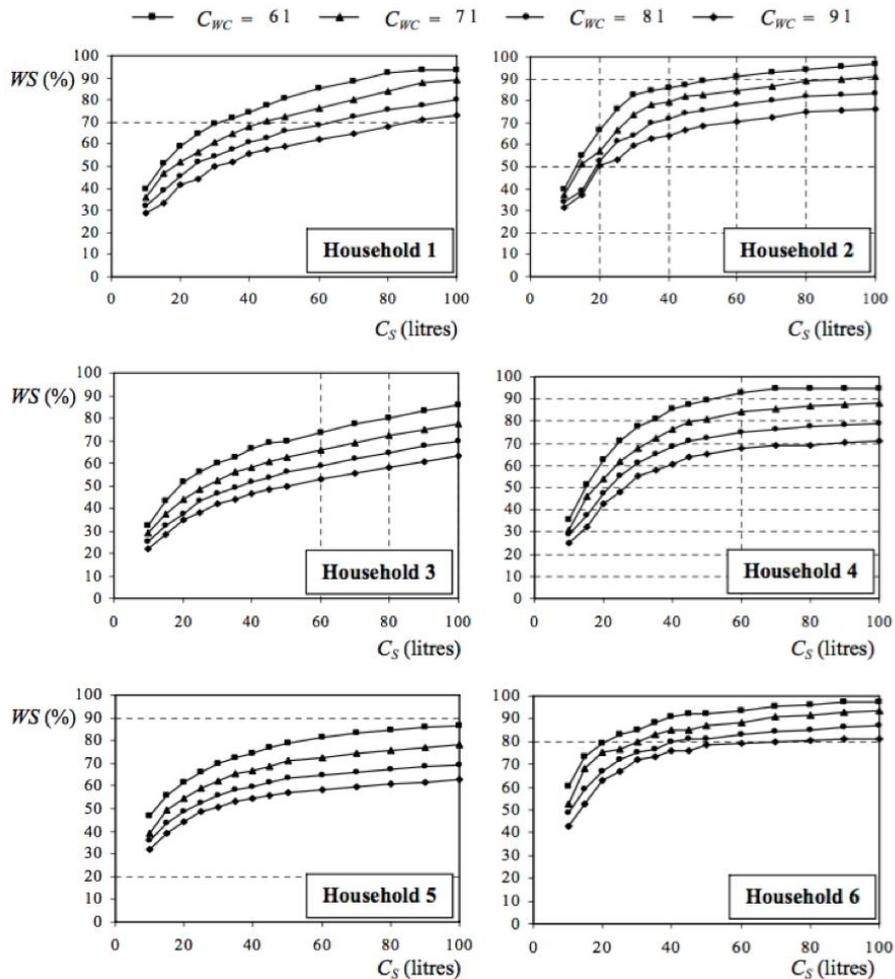


Figura 6.2 – Andamento dell'indice di risparmio idrico (WS) in funzione di C_S (capacità serbatoio acque grigie) e di C_{WC} (capacità di cassetta WC)
[Fonte: Campisano, Modica, 2008]

In generale, la Figura 6.2 mostra un miglioramento delle prestazioni del sistema (valori crescenti di WS) quando la capacità C_S del serbatoio dell'acqua grigia cresce; in particolare la pendenza della curva risulta essere più elevata con valori relativamente bassi di C_S mentre con valori elevati di C_S il beneficio (aumento di WS) segue un andamento blando.

Inoltre, la Figura 6.2 mostra valori crescenti di WS quando la capacità della cassetta di risciacquo C_{WC} diminuisce, come ovvio che sia: infatti le scatole di risciacquo più piccole consentono un maggior numero di operazioni di scarico utilizzando acque grigie.

La Figura 6.3, invece, mostra una riduzione di perdite d'acqua per sfioro con l'aumentare della capacità del serbatoio C_S , mentre il valore di WL non è influenzato in modo particolare dalla variazione di C_{WC} . Ognuna delle sei rappresentazioni grafiche di Figura 6.3 rappresenta uno scenario diverso di famiglia ed in ognuna di esse ad ogni curva corrisponde un diverso valore di capacità di cassetta di risciacquo C_{WC} : il fatto che le curve si accavallino sta a significare che il valore di C_{WC} non influisce sul tasso di sfioro dal serbatoio di raccolta WL.

Bilancio idrico a scala di edificio

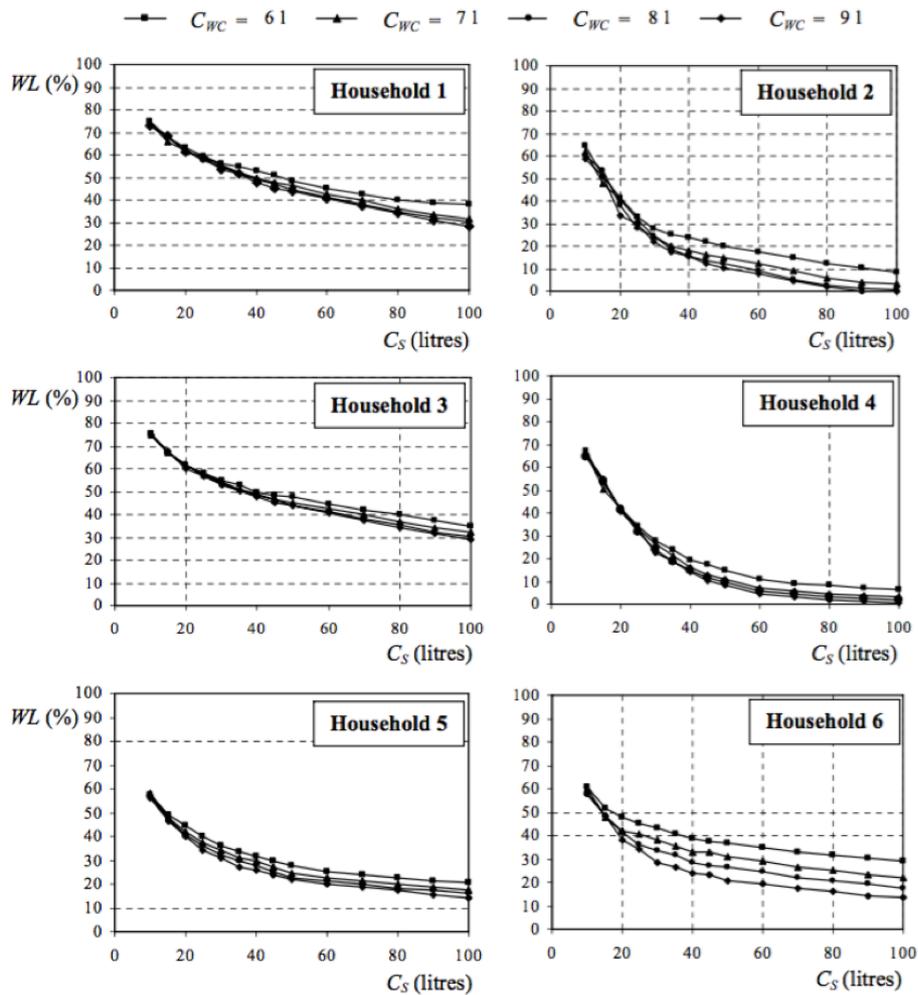


Figura 6.3 – Andamento dell'indice di perdita di acqua di troppo pieno (WL) in funzione di C_S (capacità serbatoio acque grigie) e di C_{WC} (capacità di cassetta WC)
[Fonte: Campisano, Modica, 2008]

Considerato un consumo pro-capite di 250 l/giorno, i risultati ottenuti consentono di affermare che un serbatoio di raccolta di 30 litri risulta essere un buon compromesso tra valori elevati di WS (75% con C_{WC} di 6 litri e 55% con C_{WC} di 9 litri) e valori ridotti di WL (40% con C_{WC} di 6 litri e 35% con C_{WC} di 9 litri).

Il risparmio idrico totale ottenibile a scala di edificio, ossia considerando la domanda idrica totale (rubinetti, WC, doccia, lavanderia, lavastoviglie, ...) è stimato attorno al 10%.

Ulteriori simulazioni potrebbero essere effettuate per valutare i vantaggi di tipo ambientale e sociale di un tale sistema di riutilizzo idrico a scala di edificio.

6.2 CASO STUDIO 2: Dimensionamento impianto di raccolta di acqua piovana secondo la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012

La specifica tecnica UNI/TS 11445:2012 rappresenta il riferimento normativo italiano per la raccolta delle acque meteoriche in adeguati serbatoi di stoccaggio.

UNI/TS 11445:2012 prevede due metodologie di dimensionamento della cisterna di raccolta di acqua piovana: procedura semplificata e procedura analitica.

Per evitare un'eccessiva semplificazione e conseguente incertezza sul dimensionamento effettuato, Si opta per la procedura analitica.

L'analisi riportata si pone l'obiettivo di dimensionare una cisterna di raccolta per una casa monofamiliare del Comune di Bari con le seguenti caratteristiche (Ecoacque):

- famiglia composta da 4 utenti (2 adulti e 2 minorenni);
- tetto piano impermeabile, di superficie (proiettata in orizzontale) di 275 m²;
- area di verde di 50 m².

Domanda idrica per consumi domestici diversi da quello umano

La norma UNI/TS 11445:2012 prevede la raccolta e il riutilizzo di acqua piovana per usi domestici diversi dal consumo umano, ossia per usi in cui non è richiesta la condizione di potabilità dell'acqua.

La stima della richiesta di acqua per tali usi può essere effettuata riferendosi alla Tabella 6.2.

UTENZA	FABBISOGNO GIORNALIERO PROCAPITE	FABBISOGNO ANNUALE
WC in abitazione	40 litri	-
WC negli uffici	30 litri	-
WC negli edifici scolastici	20 litri	-
Lavatrice	15 litri	-
Irrigazione per 1 m ² di area a verde	-	300 litri/m ²

Tabella 6.2 – Consumo idrico diverso da quello umano

[Fonte: UNI/TS 11445/2012]

La Tabella 6.2 viene assunta come riferimento per valutare il fabbisogno idrico di acqua di rete per consumi diversi da quello umano per usi interni (Tabella 6.3) e per usi esterni (Tabella 6.4).

Per semplicità di calcolo, non è stata assunta alcuna differenza tra i consumi idrici di un adulto e quelli di un bambino.

Il volume di acqua richiesta per consumo annuo domestico (R) si calcola secondo la formula di Equazione (6.3).

$$R = n \cdot r \cdot 365 \quad (6.3)$$

Bilancio idrico a scala di edificio

n = numero di abitanti serviti [abitanti];

r = richiesta giornaliera pro-capite [$\frac{\text{litri}}{\text{abitante} \cdot \text{giorno}}$].

L'applicazione di Equazione (6.3) combinata con la Tabella 6.5 ha prodotto i risultati di Tabella 6.6 (usi interni) e di Tabella 6.7 (usi esterni).

Utenza	Consumo [l/ab/giorno]	Numero abitanti	Periodo [giorni]	Consumo annuo d'acqua [l]
WC	40	4	365	58.400
Lavatrice	15	4	365	21.900
Pulizie	2	4	365	2.920
SOMMA DEL FABBISOGNO IDRICO PER USI INTERNI				83.220

*Tabella 6.3 – Fabbisogno di acqua di rete per consumi interni diversi da quello umano
[Fonte: Ecoacque]*

Utenza	Consumo [l/m ² /anno]	Superficie di irrigazione [m ²]	Consumo annuo d'acqua [l]
Irrigazione area verde	300	50	15.000
SOMMA DEL FABBISOGNO IDRICO PER USI ESTERNI			15.000

*Tabella 6.4 - Fabbisogno di acqua di rete per usi esterni
[Fonte: Ecoacque]*

Dunque la richiesta idrica totale annua R per usi diversi da quello umano è calcolata in Equazione (6.4).

$$R = R_{int} + R_{est} = 83.220 \text{ l} + 15.000 \text{ l} = 98.220 \text{ l} = 98,22 \text{ m}^3 \quad (6.4)$$

Risorsa idrica piovana

Per valutare l'afflusso meteorico effettivo, si procede a valutare il valore di altezza media annua di pioggia del luogo in cui è svolta l'analisi, basandosi su una serie di precipitazione dalla durata di diversi anni per valutare l'influenza della variabilità inter-annuale sui dati raccolti.

In Tabella 6.5 vengono riportate le caratteristiche della serie storica di precipitazioni della stazione di Bari Osservatorio di durata trentennale.

Bilancio idrico a scala di edificio

PERIODO	ALTEZZA DI PIOGGIA [mm]	GIORNI PIOVOSI [giorni]	PERIODO DI TEMPO SECCO [giorni]
Gennaio	49	7	24
Febbraio	55	7	22
Marzo	36	6	25
Aprile	38	6	24
Maggio	27	5	26
Giugno	26	4	27
Luglio	23	3	28
Agosto	26	2	29
Settembre	56	5	25
Ottobre	59	6	25
Novembre	60	8	22
Dicembre	61	8	23
Anno	516	65	300

Tabella 6.5 – Serie storica di precipitazioni - stazione di Bari Osservatorio
[Fonte: Ecoacque]

L'Equazione (6.5) riporta il calcolo dell'afflusso meteorico annuo Q secondo UNI/TS 11445:2012.

$$Q = \varphi \cdot P \cdot A = 0,70 \cdot 516 \cdot 275 = 99330 \text{ l} \quad (6.5)$$

P = precipitazione media annua [mm];

φ = coefficiente di deflusso [-], pari al rapporto tra volume defluito e affluito (si veda la Tabella 6.6);

A = superficie di captazione in proiezione orizzontale [m²].

Il valore di proiezione orizzontale di area di copertura A è considerato pari al totale in quanto si tratta di un edificio dotato di tetto piano. Il coefficiente di deflusso φ varia in funzione della tipologia di copertura (impermeabile rivestito da terreno in questo caso) e il suo valore invece fa riferimento alla Tabella 6.6.

TIPOLOGIA DI COPERTURA	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO (φ)
Copertura impermeabile a falda (pendenza > 3%)	0,80
Copertura impermeabile piana	0,70
Copertura permeabile (verde pensile)	0,50
Superficie impermeabile a terra	0,70

Tabella 6.6 – Valori tipici di coefficienti di deflusso
[Fonte: Ecoacque]

Il volume utile e il volume ottimale di raccolta

Secondo la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012, il dimensionamento del volume utile del serbatoio si calcola valutando il valore minimo tra Q e R (R in questo caso) e lo si moltiplica per un fattore adimensionale.

Il calcolo è mostrato in Equazione (6.6).

$$V_U = \min[R; Q] \cdot F_P = R \cdot F_P = 98.220 \cdot 0,079 = 12000 \text{ l} = 7804 \text{ l} \quad (6.6)$$

V_U = volume utile (litri);

F_P = fattore adimensionale, pari al rapporto fra il periodo massimo annuo di giorni consecutivi privi di precipitazione e i giorni dell'anno. Il valore a numeratore di Equazione (6.7) fa riferimento al valore di periodo di tempo secco per il mese di agosto di Tabella 6.5).

$$F_P = \frac{\text{periodo massimo giorni secchi consecutivi}}{\text{giorni in un anno}} = \frac{29}{365} = 0,079 \quad (6.7)$$

Il volume ottimale di serbatoio si calcola moltiplicando il volume utile per un coefficiente di sicurezza C_S pari a 1,5 che garantisce un'elevata efficienza del sistema anche in presenza di variazioni notevoli della precipitazione annua (UNI/TS 11445:2012).

$$V_O = V_U \cdot C_S = 12000 \text{ l} \cdot 1,50 = 7804 \text{ l} \cdot 1,50 = 11706 \text{ l} \quad (6.8)$$

Il valore di volume ottimale ottenuto dall'Equazione (6.8) viene arrotondato per eccesso a 12000 litri.

La Tabella 6.7 riporta i risultati ottenuti da una simulazione di bilancio idrico annuale del sistema di raccolta d'acqua piovana.

MESE	ALTEZZA DI PIOGGIA [mm]	AFFLUSSO METEORICO Q [l]	RICHIESTA INTERNA [l]	RICHIESTA IRRIGUA [l]	RICHIESTA TOTALE R [l]	BILANCIO MENSILE B [l]	VOLUME ACQUA ACCUMULABILE V_a [l]	VOLUME ACQUA RECUPERATA V_r [l]
Gennaio	49	9433	6935	0	6935	2498	2498	6935
Febbraio	55	10588	6935	0	6935	3653	6150	6935
Marzo	36	6930	6935	0	6935	-5	6145	6930
Aprile	38	7315	6935	2500	9435	-2120	4025	7315
Maggio	27	5198	6935	2500	9435	-4238	-213	5198
Giugno	26	5005	6935	2500	9435	-4430	-4643	5005
Luglio	23	4428	6935	2500	9435	-5008	-9650	4428
Agosto	26	5005	6935	2500	9435	-4430	-14080	5005
Settembre	56	10780	6935	2500	9435	1345	-12735	9435
Ottobre	59	11358	6935	0	6935	4423	-8313	6935
Novembre	60	11550	6935	0	6935	4615	-3698	6935
Dicembre	61	11743	6935	0	6935	4808	1110	6935
BILANCIO ANNUO	516	99330	83220	15000	98220	21340	NEGATIVO = VUOTA	77990

Tabella 6.7 – Bilancio idrico annuale del sistema di raccolta

[Fonte: Ecoacque]

Bilancio idrico a scala di edificio

Le colonne della Tabella 6.7 sono così composte:

- mese dell'anno a cui la riga fa riferimento;
- altezza di pioggia mensile;
- afflusso di acqua piovana al serbatoio con riferimento a Equazione (6.5);
- domanda domestica di acqua non potabile per usi interni calcolata come fabbisogno idrico annuo per usi interni (riferimento a Tabella 6.3) diviso per 12 mesi;
- domanda irrigua calcolata come fabbisogno idrico annuo per usi esterni (riferimento a Tabella 6.4) diviso per i 6 mesi caldi dell'anno (da aprile a settembre);
- domanda totale calcolata come somma delle due colonne precedenti;
- bilancio mensile del serbatoio, calcolato come differenza tra afflusso mensile al serbatoio e domanda totale non potabile dell'abitazione;
- volume acqua accumulabile, ossia una sommatoria progressiva di acqua accumulata nel serbatoio, calcolata sommando al volume di acqua accumulata del mese precedente il bilancio idrico del mese corrente;
- volume acqua recuperata, calcolato come valore minimo tra il volume mensile di afflusso al serbatoio e il volume mensile di domanda totale.

Le caselle della Tabella 6.7 evidenziate in rosso rappresentano i valori negativi: in particolare alla colonna "Bilancio mensile" esse stanno a significare che il volume di acqua piovana raccolta in quel determinato mese non è stato sufficiente a garantire il soddisfacimento della domanda idrica mensile non potabile dell'edificio. Questa condizione non coincide esattamente con l'incapacità di soddisfare la domanda idrica non potabile per quel mese: infatti il riferimento più importante è rappresentato, dalla colonna successiva "Volume acqua accumulabile", che rappresenta il bilancio idrico del serbatoio che tiene conto anche dell'acqua immagazzinata nei mesi precedenti a quello corrente.

Quando la colonna di volume di acqua accumulabile V_a presente un valore positivo, il sistema di raccolta è in grado di soddisfare completamente la richiesta idrica domestica non potabile, mentre quando indica un valore negativo, questo significa che la domanda idrica non potabile richiede necessariamente il ricorso all'acqua di rete acquedottistica.

Come è possibile vedere, per mesi come marzo e aprile, nonostante l'acqua piovana raccolta nel serbatoio in quel mese specifico è risultata minore della domanda mensile non potabile dell'abitazione, il sistema è stato comunque in grado di soddisfarla grazie al volume accumulato nei mesi precedenti.

Dal mese di maggio il bilancio mensile del serbatoio ha continuato a risultare negativo e il volume di acqua immagazzinata nei mesi precedenti non è stato più sufficiente a garantire il totale soddisfacimento della domanda domestica non potabile, dovendo necessariamente ricorrere all'acqua di rete municipale.

Con l'arrivo dell'autunno l'afflusso meteorico ha subito un notevole incremento (il valore di afflusso al serbatoio del mese di settembre è stato più che doppio rispetto a quello di agosto) e questo ha permesso al bilancio idrico mensile di tornare ad assumere valori positivi e ciò ha permesso la riduzione del volume totale progressivo di acqua di rete richiesta.

Il massimo volume mensile confluito nel serbatoio risulta essere minore della capacità utile ottimale di progetto (11743 l < 12000 l), dunque il dimensionamento del serbatoio non necessita correzioni.

L'efficienza del sistema di raccolta progettato viene valutata attraverso due indici percentuali (Campisano, Modica, 2011), riportati di seguito.

- 1) Indice di efficienza idrica W_S , calcolato in Equazione (6.9) come percentuale di domanda idrica non potabile annua effettivamente soddisfatta dal serbatoio di raccolta.

$$W_S = \frac{\text{Volume annuo di acqua recuperata } V_r}{\text{Richiesta totale annua } R} \cdot 100 = \frac{77.990}{98.220} \cdot 100 = 79,40\% \quad (6.9)$$

- 2) Indice di riduzione di deflusso di sfioro, calcolato in Equazione (6.10) come complementare della percentuale di sfioro. Il volume idrico di sfioro rappresenta la quantità di acqua piovana in eccesso e che quindi non è stata riutilizzata per usi domestici; essa si valuta come differenza tra afflusso meteorico annuo e volume di acqua piovana recuperata. L'indice di sfioro rapporta tale quantità all'afflusso meteorico annuo.

$$(100 - O_F) = \left(100 - \frac{Q - V_r}{Q}\right) \cdot 100 = \left(100 - \frac{99330 - 77990}{99330}\right) \cdot 100 = 78,52\% \quad (6.10)$$

Il volume di acqua che è necessario derivare dall'acquedotto come reintegro al sistema DRWH è calcolato in Equazione (6.11) come differenza tra domanda domestica annua di acqua non potabile e la domanda domestica annua di acqua non potabile soddisfatta dal serbatoio.

$$M = 98.220 - 77.990 = 20.230 \text{ l} \quad (6.11)$$

In conclusione, il sistema RWH progettato seguendo la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012 risulta avere una buona efficienza sia in termini di risparmio idrico (W_S quasi pari all'80%) sia in termini di riduzione del deflusso di sfioro (quasi l'80% dello deflusso prodotto dall'edificio in assenza di un sistema di raccolta viene neutralizzato con l'installazione di un sistema RWH).

Il serbatoio dimensionato non è in grado di soddisfare completamente la domanda idrica non potabile dell'edificio, ma il volume di acqua di rete richiesta annualmente al servizio idrico municipale passa da 98220 litri a 20230 litri con l'installazione del sistema RWH.

6.3 CASO STUDIO 3: Dimensionamento sistema DRWH – Analisi a scala regionale (2012)

Recentemente, la raccolta dell'acqua piovana domestica (DRWH, Domestic Rainwater Harvesting) è diventata un'opzione interessante in quanto a risparmio idrico.

Un sistema DRWH si basa essenzialmente su un sistema di raccolta e stoccaggio di acque piovane raccolte da coperture, cortili o altre superfici impermeabili da riutilizzare per usi idrici domestici non potabili (lavanderia, sciacquone WC, irrigazione).

A maggior ragione, il sistema risulta interessante in termini di risparmio idrico in quanto è stato stimato (riferimento paragrafo 4.2) che circa un 50% degli utilizzi domestici di acqua non richiede la potabilità della stessa, suggerendo potenziali benefici dal riutilizzo di acqua piovana.

Tali sistemi richiedono semplicemente un impianto di trattamento base, ossia filtrazione e clorazione.

Di seguito, basandosi sui dati di 17 stazioni pluviometriche siciliane, è presentata una metodologia per il dimensionamento di un serbatoio di raccolta DRWH (Campisano, Modica, 2012).

Metodologia

Lo schema tipico di un sistema di stoccaggio dell'acqua piovana domestico si basa sulla raccolta di acque piovane provenienti dal tetto dell'edificio (o altre superfici impermeabili) e sul loro deposito temporaneo all'interno di una cisterna.

In questo studio, il riutilizzo dell'acqua raccolta si limita a soddisfare la domanda idrica dello sciacquone del WC, considerata costante nel suo valore giornaliero per semplicità (Fewkes, 2000).

La valutazione del risparmio idrico ottenuto avviene attraverso un modello basato sull'algoritmo YAS (Yield After Spillage), sintetizzato con Equazione (6.12) e con (Equazione 6.13).

$$Y(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} D(t) \\ V(t-1) \end{array} \right. \quad (6.12)$$

$$V(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} V(t-1) + A \cdot R(t) - Y(t) \\ S - Y(t) \end{array} \right. \quad (6.13)$$

dove:

Y - resa del serbatoio in termini volumetrici (m^3);

D - domanda idrica (m^3);

V - volume di serbatoio effettivamente riempito (m^3);

R - altezza di pioggia (m);

t - intervallo di tempo (s);

A - area effettiva di copertura (m^2);

S - capacità di stoccaggio del serbatoio (m^3).

L'Equazione (6.12) indica che la resa del serbatoio, ovvero il volume di acqua piovana raccolta effettivamente riutilizzato per usi domestici è pari al valore minimo tra la domanda idrica dell'edificio e il volume di acqua piovana immagazzinato nel serbatoio.

Il volume di acqua effettiva all'interno del serbatoio è pari al valor minimo tra le due espressioni dell'Equazione (6.13). La prima indica il bilancio idrico tra il volume immagazzinato all'istante precedente, il volume di acqua piovana in ingresso e il valore di domanda idrica domestica soddisfatta dal serbatoio, mentre la seconda espressione contempla l'eventualità di una condizione di serbatoio pieno con sfioro.

Questo algoritmo operativo è stato trovato per fornire una stima prudente (ossia a favore di sicurezza) della prestazione del sistema, indipendentemente dall'intervallo di tempo di riferimento rispetto al quale realizzare lo studio (Fewkes, 2000).

I dati pluviometrici (precipitazione media, periodo di tempo secco) del sito risultano dunque fondamentali per fare una valutazione della prestazione del sistema.

Bilancio idrico a scala di edificio

In questo studio, sono considerati i valori medi giornalieri di D e R e la frazione modificata di stoccaggio modificata è formulata in Equazione (6.14).

$$S_m = \frac{s}{D \cdot n_D / n_R} \quad (6.14)$$

dove:

s – frazione di stoccaggio;

n_D – numero di giorni secchi;

n_R – numero di giorni piovosi (minimo di precipitazione giornaliera 1 mm).

Si ricorda che d e s sono due parametri adimensionali le cui formule sono rispettivamente quelle di Equazione (6.15) e di Equazione (6.16) (Campisano, Modica, 2011).

$$d = \frac{D}{A \cdot P} \text{ frazione di domanda} \quad (6.15)$$

$$s = \frac{S}{A \cdot P} \text{ frazione di stoccaggio} \quad (6.16)$$

Il rapporto n_D / n_R può essere considerato come il numero di giorni secchi annui per ogni giorno di pioggia, e consente di mettere in relazione la capacità di raccolta del serbatoio con la domanda idrica nel periodo secco. Il parametro di Equazione (6.14) è proposto come alternativa alla frazione di stoccaggio s per descrivere in modo migliore il modello inter-annuale di precipitazione. Come passo temporale per le simulazioni di bilancio idrico si è adottata la scala giornaliera. La scala mensile risulterebbe inadeguata in quanto a accuratezza e precisione della previsione di risparmio idrico, mentre la scala oraria richiederebbe la conoscenza di un numero di dati pluviometrici spesso assenti.

È stata descritta in Equazione (6.17) l'efficienza del sistema DRWH valutando il risparmio annuo di acqua potabile (%):

$$W_S = \frac{\sum Y}{\sum D} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\sum M}{\sum D}\right) \cdot 100 \quad (6.17)$$

dove M (m^3) è il volume fornito dalla rete, e la sommatoria considera il valore per tutti gli anni della simulazione. L'Equazione (6.17) mostra che il risparmio idrico assume un valore nullo quando si usa esclusivamente acqua di rete ed è pari a 100% quando si utilizza la domanda idrica è soddisfatta totalmente dal serbatoio di raccolta.

Il deflusso percentuale di sfioro dal serbatoio è valutato con l'Equazione 6.18.

$$O_D = \frac{\sum Q_D}{\sum AR} \cdot 100 \quad (6.18)$$

dove Q_D (m^3) è il volume scaricato come sfioro traboccante dal serbatoio di stoccaggio. La sommatoria sta sempre ad indicare l'estensione della valutazione del parametro a tutti gli anni di simulazione. L'uso pratico della metodologia descritta per progettare il sistema DRWH può essere riassunto con i seguenti passaggi:

- definizione della domanda idrica domestica per sciacquone D per lo sciacquone ed area efficace di copertura A;

Bilancio idrico a scala di edificio

- determinazione dei seguenti parametri climatici: altezza media R , i giorni piovosi n_R e i giorni secchi n_D ;
- risultato del dimensionamento del serbatoio con volume di stoccaggio S ;
- calcolo di d e s_m ;
- valutazione degli indici W_S e O_D .

Caso studio

La metodologia presentata è stata applicata alle serie di dati registrati da 17 stazioni pluviometriche in Sicilia. La piovosità media annua è di circa 720 mm, con distribuzione media mensile riassunta in Tabella 6.8. I valori di altezza di pioggia giornaliera sono registrati da oltre 25 anni di registrazione.

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
103,6	79,3	70,4	52,1	30,9	14,6	7,1	17,7	45,2	88,8	97,0	112,9

Tabella 6.8 – Precipitazioni medie mensili

[Fonte: Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti – Regione Siciliana]

Le caratteristiche delle 17 stazioni selezionate sono riassunte in Tabella 6.9. In particolare, essa riporta per ogni stazione il valor medio di precipitazione annua e il valor medio di giorni piovosi n_R valutato sull'intero periodo di simulazione.

Stazione pluviometrica	Altezza di pioggia annuale [mm]	n_R
Bronte	595,6	73,5
Caltagirone	536,9	58,5
Cozzo S.	433,0	46,0
Palazzolo A.	662,1	66,1
Augusta	566,4	47,9
Zafferana E.	1311,8	81,1
Catania	478,1	46,2
Messina	846,5	83,8
Mistretta	986,4	87,8
Cefalù	679,9	70,9
Palermo	474,4	64,4
Trapani	457,1	59,8
Gibellina	705,2	76,7
Sciacca	526,0	60,3
Lercara F.	587,1	72,2
Enna	776,8	72,4
Gela	400,9	49,2

Tabella 6.9 – Caratteristiche delle stazioni pluviometriche

[Fonte: Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti – Regione Siciliana]

La Tabella 6.9 mostra un'elevata variabilità di dati, sintomo della grande estensione territoriale della Regione e della relativa variabilità climatica.

Risultati

Utilizzando il modello YAS descritto sono state effettuate simulazioni giornaliere del bilancio idrico per valutare le prestazioni del sistema DRWH per ciascuna dei 17 siti.

Le prestazioni del sistema sono state modellate considerando valori di frazione di domanda d che variano nell'intervallo 0,2-4,0 e valori di frazione modificata di stoccaggio nell'intervallo 0,05-40. Gli intervalli selezionati ci consentono di prendere in considerazione valori della domanda d'acqua, capacità di stoccaggio, superficie del tetto e precipitazioni caratteristiche utili per applicazioni pratiche.

I risultati delle simulazioni per W_S e O_D sono esposti rispettivamente in Figura 6.4 e in Figura 6.6. La Figura 6.4 (sinistra) mostra l'andamento di W_S in funzione di s_m per tutte le stazioni di pioggia esaminate (una per linea). Come previsto, i valori di W_S aumentano per tutti i siti con l'aumento di s_m , ovvero o con l'aumento della frazione di stoccaggio s o con la riduzione della domanda idrica annua D o con la riduzione del rapporto di giorni secchi su giorni piovosi n_D/n_R . La pendenza tende a ridursi con l'aumento in ascissa.

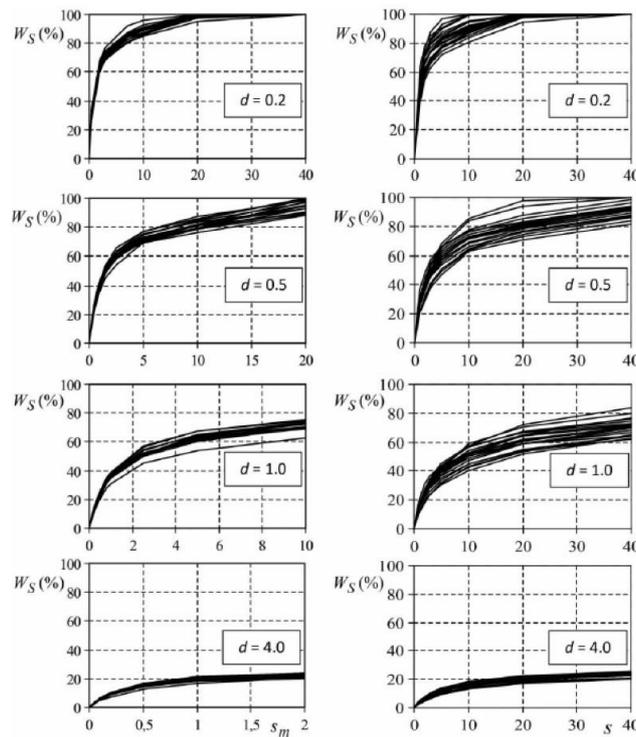


Figura 6.4 – Valore di W_S in funzione dell'indice di stoccaggio s_m (sinistra) e dell'indice di stoccaggio s (destra) al variare dell'indice di domanda d

[Fonte: Campisano, Modica, 2012]

All'aumentare della frazione di domanda d definita in Equazione (6.15), l'efficienza idrica del sistema e quindi il risparmio idrico tendono a ridursi e la curva tende ad appiattirsi.

L'installazione di serbatoi di dimensione enorme risulta avere un vantaggio limitato se limitate sono le dimensioni del tetto o le precipitazioni medie del sito.

Da un punto di vista generale, le curve di W_S mostrano piccole variazioni percentuali tra i vari siti analizzati: questo fatto conferma la capacità dei parametri adimensionali d e s_m scelti dall'autore nel modellare le prestazioni del sistema DRWH a scala regionale.

Infatti confrontando le curve di Figura 6.5 (sinistra) in funzione di s_m con le curve di Figura 6.4 (destra) in funzione di s , le curve di sinistra risulta essere maggiormente raggruppate.

Dai risultati ottenuti, è stata ottenuta la seguente relazione regressiva della funzione W_S (A. Campisano e C. Modica, 2011), mostrata in Equazione (6.19).

$$W_S(\%) = \frac{76 \cdot s(\%)}{1,2 + s(\%)} \cdot d^{-0,3} \quad (6.19)$$

La Figura 6.5 mostra la variazione dell'indice di efficienza idrica W_S al variare della frazione di stoccaggio s , considerato una frazione di domanda costante d .

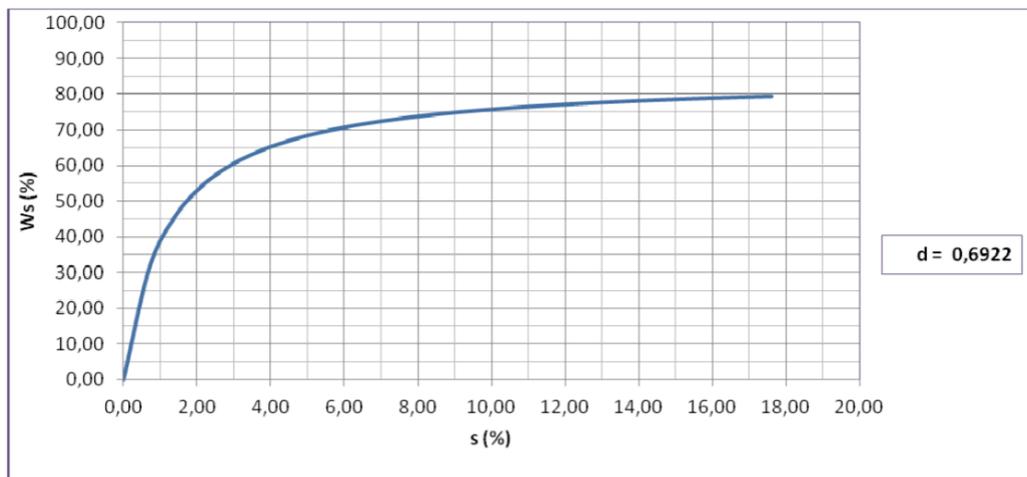


Figura 6.5 – Andamento della funzione W_S in funzione della frazione di stoccaggio s
[Fonte: Ecoacque]

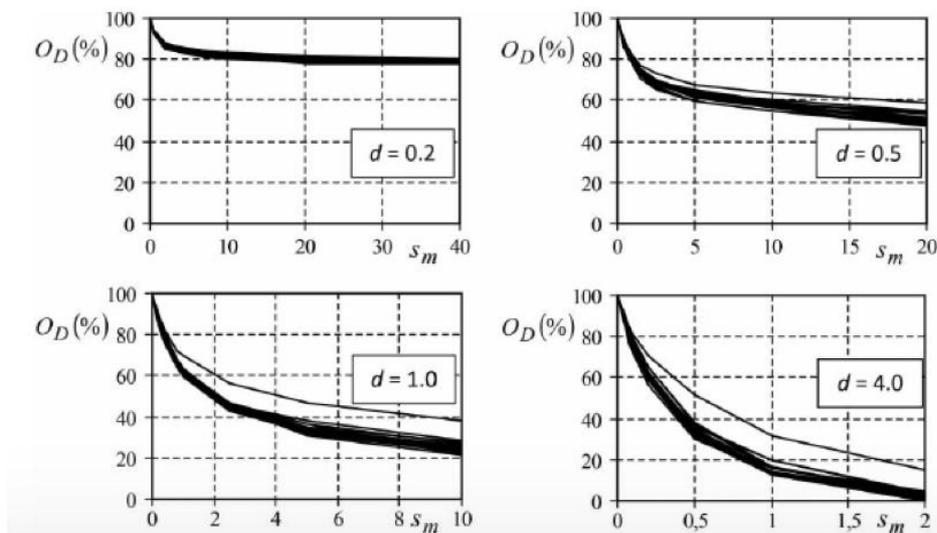


Figura 6.6 – O_D in funzione dell'indice di stoccaggio s_m al variare dell'indice di domanda d
[Fonte: Campisano, Modica, 2012]

Considerazioni analoghe possono essere effettuate per il grafico di Figura 6.6. I grafici presentano una riduzione di O_D e un appiattimento con l'aumento dell'indice di memoria modificata s .

All'aumentare della frazione di domanda, la percentuale di sfioro si riduce.

Tutte le stazioni sembrano sovrapporsi ad eccezione della stazione di Zafferana Etnea, i cui valori percentuali di sfioro risultano maggiore a causa dell'elevata piovosità.

A livello complessivo, si ottengono significativi valori di O_D nella maggior parte dei casi esaminati che indicano la possibilità estendere la raccolta dell'acqua piovana ad altri usi domestici.

Conclusioni

In questo articolo è stata sviluppata un'analisi su scala regionale per progettare sistemi RWH, attraverso simulazioni di bilancio idrico basate su parametri adimensionali che incorporano informazioni sul volume di stoccaggio dei serbatoi, superficie utile delle coperture, altezze medie di precipitazione.

L'applicazione della metodologia a 17 stazioni pluviometriche siciliane è stata condotta attraverso lo studio degli indici W_S e O_D .

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

Inoltre, sono stati ottenuti significativi valori percentuali di sfioro O_D elevati nella maggior parte dei casi esaminati, suggerendo la possibilità di estendere la raccolta dell'acqua piovana anche ad altri usi domestici.

6.4 CASO STUDIO 4: Modellazione del bilancio idrico di fonti idriche alternative a livello di edificio [Hunt et al., 2011]

Questo studio mira a determinare il volume di acqua potabile di rete pubblica che può essere risparmiato utilizzando differenti tipologie di risorsa idrica alternativa. È stato sviluppato un modello di simulazione dei bilanci idrici domestici che prevede la possibilità di valutare il risparmio idrico ottenuto dall'installazione di sistemi di raccolta delle acque piovane, di sistemi di riutilizzo delle acque grigie e di sistemi di estrazione di acque sotterranee.

È stato scelto di inserire il seguente caso studio a conclusione del capitolo per dare una visione d'insieme delle metodologie principali applicabili per la riduzione del consumo idrico a scala di edificio.

Analisi degli scenari

Gli otto scenari presi in considerazione sono situati a Perth, capitale dell'Australia Occidentale, e differiscono per:

- tipologia di fonte idrica alternativa con cui sopperire al fabbisogno idrico;
- dimensioni del lotto di terreno.

La seguente analisi si pone l'obiettivo di modellare il bilancio idrico domestico di differenti scenari di edificio e di confrontarli tra di loro. All'interno di essi, le possibili fonti idriche alternative assunte sono:

- pozzi residenziali (acqua sotterranea);
- serbatoi di raccolta di acqua piovana;
- sistema di trattamento e riuso di acque grigie.

Considerando le caratteristiche climatiche di Perth, l'acqua piovana è generalmente disponibile nei serbatoi di raccolta solo durante i mesi invernali mentre si presume che le acque sotterranee siano disponibili tutto l'anno. A Perth l'estrazione di acque di falda rappresenta una delle principali fonti di approvvigionamento: circa il 30% delle abitazioni presenta un pozzo di estrazione che si riempie durante i mesi freddi per poi essere utilizzato nei mesi caldi per l'irrigazione dei giardini e degli orti privati.

I lotti di terreno considerati sono di due dimensioni: 350 m² (rappresentativo delle unità abitative australiane di recente costruzione) e 800 m² (valore tipico dei grandi lotti anni '80).

L'area irrigabile del lotto è costituita da due zone. La zona 1 è l'area che può essere totalmente rifornita dal sistema di riutilizzo di acque grigie, seguendo le specifiche del "Codice di Pratica per il Riuso Acque grigie" CoP (Code of Practice). La zona 2 ha un'estensione pari alla differenza tra il totale e l'area di zona 1.

Risulta che l'area di zona 2 per piccoli lotti è di 100 m² (su 350 m²) mentre per grandi lotti è di 410 m² (su 800 m²).

La Tabella 6.10 mostra in sintesi per ogni scenario quali tipologie di fonte idrica viene utilizzata e per quale uso domestico.

Bilancio idrico a scala di edificio

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Acque piovane per uso potabile						X	X	X
Acque piovane per WC				X	X	X	X	X
Acque grigie per WC						X		X
Acque sotterranee per WC						X		
Acque piovane per lavatrice				X	X	X	X	X
Acque grigie per irrigazione zona 1			X		X	X	X	X
Acque piovane per irrigazione zona 1					X	X		
Acque sotterranee per irrigazione zona 1		X	X	X		X		X
Acque piovane per irrigazione zona 2					X	X		
Acque sotterranee per irrigazione zona 2		X	X	X		X	X	X
Acque piovane per usi esterni				X	X	X	X	X
Acque sotterranee per usi esterni		X				X		
Acque di servizio per usi interni	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabella 6.10 – Descrizione dei sette scenari

In Scenario 1 l'unica fonte di approvvigionamento idrico è la rete pubblica di acqua potabile (condizione standard).

In Scenario 2, oltre che da rifornimento da rete di distribuzione pubblica, il fabbisogno idrico viene soddisfatto anche da acqua sotterranea di estrazione, in particolare per usi esterni (principalmente irrigazione orti e giardini). Il numero totale di abitazioni analizzate è di 1300.

In Scenario 3 le fonti di approvvigionamento idrico sono acqua di rete per usi interni, acque grigie e acque sotterranee per usi irrigui. 380 unità abitative appartenenti a questo scenario sono state analizzate.

Con Scenario 4 si introduce il riutilizzo di acqua piovana per usi domestici in cui non è richiesta la condizione di potabilità: sciacquone gabinetto, lavanderia e usi esterni. Le altre fonti idriche sono acque di estrazione per scopi irrigui e acqua di rete per consumi interni di tipo potabile. 266 case analizzate appartengono a tale scenario.

Ogni edificio analizzato di Scenario 5 è dotato di due serbatoi di accumulo di acqua piovana, uno per il riutilizzo per usi interni e uno per usi esterni (irrigazione orti). Non vengono riutilizzate acque di falda.

I casi analizzati che rispondono alle caratteristiche di Scenario 6 rappresentano dei modelli integrati di approvvigionamento idrico, caratterizzati dalla contemporaneità di riutilizzo di tutte le fonti idriche alternative possibili, ognuno in base alla propria qualità. È il primo scenario in cui l'acqua potabile di rete non risulta essere la fonte di approvvigionamento principale.

Scenario 7 rappresenta uno sviluppo di Scenario 6 in cui ogni fonte idrica alternativa viene utilizzata per uno scopo diverso; in particolare l'acqua piovana per soddisfare una percentuale della domanda interna, le acque grigie per irrigare Zona 1 e le acque di falda per irrigare Zona 2.

I lotti di terreno da irrigare risultano infatti suddivisi in due zone.

Infine Scenario 8 rappresenta un ulteriore sviluppo dello scenario 6 dove solo le fonti d'acqua alternative con contributo significativo vengono effettivamente impiegate. Esso viene presentato come l'esito della modellazione di bilancio al fine di un utilizzo ottimale delle risorse idriche alternative. Infatti considera gli aspetti migliori di Scenario 6 tralasciando quelle scelte che sono risultate poco efficaci. Per esempio il riutilizzo delle acque grigie viene impiegato per il riempimento delle scatole dei gabinetti quando l'acqua piovana viene mancare, mentre le risorse idriche di falda vanno a sostituire le acque grigie nell'irrigazione di zona 1 in caso di scarsità.

La modellazione

Uno strumento di modellazione di bilancio idrico è stato assunto per valutare gli utilizzi di ogni fonte di approvvigionamento idrico della Tabella 6.10 per ciascuno scenario. La scala temporale assunta è quella giornaliera.

La modellazione si è basata su:

- utilizzo di un simulatore di serbatoio di raccolta di acqua piovana, il quale si serve dei dati di precipitazione, area di raccolta e coefficiente di deflusso per restituire il volume di deflusso piovano;
- modellazione di un sistema di trattamento e riutilizzo di acque grigie secondo Il “Codice di Pratica per il Riutilizzo Acque grigie” CoP (Code of Practice).

Si noti che questo caso studio risulta essere uno dei pochi a considerare la possibilità di riutilizzare acque di falda come fonte idrica alternativa. Per massimizzare la resa di tale opzione,

è buona norma coltivare piante a basso consumo di acqua e con un fattore di crescita (Crop Factor) minore di 0,3.

Consumi domestici

Per ciascun degli otto casi studio considerati, si è determinato il consumo per ciascuna fonte d'acqua, con intervallo di misurazione giornaliero.

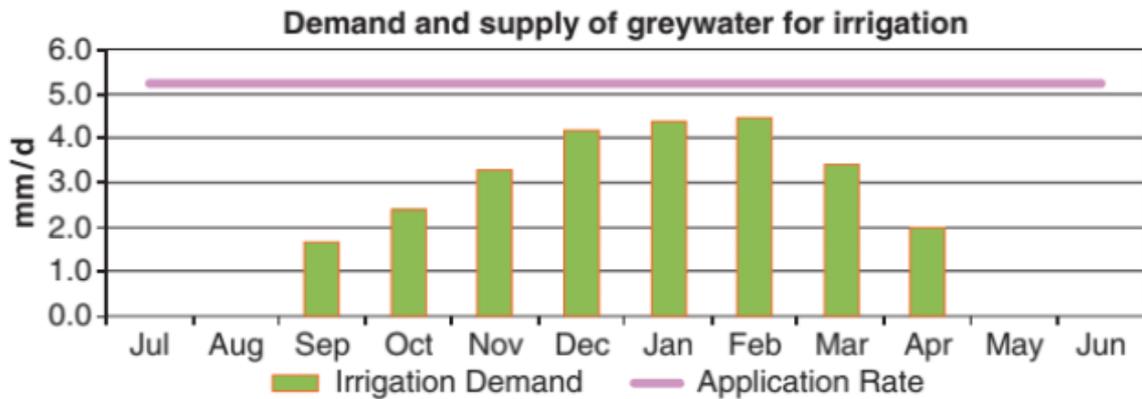


Figura 6.7 – Andamento annuo della domanda irrigua (verde) e della disponibilità [Fonte: Hunt et al., 2011]

Il fabbisogno idrico per usi interni è stato assunto, ugualmente per tutti gli scenari, pari a 155 litri giornalieri pro-capite (Loh, Coghlan, 2003). Esso è così ripartito:

- 51 litri per doccia e vasca da bagno;
- 42 litri per lavatrice;
- 33 litri risciacquo WC;
- 24 litri per rubinetteria (di cui 8 per bagno, 6 per lavanderia, 6 per cucina, 4 per rubinetti esterni);
- 5 litri per perdita.

Per quanto riguarda il fabbisogno idrico per usi esterni, si è considerata la disattivazione dell'impianto di irrigazione per i mesi freddi (da maggio ad agosto nell'emisfero australe) così come indicato in Figura 6.7.

Si è considerato un riferimento di famiglia media di un'unità abitativa australiana composta da 4 persone, nonostante la media di Perth sia di 2,5. Questo avviene per conformarsi alle specifiche del CoP.

Risultati e confronto

La Tabella 6.11 e la Tabella 6.12 riassumono i risultati ottenuti in termini di risparmio idrico rispettivamente per lotti di piccola dimensione e per lotti di grande dimensione, distinguendo tra acqua utilizzata internamente ed esternamente all'edificio.

Bilancio idrico a scala di edificio

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Totale acqua da acquedotto risparmiata	0	77	76	81	11	86	82	84
Acqua da acquedotto risparmiata (usi interni)	0	0	0	21	21	38	24	33
Acqua da acquedotto risparmiata (usi esterni)	0	100	99	99	8	100	99	99

Tabella 6.11 – Risultati di risparmio idrico – piccoli lotti (350 m²)

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Totale acqua da acquedotto risparmiata	0	49	48	59	24	69	61	65
Acqua da acquedotto risparmiata (usi interni)	0	0	0	21	21	38	24	33
Acqua da acquedotto risparmiata (usi esterni)	0	100	97	98	28	100	98	98

Tabella 6.12 – Risultati di risparmio idrico – grandi lotti (800 m²)

In Figura 6.8 sono rappresentati graficamente i risultati di Tabella 6.11 e di Tabella 6.12. I sei sotto-casi sono rispettivamente:

- (a) bilancio idrico totale – Grandi lotti;
- (b) bilancio idrico per usi interni – Grandi lotti;
- (c) bilancio idrico per usi esterni – Grandi lotti;
- (d) bilancio idrico totale – Piccoli lotti;
- (e) bilancio idrico per usi interni – Piccoli lotti;
- (f) bilancio idrico per usi esterni – Piccoli lotti.

Bilancio idrico a scala di edificio

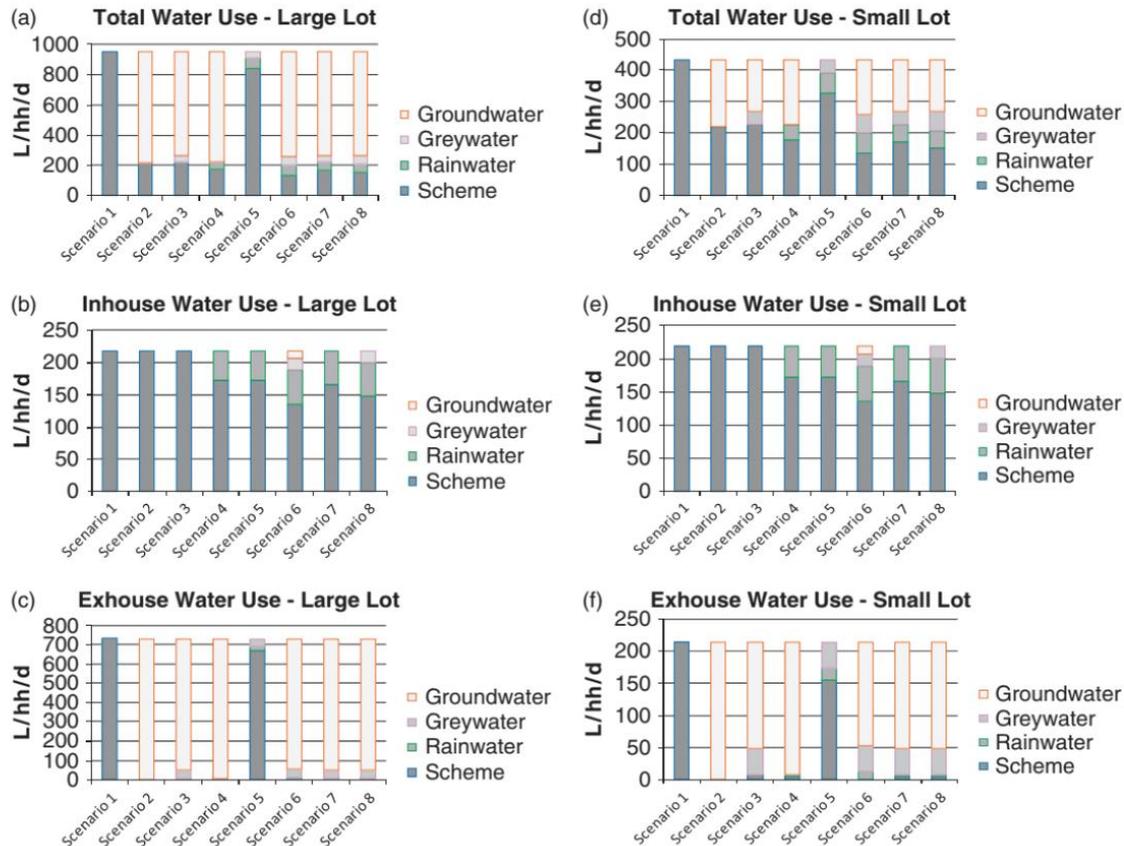


Figura 6.8 – Risultati della simulazione di bilancio idrico per grandi lotti (a, b, c) e piccoli lotti (d, e, f) suddividendo tra usi interni ed esterni [Fonte: Hunt et al., 2011]

Si è assunto per tutti gli scenari che il consumo idrico totale giornaliero per unità di area sia lo stesso, mentre diverso è la ripartizione della domanda tra le diverse fonti idriche.

La Figura 6.8 (a) mostra che l'estrazione di acqua di falda è in grado di sostituire più del 50% del consumo di acqua di rete di Scenario 1, in quanto essa viene utilizzata per soddisfare la notevole domanda per scopi irrigui (tra il 97% e il 100%, da Tabella 6.12, escluso Scenario 5 che non prevede l'estrazione di acque sotterranee).

Il riutilizzo di acqua grigia assume un discreto valore solo per usi interni mentre risulta quasi nullo per usi esterni e il motivo non è legato alla sua scarsità quanto al fatto che non è risultata necessaria. Infatti il riutilizzo delle acque grigie non è previsto per l'irrigazione di zona 2 in alcun scenario. Un possibile sviluppo futuro potrebbe essere la riduzione nell'estrazione di acqua di falda per scopi irrigui, lasciando spazio al riutilizzo delle acque grigie.

Da un punto di vista di consumi interni (Figura 6.8 (b)(e)), Scenario 6 risulta essere quello che combina tutte le fonti idriche nel modo più equilibrato, mentre in Scenario 8 non è stato previsto il riutilizzo idrico per usi interni dell'acqua di falda, aumentando leggermente i consumi di acqua di rete ma riducendo i costi di gestione e semplificando il sistema.

La raccolta di acqua piovana per riusi domestici interni, prevista in Scenario 4, 5, 6, 7, 8, giova notevolmente al risparmio idrico per usi interni, contributo a circa il 24% della domanda idrica interna.

In generale però, confrontando i due grafici di Figura 6.8 (b) e Figura 6.8 (e) con i due grafici di Figura 6.8 (c) e Figura 6.8 (f), risulta evidente che il fabbisogno di acqua di rete per usi esterni può essere quasi totalmente soddisfatto da fonti idriche alternative mentre in media il 75% del fabbisogno idrico interno continua ad essere soddisfatto dalla rete pubblica, con l'eccezione dello Scenario 6 e Scenario 8 per cui il valore scende rispettivamente a 62% e 67% sia per grandi che per piccoli lotti.

Conclusioni

Risulta chiaro che tutti gli scenari in cui si considerano fonti di approvvigionamento idrico alternativo presentano una buona efficienza, con percentuali di riduzione del consumo di acqua di rete che varia tra l'11% (Scenario 5) e l'86% (Scenario 6) per piccoli lotti e tra il 24% (Scenario 5) e il 69% (Scenario 6) per grandi lotti.

Scenario 5 risulta essere complessivamente l'opzione meno efficiente, segno che l'assenza di un sistema di estrazione di acque sotterranee incide notevolmente sul bilancio idrico. Infatti a rendere Scenario 5 decisamente il caso peggiore non è tanto l'inefficienza del sistema di raccolta di acque piovane per usi interni, quanto l'inefficienza dei sistemi di risparmio idrico previsti per soddisfare il fabbisogno idrico esterno.

Di particolare rilevanza, invece, gli scenari 6 e 8 che portano entrambi benefici superiori all'80% nel caso di piccoli lotti e superiori al 60% nel caso di grandi lotti.

Confrontando ancora questi due ultimi scenari, si può prediligere lo scenario 8 perché, nonostante comporti percentuali di riduzione del consumo idrico di rete leggermente minori, risulta essere una semplificazione dello scenario 6, dove le fonti idriche alternative di poca rilevanza vengono trascurate, consentendo anche una maggiore semplificazione operativa e minori costi.

6.5 Considerazioni conclusive

All'interno del capitolo 6 sono stati analizzati alcuni studi riguardanti soluzioni alternative di approvvigionamento idrico domestico.

In Paragrafo 6.1 (Campisano, Modica, 2008) viene considerata la possibilità di raccogliere le acque provenienti dai lavandini e di riutilizzarle per rifornire le cassette dei gabinetti. I risultati hanno mostrato che, con consumi medi pro-capite, un serbatoio di raccolta dalle dimensioni medie (30 litri) consente di ottenere buone percentuali di risparmio idrico, tali da giustificare l'installazione.

I casi di studio di Paragrafo 6.2 (Ecoacque) e Paragrafo 6.3 (Campisano, Modica, 2012) si concentrano invece sull'installazione di sistemi RWH. Mentre quest'ultima La prima analisi applica la specifica tecnica italiana UNI/TS 11445 del 2012 al dimensionamento di un serbatoio di raccolta di acqua piovana; una volta dimensionata la cisterna, viene simulato il bilancio idrico dell'edificio, valutando l'efficienza del sistema RWH attraverso alcuni indici caratteristici. Dai risultati ottenuti, l'applicazione della specifica tecnica ha prodotto un buon miglioramento del bilancio idrico domestico, nonostante le acque piovane raccolte non siano in grado di soddisfare completamente la domanda idrica non potabile dell'abitazione. Il volume di acqua di rete richiesta al servizio idrico municipale è ridotta di circa l'80%.

Dall'analisi a scala regionale di Paragrafo 6.3 (Campisano, Modica, 2012) si conclude che l'aumento di volume del serbatoio di raccolta non ha sempre un effetto positivo a livello

complessivo, in quanto l'efficienza idrica che si ottiene non giustifica l'aumento eccessivo di costi.

Infine l'analisi conclusiva di Paragrafo 6.4 (Hunt et al., 2011) considera diverse fonti di approvvigionamento idrico alternativo, introducendo il riutilizzo delle acque sotterranee d'estrazione. Il contesto in cui si opera è quello australiano (Perth), caratterizzato da un clima non molto differente da quello tipico mediterraneo ma con la risorsa idrica sotterranea come prevalente fonte di approvvigionamento. La conclusione che si può trarre da tale analisi è che la maggior efficienza idrica è ottenuta con quegli scenari che affiancano alla rete acquedottistica un sistema di approvvigionamento idrico alternativo misto, che prevede l'utilizzo di diverse fonti alternative di acqua per specifici riutilizzi domestici.

7. IL BILANCIO IDRICO NEI PROTOCOLLI DI COSTRUZIONE SOSTENIBILE

Il seguente capitolo prende in considerazione le modalità con cui il tema del bilancio idrico viene introdotto all'interno di alcuni protocolli di certificazione ambientale. I tre protocolli considerati sono il Protocollo Itaca, sistema di certificazione prodotto in Italia e maggiormente utilizzato su suolo nazionale; il Protocollo Leed, nato negli Stati Uniti ed attualmente il più diffuso su scala mondiale; il Protocollo Breeam, sistema di certificazione più antico e molto utilizzato nel Paese d'origine, il Regno Unito.

L'obiettivo di tale capitolo è comprendere le modalità con cui tali protocolli inseriscono al proprio interno il tema del risparmio idrico a scala di edificio e il peso che tale tema ha sulla valutazione finale.

7.1 Protocollo Itaca

Il protocollo Itaca è un sistema di certificazione prodotto dall'Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale) e valuta il grado di sostenibilità ambientale di un edificio.

Nasce dall'esigenza delle Regioni di dotarsi di uno strumento valido nel promuovere politiche territoriali di sostenibilità ambientale nel settore dell'edilizia.

Il protocollo è stato prodotto dal Gruppo di lavoro interregionale per l'Edilizia Sostenibile, con il supporto di IISBE Italia (International Initiative for a Sustainable Built Environment) e ITC-CNR.

L'approvazione risale al 15 gennaio 2004 da parte della Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

Al giorno d'oggi esistono cinque protocolli Itaca, a seconda della destinazione d'uso dell'edificio da valutare: Residenziale, Edifici commerciali, Edifici industriali, Edifici scolastici, Uffici.

In particolar modo, questo lavoro si concentra sul protocollo Itaca per edifici residenziali aggiornato al 2011, che comprende 49 criteri, aggregati in cinque aree di valutazione:

- qualità del sito (AREA A);
- consumo di risorse (AREA B);
- carichi ambientali (AREA C);
- qualità ambientale indoor (AREA D);
- qualità del servizio (AREA E).

I criteri che hanno a che fare con l'utilizzo idrico sono:

- B.5.2. ACQUA POTABILE PER USI INDOOR (AREA B);
- C.4.1. ACQUE GRIGIE INVIATE IN FOGNATURA (AREA C).

Per ogni criterio considerato è presente un punteggio che va da -1 a +5, dove lo zero si considera come la pratica costruttiva vigente. Di seguito la Tabella 7.1 riporta la scala di prestazione (benchmark), rielaborata da UNI/PdR 13.1:2015.

Bilancio idrico a scala di edificio

Punteggio	Definizione
-1	Prestazione inferiore allo standard ed alla pratica corrente
0	Prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti. In caso di assenza di regolamenti di riferimento, rappresenta la pratica corrente
1	Lieve miglioramento della prestazione rispetto a regolamenti vigenti e/o pratica corrente
2	Moderato miglioramento della prestazione rispetto a regolamenti vigenti e/o pratica corrente
3	Significativo miglioramento della prestazione rispetto a regolamenti vigenti e/o pratica corrente. Da considerarsi come la migliore pratica corrente
4	Moderato incremento della migliore pratica corrente
5	Prestazione considerevolmente avanzata rispetto alla migliore pratica corrente, di carattere sperimentale

Tabella 7.1 – Scala di prestazione per l’attribuzione del punteggio [Fonte: UNI/PdR 13.01.15]

Critério B.5.2. “Acqua potabile per usi indoor”

Esigenza: Ridurre i consumi di acqua potabile per usi indoor attraverso l’impiego di strategie di recupero o di ottimizzazione dell’uso dell’acqua.

Indicatore di prestazione: Volume di acqua potabile risparmiata per usi indoor rispetto al fabbisogno base calcolato. La scala di prestazione riportata in Tabella 7.2 mostra l’attribuzione del punteggio in funzione del risparmio idrico percentuale.

	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	30	3
OTTIMO	50	5

Tabella 7.2 – Scala di prestazione

Il metodo di calcolo è il seguente.

- Calcolo del volume di acqua potabile (A) necessario per soddisfare il fabbisogno idrico per usi indoor (riferimento: fabbisogno idrico pro-capite di 120 litri al giorno). Ai fini del calcolo di Equazione (7.2) è necessario realizzare una stima del numero previsto di abitanti dell’edificio con la formula semplificata di Equazione (7.1).

Bilancio idrico a scala di edificio

$$ab = \frac{S_u}{25} \quad (7.1)$$

$$A = F_{idrico, standard} = F_{idrico, pro-capite} \cdot ab \quad (7.2)$$

dove S_u è la superficie utile dell'edificio [m^2], ovvero la porzione effettiva di superficie di raccolta dell'edificio (copertura, terrazzo), dipendente dalla sua impermeabilità.

- Calcolo del volume di acqua potabile risparmiata (B) considerando le strategie tecnologiche messe in atto per ottenere il risparmio idrico.
- Calcolo del rapporto tra volume di acqua potabile risparmiata e quella necessaria per il fabbisogno idrico indoor (Equazione 7.3).

$$Indicatore = \frac{B}{A} \cdot 100 = \frac{V_{risparmio}}{F_{idrico, standard}} \cdot 100 \quad (7.3)$$

- Confronto del valore con i benchmark della scala di prestazione e attribuzione del punteggio relativo.

Criterio C.4.1. “Acque grigie inviate in fognatura”

Esigenza: Minimizzare la quantità di effluenti scaricati in fognatura.

Indicatore di prestazione: Rapporto fra il volume dei rifiuti liquidi non prodotti e la quantità di riferimento calcolata in base al fabbisogno idrico per usi indoor. La scala di prestazione riportata in La Tabella 7.3 mostra l'attribuzione del punteggio in funzione della percentuale di risparmio percentuale di produzione di acque grigie.

	%	PUNTI
NEGATIVO	-	-1
SUFFICIENTE	0	0
BUONO	60	3
OTTIMO	100	5

Tabella 7.3 – Scala di prestazione

Il metodo di calcolo è il seguente.

- Calcolo del volume standard di acque grigie potenzialmente immesse in fognatura annualmente (A) ovvero il reflujo totale corrispondente al fabbisogno idrico per usi indoor (eccetto i WC) con l'Equazione (7.4). Il riferimento pro-capite è di 90 litri al giorno per abitante.

Bilancio idrico a scala di edificio

La stima del numero previsto di abitanti nell'edificio segue l'Equazione (7.1) dal Criterio B.5.2.

$$A = V_{fognatura, standard} = V_{fognatura, pro-capite} \cdot ab \quad (7.4)$$

- Calcolo del volume annuale di acque reflue non immesse in fognatura (B), dato dalla somma del volume annuo di acque grigie non prodotte grazie alle tecnologie di risparmio idrico e il volume annuo di acque grigie raccolte, trattate e riutilizzate per usi non potabili.
- Calcolo dell'indicatore di prestazione come rapporto tra volume standard di acque grigie potenzialmente immesse in fognatura e il volume annuale di acque reflue non immesse in fognatura (Equazione 7.5).

$$Indicatore = \frac{B}{A} 100 = \frac{V_{risparmio}}{V_{fognatura, standard}} 100 \quad (7.5)$$

Infine, la Tabella 7.4 riporta uno schema riassuntivo di come e quanto i criteri legati al comparto idrico appena citati pesino sulla valutazione finale di sostenibilità ambientale del Protocollo Itaca.

Cod.	Ambito	Peso	Cod.	Area	Peso	Cod.	Categoria	Peso della categoria	Cod.	Criterio	Peso del criterio	Peso sul totale
Q _E	Qualità dell'edificio	90%	A	Qualità del sito	5%							
			B	Consumo di risorse	45%	B.5	Acqua potabile	17,6%	B.5.1	Acqua potabile per irrigazione	50%	3,5%
									B.5.2	Acqua potabile per usi indoor	50%	3,5%
			C	Carichi ambientali	20%	C.4	Acque reflue	36%	C.4.1	Acque grigie inviate in fognatura	50%	3,25%
									C.4.3	Permeabilità del suolo	50%	3,25%
			D	Qualità ambientale indoor	20%							
E	Qualità del servizio	10%										
Q _V	Qualità della localizzazione	10%										

Tabella 7.4 – Peso dei criteri sulla valutazione finale di sostenibilità ambientale-protocollo Itaca

Risulta evidente che il peso dei due criteri descritti (B.5.2 e C.4.1) è ridotto: rispettivamente 3,5% e 3,25%, per un totale di 6,75%.

Questo significa che la certificazione di sostenibilità ambientale che il protocollo Itaca conferisce agli edifici italiani di nuova costruzione conferisce una bassa importanza al tema del risparmio idrico e della riduzione di deflusso.

7.2 Protocollo Leed

Il protocollo LEED (the Leadership in Energy and Environmental Design) è il sistema statunitense di classificazione dell'efficienza energetica e dell'impronta ecologica degli edifici e fornisce un insieme di misure standard per valutare le costruzioni sostenibili da un punto di vista ambientale. La valutazione riguarda l'intero ciclo di vita dell'edificio: fase di progettazione, fase di costruzione e fase di esercizio. LEED è un sistema di misura della prestazione ambientale rivolto sia ad edifici di nuova costruzione che già esistenti.

Questo protocollo, promosso dal GBC (Green Building Council), al momento è il più adottato nel mondo; esso è organizzato in 7 categorie ambientali, ognuna delle quali si compone di:

- prerequisiti, ovvero prescrizioni obbligatorie necessariamente da soddisfare per ottenere un qualsiasi livello di certificazione. Essi sottolineano l'importanza di determinati concetti, senza i quali non è possibile certificare un edificio come sostenibile;
- crediti, ad ognuno del quale corrisponde un determinato obiettivo e una scala di punteggio ottenibile;
- punti, il cui numero disponibile per ciascun criterio dipende da una valutazione scientifica dell'impatto che tali aspetti provocano sull'ambiente. Il punteggio totale è di 110.

Nello specifico, le sette categorie sono le seguenti.

1) Sostenibilità del sito (1 prerequisito, 8 crediti, 26 punti)

Gli obiettivi sono la minimizzazione dell'impatto ambientale delle attività di costruzione e la ricerca di modalità e tecniche costruttive rispettose dell'ecosistema.

2) Gestione delle acque (1 prerequisito, 3 crediti, 10 punti)

Questa categoria si concentra sulle tematiche ambientali legate all'uso e lo smaltimento delle acque da edifici residenziali. Gli obiettivi sono la riduzione del consumo idrico e il riuso dell'acqua piovana.

3) Energia ed atmosfera (3 prerequisiti, 6 crediti, 35 punti)

Questa categoria si occupa di promuovere di ottimizzare la prestazione energetica dell'edificio, attraverso l'utilizzo fonti rinnovabili e la riduzione dell'inquinamento prodotto.

4) Materiali e risorse (1 prerequisito, 7 crediti, 14 punti)

Obiettivi della categoria sono la riduzione dell'utilizzo di materiali vergini e la riduzione dell'impatto ambientale legato al trasporto dei materiali.

Bilancio idrico a scala di edificio

- 5) Qualità ambientale interna (2 prerequisiti, 8 crediti, 15 punti)
Punto fondamentale della categoria è la qualità dell'ambiente interno (salubrità, comfort, efficacia del ricircolo d'aria, controllo della contaminazione).
- 6) Innovazione della progettazione (0 prerequisiti, 2 crediti, 6 punti)
L'obiettivo è l'individuazione di progetti costruttivi caratterizzati da aspetti innovativi in termini di pratiche di sostenibilità.
- 7) Priorità regionale (0 prerequisiti, 1 credito, 4 punti)
La categoria mira a favorire quei progetti che esaltano le caratteristiche peculiari del luogo in cui l'edificio verrà costruito.

Il protocollo, in base al punteggio finale ottenuto, prevede quattro livelli di certificazione (si veda Figura 7.1):

- **certificazione Leed Platino**, con un punteggio compreso tra 80 e 110;
- **certificazione Leed Oro**, con un punteggio raggiunto compreso tra 60 e 79;
- **certificazione Leed Argento**, in caso di punteggio tra 50 e 59;
- **certificazione Leed Base**, se il punteggio ottenuto si attesta tra i 40 e i 49 punti.



Figura 7.1 – I livelli di certificazione Leed [Fonte: sito web Green]

La categoria su cui l'elaborato si concentra è la seconda, “Gestione delle acque”, che si concentra sulle seguenti tematiche:

- progettazione di impianti di gestione idrica al fine di ridurre l'utilizzo di acqua potabile laddove la potabilità non è un requisito necessario;
- recupero delle acque piovane e installazione di dispositivi domestici di risparmio idrico;
- riduzione dell'acqua necessaria per l'irrigazione, promuovendo la scelta di specie autoctone di piante per il verde cittadino.

La categoria si compone di:

Un prerequisito obbligatorio “Riduzione del consumo di acqua potabile ad uso domestico”

Il prerequisito da rispettare è un risparmio idrico complessivo del 10% rispetto ad un edificio di riferimento con i seguenti consumi:

- WC: 6 litri per flusso;
- rubinetti bagno, lavelli cucina: 9 litri/minuto a 3 bar;
- doccia: 10 l/minuto a 3 bar.

Credito 1: “Riduzione di acqua potabile ad uso domestico”

Questo credito si pone l’obiettivo di ridurre il carico sui sistemi municipali di fornitura idrica, attraverso due possibili soluzioni: minimizzando i consumi idrici degli utenti o migliorando l’efficienza idrica dell’edificio attraverso sistemi di raccolta di acque meteoriche o mediante l’installazione di dispositivi di risparmio idrico.

Il punteggio massimo ottenibile per questo criterio è di 4 punti e la modalità di attribuzione è spiegata in Tabella 7.5.

Riduzione percentuale	Punti
20%	2
30%	3
40%	4

Tabella 7.5 – Punteggio ottenibile in funzione della riduzione dei consumi

Per ottenere il massimo punteggio, una soluzione possibile da adottare è la seguente:

- WC con una portata di 3 litri a scarico, ovvero riduzione del 50% rispetto al riferimento LEED;
- rubinetti con portata inferiore a 2 litri al minuto, con pressione massima di 4 bar;
- docce con portata inferiore a 9,5 litri al minuto, con pressione massima di 5 bar.

Credito 2: “Gestione efficiente dell’acqua a scopo irriguo”

Il credito si applica solo se la superficie delle aree a verde è almeno il 20% delle aree esterne.

Il requisito può essere soddisfatto con 2 differenti opzioni.

- Riduzione attraverso pratiche di progettazione del paesaggio efficienti

Il punteggio massimo ottenibile con questa opzione è di 3 punti, la cui attribuzione avviene secondo le modalità di Tabella 7.6.

Area piante native o adattate	Punteggio
>50%	2
>75%	3

Tabella 7.6 – Punteggio ottenibile in funzione della presenza di aree a piante native/adattate

- Riduzione dei consumi di acqua potabile per scopi irrigui

Se la riduzione dei consumi potabili è superiore al 50% si ottengono 2 punti, in caso di assenza di utilizzo di acqua potabile per l’irrigazione i punti ottenuti sono 4.

Credito 3: “Tecnologie innovative per le acque reflue”

L’obiettivo di questo criterio è la riduzione della produzione di acque reflue e il loro successivo trattamento.

Il punteggio massimo è di 2 punti, ottenibile prevedendo un trattamento delle acque reflue prodotte superiore al 50%.

Il punteggio massimo relativo alla categoria “Gestione delle acque” è dunque dato dalla somma del massimo punteggio ottenibile per i tre criteri: 4 punti per il primo, 4 punti per il secondo e 2 punti per il terzo, per un totale di 10 punti.

Questo significa che il peso della categoria in questione è neanche del 10% sulla valutazione finale (10 su 110 equivale al 9,1%).

7.3 Protocollo Breeam

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) è un protocollo di valutazione degli edifici su base volontaria istituito nel Regno Unito per valutare l'efficienza ambientale degli immobili, sviluppato nel 1988 dalla BRE, Building Research Establishment.

Si tratta del primo sistema di certificazione della sostenibilità ambientale e per questo è stato preso come modello da molti protocolli sviluppati successivamente.

Esso è supportato in diversi Paesi, i quali hanno sviluppato una versione locale del protocollo che presenta modifiche pensate appositamente per quel Paese.

L'ottenimento della certificazione comporta l'adozione di pratiche sostenibili in tutte le fasi di vita dell'edificio: (progettazione, costruzione, gestione e manutenzione) ed è applicabile sia ad edifici di nuova realizzazione che a ristrutturazioni di edifici già esistenti.

La ricerca di BREEAM ha dimostrato che le spese aggiuntive in fase iniziale di un progetto sostenibile di costruzione/ristrutturazione vengono compensate rapidamente da minori costi di gestione, ottenendo un risparmio significativo.

Ad oggi oltre 2 milioni di edifici nel mondo, sparsi in 78 Paesi, sono stati sottoposti a tale valutazione.

Le sezioni ambientali di cui si compone sono nove e sono le seguenti.

- 1) Gestione - Pratiche di costruzione responsabile;
Peso del 12% sulla valutazione finale.
- 2) Salute e benessere - Comfort visivo, termico e acustico, qualità dell'aria interna;
peso del 15% sul punteggio finale.
- 3) Energia - Monitoraggio energia, controllo emissioni di CO₂, sistemi di trasporto efficienti;
peso del 15% sul punteggio finale.
- 4) Trasporti - Accessibilità dei trasporti pubblici, strutture per ciclisti;
peso del 9% sul punteggio finale.
- 5) Acqua - Monitoraggio e riduzione del consumo idrico;
peso del 7% sul punteggio finale.
- 6) Materiali - Durata della vita utile del materiale, resilienza, efficienza;
peso del 13,5% sul punteggio finale.
- 7) Rifiuti - Gestione dei rifiuti di costruzione;

Bilancio idrico a scala di edificio

peso del 8,5% sul punteggio finale.

- 8) Uso del suolo ed ecologia - Valutazione del sito e impatto sull'ecologia del sito esistente; peso del 10% sul punteggio finale.
- 9) Inquinamento - Inquinamento luminoso notturno, inquinamento acustico; peso del 10% sul punteggio finale.

Il protocollo utilizza un sistema di punteggio semplice, basato su esperienza e dati reali.

I crediti sono assegnati per ciascuna delle nove categorie citate, infine vengono sommati per produrre un punteggio complessivo a cui corrisponde uno dei 6 livelli di Tabella 7.7.

Livello	Punteggio in %
Eccezionale	≥ 85
Eccellente	≥ 70
Molto buono	≥ 55
Buono	≥ 45
Passato	≥ 30
Non classificato	< 30

*Tabella 7.7 – Livelli di valutazione finale
[Versione 2014 di BREEAM UK New Construction]*

La categoria 5 “Acqua” è suddivisa in quattro temi di valutazione.

Wat 01 - Consumo di acqua

Dà diritto ad un massimo di 5 crediti. Il consumo di base rispetto al quale valutare il risparmio è riassunto in Tabella 7.8, mentre la modalità di attribuzione dei crediti è spiegata in Tabella 7.9.

Componente	Livello di performance						u.m.
	Base	1	2	3	4	5	
Wc	6	5	4,5	4	3,75	3	l/f
Rubinetti	12	9	7,5	4,5	3,75	3	l/min
Doccia	14	10	8	6	4	3,5	l/min
Vasca	200	180	160	140	120	100	l
Orinatoio	10	8	4	2	1	0	l/h
Recupero acque grigie/meteoriche	0	0	0	0	25%	50%	% riciclata
Rubinetto cucina	12	10	7,5	5	5	5	l/min
Lavastoviglie	17	13	13	12	11	10	l/ciclo
Lavabiancheria	90	60	50	40	35	30	l/uso

Tabella 7.8 – Consumo di base

Bilancio idrico a scala di edificio

Crediti	% di risparmio		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	12,5%	12,5%	12,5%
2	25%	25%	25%
3	40%	35%	35%
4	50%	45%	40%
5	55%	55%	50%
Esemplario	65%	65%	60%

Tabella 7.9 – Attribuzione crediti rispetto al consumo standard e alle zone climatiche

Le zone climatiche a cui si fa riferimento in Tabella 7.9 sono definite in Figura 7.2.

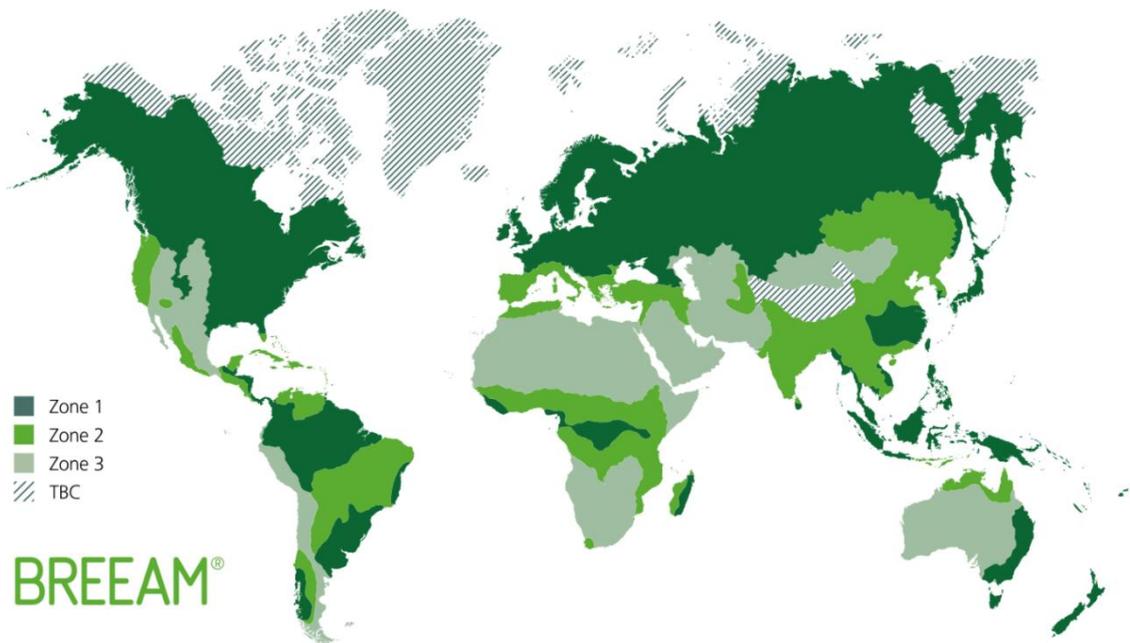


Figura 7.2 – Definizione delle zone climatiche [sito web Breeam International New Construction]

Wat 02 - Monitoraggio dell'acqua

Dà diritto a massimo 1 credito.

Per ottenerlo, l'edificio deve prevedere l'installazione di un contatore primario per il monitoraggio dei consumi e l'installazione di un contatore secondario per ogni area di edificio che contribuisce a più del 10% del consumo totale.

Inoltre, ogni contatore deve essere connesso ad un sistema di gestione BMS (Building Management System) per il monitoraggio dei consumi.

Wat 03 - Contenimento delle perdite idriche

Dà diritto ad un massimo di 2 crediti, ottenibili nel seguente modo.

Un credito se è attivo un sistema di rilevamento delle perdite capace di individuare un malfunzionamento all'interno della rete idrica dell'edificio. Tale sistema, quando il flusso

d'acqua passante per il contatore è ad una portata maggiore del valore massimo prestabilito, risulta attivo e produce un suono di allarme. Inoltre deve essere programmabile in funzione dei criteri di consumo idrico dell'utente.

L'altro credito quando uno dei seguenti dispositivi di controllo del flusso idrico del WC è installato:

- temporizzatore automatico, che blocca il flusso idrico dopo un tempo di scarico prestabilito;
- dispositivo di controllo automatico del volume della cassetta;
- rilevatore di presenza, ossia un dispositivo automatico che rileva i movimenti dell'uomo e rilascia l'acqua di scarico di conseguenza;
- unità di controllo computerizzata, che utilizza tutti gli elementi di controllo sopra citati.

Wat 04 - Apparecchi idrici efficienti

Dà diritto a massimo 1 credito. È necessario dimostrare numericamente l'efficienza delle tecnologie idriche assunte per la riduzione dei consumi idrici.

Quando uno dei seguenti casi è verificato:

- in presenza di giardino, installazione di un sistema di irrigazione a goccia per il sottosuolo che comprenda sensori di umidità del suolo. Il controllo dell'irrigazione dovrebbe essere suddiviso in zone per consentire un'irrigazione variabile a seconda del tipo di pianta;
- installazione di un sistema di raccolta di acque piovane e/o di un sistema di riutilizzo delle acque grigie. Il dimensionamento del serbatoio deve avvenire in funzione della dimensione di superficie di raccolta;
- fabbisogno idrico delle piante basato esclusivamente sulle precipitazioni, durante tutte le stagioni dell'anno;
- scelta di piante che prosperano in condizioni calde e secche;
- se previsto un sistema di lavaggio dei veicoli, esso deve utilizzare un'unità di rigenerazione totale o parziale che contenga uno o più dei seguenti elementi: un filtro idrociclone, un filtro a carbone attivo, un serbatoio di raccolta, un filtro a cartuccia o filtro a maniche.

Dunque il totale di crediti relativo alla categoria "Acqua" è di 9, pari al 7% di peso sul punteggio finale.

7.4 Confronto finale tra protocolli

La scelta di approfondire tre protocolli di certificazione sostenibile di edificio non è casuale: infatti il protocollo Itaca rappresenta il principale protocollo prodotto in Italia, il protocollo statunitense Leed risulta essere il più diffuso al mondo e il protocollo britannico Breeam è stato il primo in assoluto ad essere prodotto.

La differenza principale tra una certificazione energetica (in Italia APE, Attestato di Prestazione Energetica) e una certificazione di sostenibilità ambientale sta nel fatto che, mentre la prima risulta essere obbligatoria, la seconda è su base volontaria, ovvero è espressamente il committente a richiederla al progettista.

Bilancio idrico a scala di edificio

In Italia, il protocollo più utilizzato risulta essere Itaca, mentre il protocollo Leed Italia (ovvero Leed adattato in funzione delle esigenze del sistema italiano) risulta essere più diffuso a livello di edilizia pubblica.

Mentre Leed e Breeam presentano una matrice simile, Itaca è ispirato all'SBMethod e per questo risulta essere diverso da un punto di vista di configurazione e metodo di valutazione. Infatti sia Breeam che Leed conferiscono la certificazione con un livello di valutazione, invece Itaca rilascia semplicemente l'attestato di avvenuta certificazione.

Inoltre mentre Leed e Breeam prima stabiliscono il tipo di intervento (nuova costruzione per esempio) poi guardano la destinazione d'uso, Itaca fa esattamente il contrario.

Inoltre il protocollo Itaca è creato appositamente per il contesto italiano e per questo non ha mai raggiunto la diffusione internazionale di Breeam e, soprattutto, di Leed.

In Tabella 7.10 è presente un confronto di riepilogo tra i tre protocolli trattati.

	BREEAM	LEED	ITACA
Paese di origine	Regno Unito	Stati Uniti	Italia
Data	1990	1998	2004
Modalità di applicazione in Italia	Versione internazionale	Versione LEED Italia	Versione originale
Ente produttore	British Research Establishment	U. S. Green Building Council	Gruppo di lavoro interregionale per l'Edilizia Sostenibile, IISBE Italia e ITC-CNR
Tipologia di edifici	Residenziali, commerciali, industriali, edifici pubblici, uffici	Residenziali, commerciali, pubblici, uffici	Residenziali, commerciali, industriali uffici
Base	Volontaria	Volontaria	Volontaria
Livelli di certificazione finale	5 livelli: Eccezionale, Eccellente, Molto buono, Buono, Passato	4 livelli: Platino, Oro, Argento, Base	Passato con valutazione in percentuale

Tabella 7.10 – Schema riassuntivi dei protocolli analizzati

Rispetto alla tematica dell'elaborato, la tendenza comune dei tre protocolli è quella di riservare un ridotto spazio alle tematiche di efficienza idrica a scala di edificio.

Infatti, come si può vedere da Figura 7.3, il peso della tematica “Acqua” e di tutto ciò che la riguarda è decisamente basso sulla valutazione finale dei tre protocolli. Infatti la percentuale raggiunta non supera la soglia del 10% in nessuno dei tre casi.

Bilancio idrico a scala di edificio

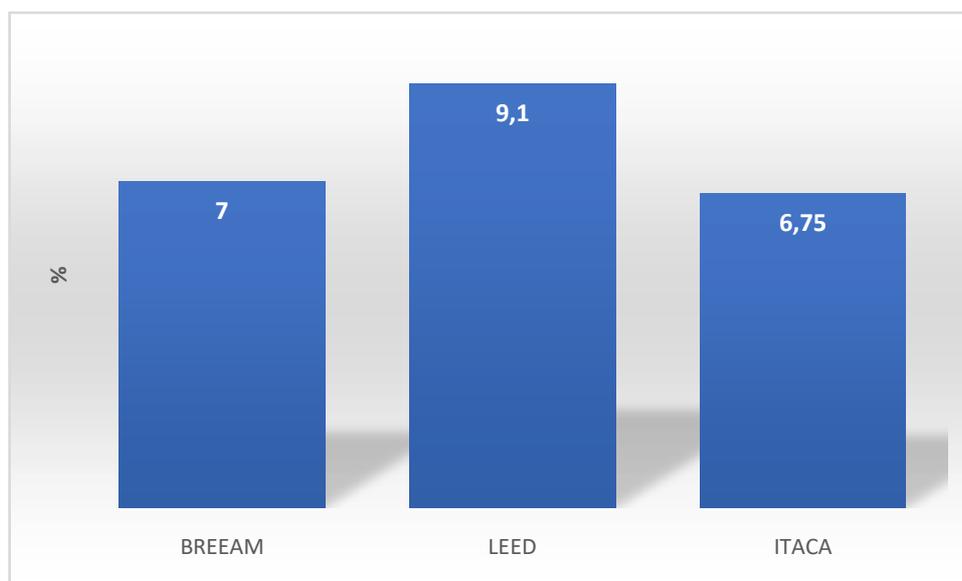


Figura 7.3 – Confronto tra protocolli sull'importanza della tematica idrica sulla valutazione finale in percentuale

8. TRATTAZIONE DELL'ASPETTO ECONOMICO LEGATI AI SISTEMI DI RIUTILIZZO DI ACQUE DI SECONDA QUALITÀ

L'ottavo capitolo riparte dalle tematiche trattate nel sesto capitolo per evidenziarne un aspetto diverso, quello economico. Dunque si intende analizzare quanto l'installazione di sistemi di riutilizzo di acque di seconda qualità risulti effettivamente conveniente dal punto di vista della bolletta idrica dell'edificio in questione.

Non c'è dubbio sul fatto che le soluzioni alternative di approvvigionamento idrico esposte al Capitolo 6 siano fortemente efficaci dal punto di vista ambientale: infatti comportano una riduzione dei volumi idrici prelevati in rete e riduzione dei quantitativi di acque reflue defluite in fognatura, con conseguente minimizzazione degli sprechi di acqua potabile e riduzione dei fenomeni improvvisi di inondazione superficiale.

La domanda che ci si pone in questo capitolo è se la motivazione ambientale per installare tali sistemi è accompagnata dalla motivazione economica: da un punto di vista monetario, è più conveniente per l'utenza mantenere il proprio sistema tradizionale di approvvigionamento idrico o affiancare al sistema acquedottistico centralizzato delle soluzioni alternative di rifornimento idrico?

In modo particolare, Paragrafo 8.1 conferisce gli strumenti teorici per poter analizzare l'aspetto economico legato ad un sistema RWH attraverso la definizione della funzione costo, e successivamente propone una formulazione di volume ottimale di cisterna al fine di minimizzare i costi.

L'analisi rielaborata di Paragrafo 8.2 riassume un approccio di programmazione lineare al dimensionamento di una cisterna di raccolta, evidenziata l'influenza che alcuni fattori (come il numero di utenti per edificio, l'area efficace di copertura, il costo unitario di costruzione, ...) hanno sul costo totale da sostenere e sul beneficio finanziario ottenuto dall'installazione di un sistema RWH.

Infine, il Paragrafo 8.3 si concentra sull'installazione di sistemi RWH in un luogo caratterizzato da una condizione economica e un grado di emergenza idrica ben diverso da un Paese sviluppato come l'Italia: la Namibia. Nell'analisi si studia la fattibilità economica di un tale sistema in funzione di: materiale della cisterna, tasso di ammortamento annuo, prezzo dell'acqua e tipologia di captazione.

8.1 Dimensionamento di cisterna di raccolta acque piovane basato su minimizzazione dei costi [Pelak, Porporato, 2016]

Di seguito viene derivata un'espressione analitica per il dimensionamento ottimale di una cisterna in funzione della minimizzazione dei costi, basandosi su un caso reale: Duke Smart Home (Durham, NC), di cui i parametri sono sintetizzati nella Tabella 8.1.

PARAMETRO	SIMBOLO	UNITA' DI MISURA	VALORE
Area copertura	A	m ²	267
Domanda d'acqua	h	m ³ /giorno	0,3
Vita utile stimata di cisterna	T	giorni	10950
Volume cisterna (uso interno)	V	m ³	7,95
Altezza di evento medio di pioggia	α	mm	8,2
Coefficiente di deflusso	ϕ	-	0,8
Frequenza di evento medio di pioggia	λ	1/giorno	0,31

Tabella 8.1 – Parametri utilizzati per la Duke Smart Home (SH) e dati sulle precipitazioni Durham, NC, USA [Fonte: sito web Smart Home]

Si considerano due voci di costo:

- COSTO FISSO G_f : comprensivo di costo di costruzione e manutenzione del serbatoio;
- COSTO DISTRIBUITO G_d : fornitura di acqua acquedottistica per riempire il serbatoio quando si verificano periodi di siccità.

COSTI FISSI

Il costo di costruzione aumenta con il volume della cisterna. Si ipotizza che i costi di manutenzione si adattino all'andamento dei costi di costruzione in relazione alla variazione di volume.

La Figura 8.1 mostra l'andamento dei costi delle cisterne commerciali in funzione della capacità delle cisterne considerate. Considerare un andamento lineare è ragionevole, anche se questo non è propriamente esatto quando si considerano volumi di serbatoio molto elevati.

La funzione di costo fisso (Pelak, Porporato, 2016) si compone come in Equazione (8.1).

$$G_f = q \cdot V \cdot \Theta(V) \quad (8.1)$$

dove:

q [\$/m³] è il costo unitario per capacità di stoccaggio;

θ è la Heaviside Step Function (Abramowitz e Stegun, 1972) esplicitata al paragrafo 5.1, pagina 48, Equazione (5.4).

Bilancio idrico a scala di edificio

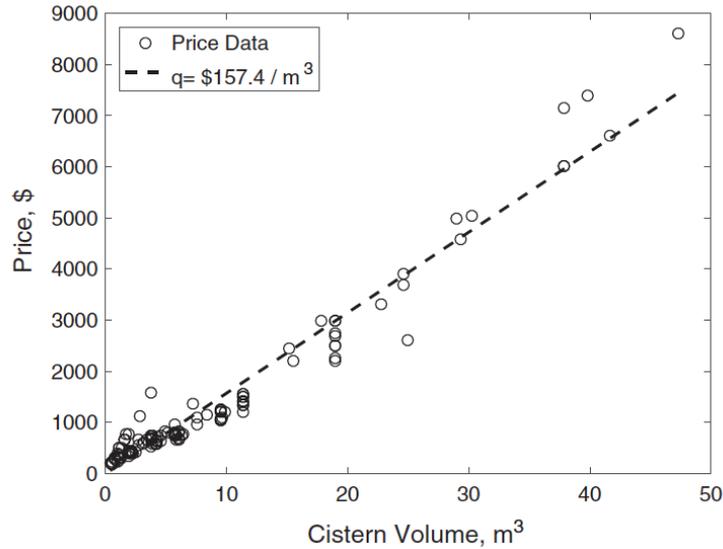


Figura 8.1 – Costo al variare del volume delle cisterne disponibili in commercio [Fonte: sito web Rain Harvest System]

Il volume di cisterna e l'area tetto sono stati presi dal sito web di Smart Home.

La domanda d'acqua si riferisce solo allo scarico WC (uso non potabile) di 6 l/lavaggio per un numero di 10 residenti, i quali usufruiscono del servizio 5 volte al giorno.

Infine i dati di precipitazione di Durham, NC si riferiscono a Daly-Porporato (2006).

COSTI DISTRIBUITI

Il costo distribuito dipende dal prezzo unitario d'acqua r [\$/m³], che è funzione del tasso previsto al quale l'acqua deve essere fornita dal sistema municipale. Nel caso considerato di Durham, NC, il prezzo mensile per unità di acqua aumenta a scaglioni, come è tipico negli Stati Uniti.

In base a tale schema tariffario mensile (rappresentato in Figura 8.2), il costo unitario dell'acqua può essere formulato come in Equazione (8.2) (Pelak, Porporato, 2016).

$$r = \frac{1}{30 \cdot h \cdot p_0} \sum_{n=1}^{n=k} r_n (v_n - v_{n-1}) \quad (8.2)$$

dove:

r_n sono i prezzi unitari mensili per il corrispondente livello di prezzo;

v_n sono i volumi mensili massimi a cui corrisponde quel determinato livello di prezzo;

v_{n-1} sono i volumi mensili minimi a cui corrisponde quel determinato livello di prezzo;

h è il tasso di domanda d'acqua [m³/giorno];

p_0 probabilità che il volume d'acqua in cisterna sia nullo ($c=0$); si veda Paragrafo 5.1;

n è la variabile di livello di prezzo;

k è il livello di prezzo massimo raggiunto dal caso considerato.

Si definisce T come la durata in giorni del sistema RWH (vita utile) e si assume che la cisterna operi sin da subito in condizioni stazionarie, in modo che il periodo transitorio per raggiungere lo stato stazionario possa essere trascurato.

Bilancio idrico a scala di edificio

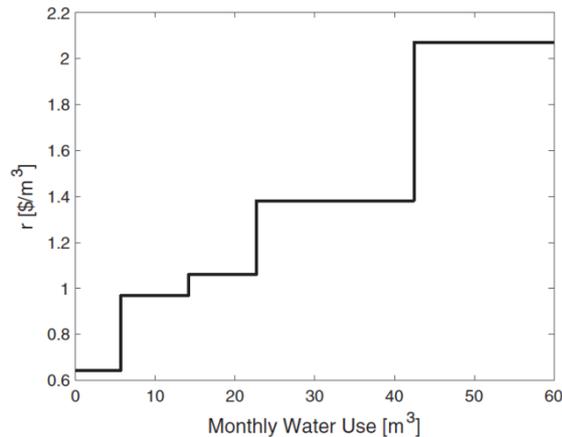


Figura 8.2 – Andamento a scaglioni del costo unitario d'acqua in funzione dei consumi mensili
[Fonte: sito web City of Durham]

Si nota che l'aumento di prezzo si verifica fino a 43 m³, da cui il prezzo si stabilizza su un valore costante massimo.

Il costo medio distribuito è quindi dato dal costo unitario dell'acqua moltiplicato per la domanda totale di acqua da fonte municipale attesa per la vita utile della cisterna (Pelak, Porporato, 2016), come espresso in Equazione (8.3).

$$G_d = r \cdot h \cdot T \cdot p_0 \quad (8.3)$$

SOLUZIONE PER LA DIMENSIONE OTTIMALE DI CISTERNA

Il costo totale può essere calcolato come la somma del costo fisso e costo distribuito.

La funzione di costo G è espressa in Equazione (8.4).

$$G = q \cdot V \cdot \Theta(V) + r \cdot h \cdot T \cdot p_0 \quad (8.4)$$

La Figura 8.3 traccia le funzioni di costo in funzione del volume di cisterna V.

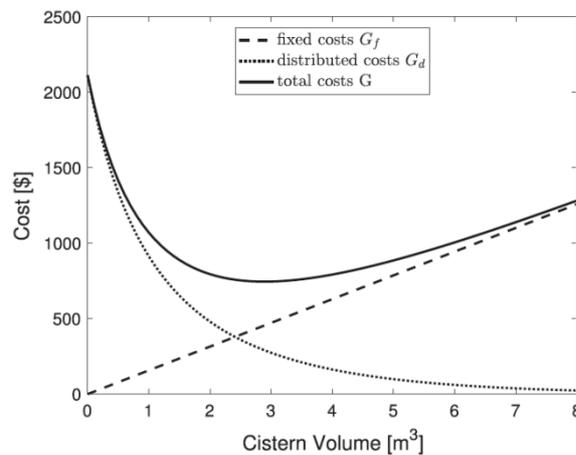


Figura 8.3 – Andamento delle funzioni costo al variare del volume della cisterna
[Fonte: Pelak, Porporato, 2016]

I costi fissi aumentano sempre con V (Equazione 8.1) mentre i costi distribuiti diminuiscono sempre (Equazione 8.3) a causa della dipendenza di p_0 da V , ottenendo un minimo della funzione costo G (Figura 8.3).

Come conseguenza della condizione di stato stazionario, se un evento estremo climatico come una siccità dovessero verificarsi durante il periodo di tempo T il costo totale non sarebbe come previsto nell'Equazione (8.4), ma nel caso in esame si trascura questo caso particolare.

Il volume ottimale di cisterna V^* si ottiene derivando la funzione costo G rispetto a V (Pelak, Porporato, 2016), la cui risoluzione porta all'Equazione (8.5).

$$V^* = \frac{\alpha\phi Ah}{\alpha\phi A\lambda - h} \ln \left\{ \left(\frac{h}{\alpha\phi A\lambda} - \frac{hrT}{2q} \left(1 - \frac{h}{\alpha\phi A\lambda} \right) \left(\frac{\alpha\phi A\lambda - h}{\alpha\phi A\lambda} \right) + \frac{\alpha\phi A\lambda - h}{2\alpha^2 \phi^2 A^2 \lambda q} \sqrt{4\alpha\phi AhqrT + [rT(\alpha\phi A\lambda - h)]^2} \right) \right\} \quad (8.5)$$

Il valore r a cui si riferisce l'Equazione (8.5) e poi l'Equazione (8.6) è quello di Equazione (8.2). Si nota che il volume è negativo per valori di frequenza di precipitazione λ inferiori ad un valore critico $\lambda_c = \frac{q}{rT}$. Per tali frequenze il costo incrementale per volume unitario della cisterna, ovvero la derivata $\frac{dG}{dV}$ non presenta minimo per valori positivi di V , dunque un sistema RWH non è finanziariamente valido nel periodo T e il volume ottimale è quindi uguale a 0. Per il caso speciale di Indice di domanda di cisterna D_c (si veda l'Equazione (5.6)) pari a 1, il volume ottimale di cisterna assume la forma di Equazione (8.6) (Pelak, Porporato, 2016).

$$V^* = \frac{\sqrt{\alpha\phi Ar h T}}{\sqrt{q}} - \alpha\phi A \quad (8.6)$$

BENEFICIO ECONOMICO PREVISTO

Il beneficio finanziario previsto dal sistema RWH può essere quantificato come differenza tra il costo atteso per soddisfare la stessa domanda con fonti municipali e il costo della cisterna (Equazione 8.7).

$$B = r \cdot H \cdot T - G(V^*) = r \cdot h \cdot T(1 - p_0) - q \cdot V^* \quad (8.7)$$

Il valor massimo di perdita economica L_{max} , che corrisponde al caso estremo in cui non si verifica alcuna precipitazione durante la vita della cisterna, si calcola come somma tra costo della costruzione della cisterna e costo di ottenimento della domanda totale di acqua da fonti municipali.

$$L_{max} = q \cdot V^* + r \cdot h \cdot T \quad (8.8)$$

Nell'espressione di Equazione (8.8), trattandosi di un limite massimo di perdita economica, si è considerato il caso peggiore assumendo p_0 (probabilità che la cisterna sia completamente vuota) pari a 1 e Heaviside Step Function Θ pari a 1.

L'Equazione (8.7) e l'Equazione (8.8) risultano di estrema utilità ai responsabili delle decisioni fornendo informazioni sul rischio finanziario e il potenziale beneficio dell'investimento in un sistema RWH.

DIMENSIONAMENTO OTTIMALE CISTERNA INCLUDENDO LA RIDUZIONE DEL DEFLUSSO

Va notato che, oltre alla capacità di ridurre la dipendenza da forniture comunali, la raccolta di acqua piovana può fornire un secondo vantaggio: la riduzione del deflusso.

Questo è vantaggioso sia da un punto di vista ambientale che economico, sebbene la riduzione del consumo di acqua di rete sia il principale vantaggio di un sistema RWH.

Negli Stati Uniti, in città come Durham, NC, è prevista una tassa sull'acqua piovana, basata sul totale di superficie impermeabile della proprietà. Questa tassa va a penalizzare quelle abitazioni con elevata impermeabilità delle proprie coperture, favorendo coloro che hanno scelto di adottare moderne soluzioni di riduzione del deflusso urbano (dai cosiddetti tetti verdi ai sistemi di riutilizzo delle acque piovane).

Le proprietà sono normalmente suddivise in diversi livelli di fatturazione basati sulla quantità di area impervia della proprietà.

Il sistema RWH agisce eliminando indirettamente una porzione di area di tetto dal totale impermeabile, comportando una riduzione della tassa sull'acqua piovana e garantendo dunque un beneficio economico.

Questo presume, naturalmente, che i Comuni siano disposti a prendere in considerazione l'installazione di un sistema RWH come possibile soluzione per ridurre le spese.

L'Equazione (8.5) mostra un'ottimizzazione del volume di cisterna, che non tiene conto della tassa sull'acqua piovana che il governo americano richiede di pagare, né tantomeno della sua variabilità in funzione della riduzione di deflusso superficiale.

Questa componente della funzione di costo non è stata esplicitamente inclusa nella funzione costo G di Equazione (8.5) per due motivi:

- tipicamente i Comuni americani non prevedono una riduzione della tassa di acqua piovana se si installa un sistema RWH;
- la componente risulta trascurabile rispetto al totale.

L'obiettivo di un sistema RWH è quello di adattare il suo dimensionamento in funzione dell'obiettivo principale del caso specifico in esame: questo significa progettare il dimensionamento della cisterna con modalità differenti a seconda che l'obiettivo del sistema sia ridurre il volume idrico di rete prelevato dall'edificio o gestire il deflusso di acque piovane (o una combinazione delle due opzioni).

Il lavoro del progettista sarà quello di bilanciare in modo corretto i due obiettivi in funzione del caso specifico che si troverà di fronte.

8.2 Approccio di programmazione lineare per il dimensionamento ottimale di un serbatoio di raccolta d'acqua piovana [Chiemeka Onyeka Okoye, Oguz Solyali, Bertug Akintug, 2015]

Introduzione

In questo studio, si considera una singola unità abitativa residenziale connessa alla rete idrica pubblica e viene presa la decisione di costruire un serbatoio di accumulo di acqua piovana per soddisfare una percentuale della domanda idrica dell'edificio. L'obiettivo è valutare la fattibilità economica della costruzione di un serbatoio di acqua piovana rispetto a quella di soddisfare l'intera domanda con acqua di rete. Sebbene gli studi esistenti in letteratura offrissero alcune soluzioni ai loro rispettive applicazioni del caso, vi è ancora la necessità di avere un approccio integrato al problema del RWH domestico, tenendo conto dei costi dei serbatoi e dei costi di acquisto di acqua dolce. Pertanto, per la prima volta si utilizza un modello di ottimizzazione integrato basato sulla programmazione lineare (LP, Linear Programming) per determinare le dimensioni ottimali del serbatoio per la raccolta dell'acqua piovana domestica di un'unica unità abitativa residenziale tenendo conto delle specificità del sito come il profilo delle precipitazioni, l'area del tetto dell'edificio, il consumo di acqua pro-capite, il numero di residenti, i capitali iniziali di costruzione di un serbatoio di acqua piovana e il costo dell'acquisto di acqua dalla rete di servizi pubblici.

Il modello consente lo stoccaggio separato di acqua piovana e acqua dolce, considera l'aumento dei prezzi unitari dipendente dal volume di acqua dolce acquistato da rete idrica pubblica e raccoglie dati lungo la vita utile del serbatoio (vale a dire oltre 20 anni).

Il modello proposto è stato testato e convalidato su un caso studio del Nord Cipro. Infine, lo studio, attraverso analisi di sensibilità, offre informazioni sull'impatto di vari parametri come il numero di residenti, l'area del tetto, il tasso di ammortamento, il consumo di acqua pro-capite, il costo unitario di costruzione del serbatoio e le caratteristiche delle precipitazioni sul dimensionamento ottimale e sul beneficio finanziario ottenuto da RWH.

Caso studio

Si considera una singola unità abitativa residenziale in un determinato sito con specifiche variabili climatiche, numero di residenti, consumo giornaliero di acqua pro-capite, superficie effettiva del tetto e spazio disponibile per l'installazione della cisterna di raccolta.

L'obiettivo è quello di determinare la dimensione ottimale del serbatoio con costo minimo. La funzione costo si compone di:

- costo di capitale di installazione;
- costo di acquisto dell'acqua di rete.

La scala temporale adottata è la scala mensile, in termini di lunghezza dell'orizzonte di pianificazione τ .

La prima voce di costo (costo di capitale di installazione) è composta da:

- un costo fisso f_{ini} , il quale comprende costi di acquisto di pompa, tubazione, strumento di controllo di pressione, filtro;
- un costo variabile "a", che è il costo per unità di volume di serbatoio costruito.

Il costo di pompaggio è trascurato in quanto è presente anche quando l'acqua acquistata dal servizio acquedottistico pubblico risulta essere l'unica alternativa.

Invece, per calcolare la seconda voce di costo (costo di acquisto di acqua di rete) viene utilizzato uno schema tariffario a tasso di ammortamento crescente (IBR, incremento del tasso a blocchi). Secondo lo schema tariffario IBR, i prezzi unitari dell'acqua acquistata dalla rete di servizi pubblici aumentano al crescere del volume acquistato. Lo schema tariffario IBR è applicato in molti Paesi (Spagna, Portogallo e USA) come strumento efficace per prevenire lo spreco delle risorse idriche.

Nello schema tariffario IBR, il costo di acquisto dell'acqua dal servizio idrico nel periodo t si calcola secondo l'Equazione (8.9).

$$CP_t = \sum_{j=1}^{k-1} b_{tj} (V_j - V_{j-1}) + b_{tk} (V' - V_{k-1}) \quad (8.9)$$

dove:

j – livello di prezzo;

b_{tj} – costo per volume di acqua acquistata dal servizio idrico al livello di prezzo j nel periodo t;

V_j - volume cumulativo massimo di acqua di rete acquistabile al livello di prezzo j-esimo;

$V_j - V_{j-1}$ – volume massimo di acqua acquistabile al livello di prezzo j;

V' – volume acquistato d'acqua di rete;

k – livello di prezzo massimo per un volume acquistato di acqua di rete;

$V_0=0$ per definizione.

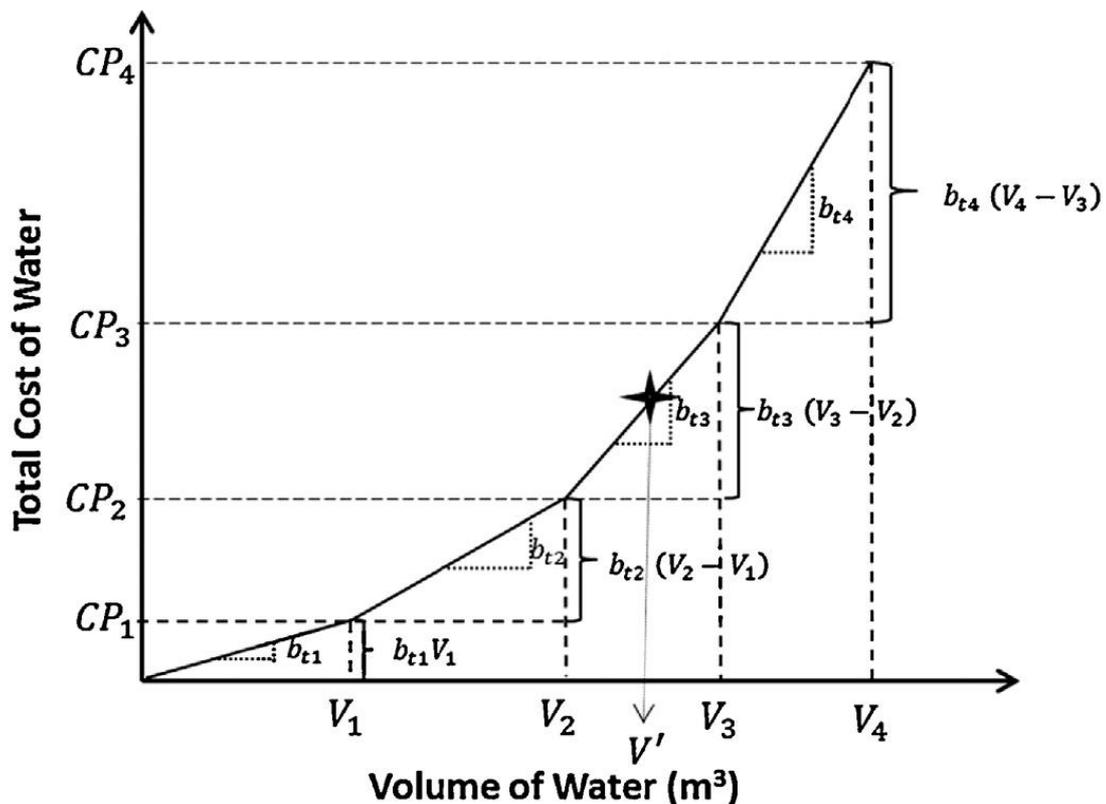


Figura 8.4 – Incremento della tariffa idrica a blocchi [Fonte: Okoye et al., 2015]

Bilancio idrico a scala di edificio

In Figura 8.4 è riportato un esempio di IBR dove

$$CP_1 = b_{t1}V_1;$$

$$CP_2 = CP_1 + b_{t2}(V_2 - V_1);$$

$$CP_3 = CP_2 + b_{t3}(V_3 - V_2);$$

$$CP_4 = CP_3 + b_{t4}(V_4 - V_3).$$

Il volume V' di acqua acquistata dall'abitazione in esempio in Figura 8.4 è tale che $V_2 < V' < V_3$ e il costo di acquisto di acqua di rete nel periodo t è formulato in Equazione (8.10).

$$b_{t1}V_1 + b_{t2}(V_2 - V_1) + b_{t3}(V' - V_2) \quad (8.10)$$

La quantità di acqua piovana immagazzinabile a partire da una determinata area di tetto in un periodo t è una funzione del coefficiente adimensionale di deflusso e della profondità di pioggia, quindi può essere stimato attraverso l'espressione di Equazione (8.11) (Aladenola e Adeboye, 2010).

$$r_t = \frac{c_f \cdot A_{col} \cdot rd_t}{1000} \quad (8.11)$$

dove:

A_{col} – area della superficie colletttrice;

c_f – coefficiente adimensionale di deflusso;

rd_t – profondità misurata di pioggia nel periodo t .

La domanda mensile di acqua per uso domestico è la quantità totale di acqua non potabile necessaria, quindi può essere espressa come in Equazione (8.12).

$$d_t = W_d \cdot n \cdot N_t \quad (8.12)$$

dove:

W_d – volume di acqua consumato giornalmente per persona;

n – numero di residenti;

N_t – numero di giorni del periodo t .

C'è una dimensione massima per il volume del serbatoio che può essere costruito per un'unità abitativa residenziale. Questa dimensione massima è limitata dallo spazio disponibile per il serbatoio di acqua piovana, dal desiderio di preservare l'estetica dell'edificio e dalla sicurezza strutturale dell'edificio che ospiterà la cisterna.

Un tipico sistema RWH domestico è costituito come in Figura 8.5. In questo sistema, il tetto è utilizzato come area di raccolta dell'acqua piovana, la quale viene poi indirizzata attraverso un sistema di grondaie verso un serbatoio di accumulo.

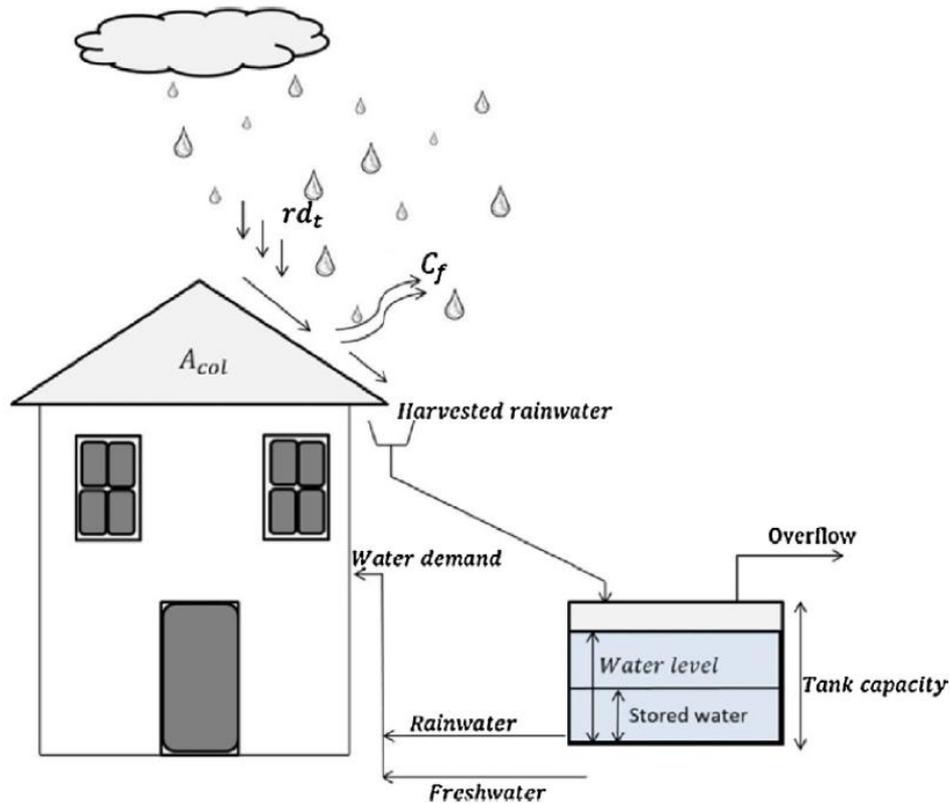


Figura 8.5 – Schema di un tipico sistema domestico di raccolta acque piovane

Modello di ottimizzazione

Per descrivere il modello di ottimizzazione, si definiscono le seguenti variabili:

T_{cap} – volume di serbatoio da costruire;

P_{ij} – quantità di acqua acquistata dal servizio idrico al livello di prezzo j -esimo nel periodo t ;

I_t – livello di inventario del serbatoio alla fine del periodo t ;

R_t – quantità di pioggia raccolta nel serbatoio nel periodo t ;

U_t – quantità di acqua usata per soddisfare la domanda nel periodo t ;

Z – valore della funzione obiettivo.

Il Modello LP per determinare l'ottimizzazione del dimensionamento di serbatoio si basa sulla ricerca delle variabili decisionali ottimali riducendo al minimo la funzione obiettivo.

La funzione obiettivo, come mostrato in Equazione (8.13) è la somma del costo variabile di costruzione di un serbatoio di acqua piovana e il costo totale di acquisto di acqua di rete nell'orizzonte di pianificazione τ . Nella sommatoria non si è tenuto conto del costo fisso f_{ini} in quanto si tratta di un valore costante.

$$Z = aT_{cap} + \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{j=1}^J \frac{b_{tj}}{(1+i)^t} P_{tj} \quad (8.13)$$

Il livello raggiunto dall'acqua nel serbatoio di raccolta alla fine di un periodo di tempo è dato dalla somma tra il livello dell'acqua nel serbatoio alla fine del periodo di tempo precedente e la quantità di acqua piovana immagazzinata dal serbatoio in quel periodo meno la quantità di acqua usata dal serbatoio per soddisfare la domanda nello stesso periodo (Equazione 8.14). All'inizio

Bilancio idrico a scala di edificio

dell'orizzonte di pianificazione (cioè $t = 0$), il livello iniziale dell'acqua è uguale a zero poiché il serbatoio è stato appena installato ed è vuoto.

$$I_t = I_{t-1} + R_t - U_t \quad \forall 1 \leq t \leq \tau \quad (8.14)$$

L'Equazione (8.15) assicura che la quantità di pioggia che può fluire nel serbatoio in un periodo t non può essere maggiore della quantità di pioggia in quel periodo.

$$R_t \leq r_t \quad \forall 1 \leq t \leq \tau \quad (8.15)$$

Di seguito una serie di condizioni che vincolano il modello LP.

L'equazione (8.16) stabilisce che la quantità di acqua piovana trattata nel serbatoio dell'acqua piovana alla fine di un periodo t non può superare il valore di volume del serbatoio dell'acqua piovana.

$$I_t \leq T_{cap} \quad \forall 1 \leq t \leq \tau \quad (8.16)$$

L'Equazione (8.17) assicura che la quantità di pioggia entrata nel serbatoio di acqua piovana in un periodo di tempo t non supera le dimensioni del serbatoio dell'acqua piovana. Questo vincolo è necessario quando il periodo t ha una durata di diversi mesi, in quanto possono verificarsi forti piogge all'inizio di un mese, mentre la domanda di acqua si manifesta in modo uniforme nel corso del mese. Quindi, è necessario avere una dimensione del serbatoio sufficientemente grande in grado di immagazzinare le precipitazioni.

$$R_t \leq T_{cap} \quad \forall 1 \leq t \leq \tau \quad (8.17)$$

L'Equazione (8.18) afferma che la dimensione del serbatoio dell'acqua piovana non può superare s_{max} , dimensione massima di volume di serbatoio edificabile.

$$T_{cap} \leq s_{max} \quad (8.18)$$

L'Equazione (8.19) garantisce che la domanda in un periodo t possa essere soddisfatta dal serbatoio dell'acqua piovana e/o dall'acquisto di acqua di rete.

$$U_t + \sum_{j=1}^J P_{tj} = d_t \quad \forall 1 \leq t \leq \tau \quad (8.19)$$

L'Equazione (8.20) stabilisce che la quantità di acqua di rete acquistata al livello di prezzo j in qualsiasi periodo t non può superare volume massimo di acqua acquistabile al livello di prezzo j .

$$P_{tj} \leq V_j - V_{j-1} \quad \forall 1 \leq t \leq \tau, 1 \leq j \leq J \quad (8.20)$$

Si noti che a causa del fatto che $b_{t1} < b_{t2} < \dots < b_{tj}$ per qualsiasi periodo t , è sempre meno costoso acquistare a livello di prezzo $j - 1$ rispetto al prezzo j .

Bilancio idrico a scala di edificio

L'Equazione (8.20), insieme all'Equazione (8.13) che esprime la funzione obiettivo, garantisce che la quantità acquistata al livello di prezzo j ha valore positivo solo se la quantità totale di acqua acquistata supera V_{j-1} .

Poiché il modello LP è proposto come uno strumento per determinare le dimensioni del serbatoio di acqua piovana considerando la fattibilità economica, non vi è acqua piovana nel serbatoio al tempo zero, come previsto dall'Equazione (8.21).

$$I_0 = 0 \quad (8.21)$$

Infine, l'Equazione (8.22) assicura che tutte le variabili non siano negative.

$$I_t, R_t, U_t, P_{tj}, T_{cap} \geq 0 \quad \forall 1 \leq t \leq \tau, 1 \leq j \leq J \quad (8.22)$$

Dal momento che la funzione e i vincoli sono lineari e tutte le variabili decisionali sono continue, il modello LP può essere risolto in modo abbastanza efficiente anche per grandi valori. Dopo aver risolto il modello LP, troviamo la dimensione ottimale del serbatoio dell'acqua T_{cap}^* ed il valore ottimale della funzione obiettivo Z^* .

Se $T_{cap}^* > 0$, il costo di installazione fissa f_{ini} viene aggiunto al valore di funzione obiettivo ottimale Z^* e si determina il costo totale di costruzione di un serbatoio come $f_{ini} + Z^*$.

Al fine di verificare la fattibilità della costruzione di un serbatoio di acqua piovana, è necessario calcolare $Cost_{PFN}$, il costo totale (con ammortamento) di soddisfacimento della domanda idrica dell'edificio esclusivamente con acqua di rete, secondo la modalità di Equazione (8.23).

$$Cost_{PFN} = \sum_{t \in \tau} \frac{CP_t}{(1+i)^t} \quad (8.23)$$

Se $f_{ini} + Z^* < Cost_{PFN}$ *costruzione serbatoio di volume T^* economicamente fattibile*

Se $f_{ini} + Z^* > Cost_{PFN}$ *no fattibilità economica*

Se $T_{cap}^* = 0$ allora $Z^* = Cost_{PFN}$

NFB, il beneficio finanziario netto, è definito come la differenza tra il costo di soddisfacimento della domanda dell'edificio in questione con acqua di rete pubblica e il costo di installazione di un sistema RWH (Equazione 8.24).

$$NFB = Cost_{PFN} - (f_{ini} + Z^*) \quad (8.24)$$

$NFB > 0$ *rendimento economico RWH nel ciclo di vita*

$NFB \leq 0$ *RWH non economicamente fattibile \rightarrow domanda interamente soddisfatta da acqua di rete*

Caso studio

Il modello di LP proposto è stato testato su un caso studio a Cipro del Nord, utilizzando i dati di precipitazione media mensile raccolti in 31 anni dalle stazioni meteorologiche locali.

Il modello proposto è stato applicato alla città di Kyrenia, in Cipro del Nord, che ha una piovosità media annua di 464 mm, misurata in funzione dei dati raccolti tra il 1978 e il 2009.

Il profilo medio delle precipitazioni mensili di Kyrenia è mostrato in Figura 8.6.

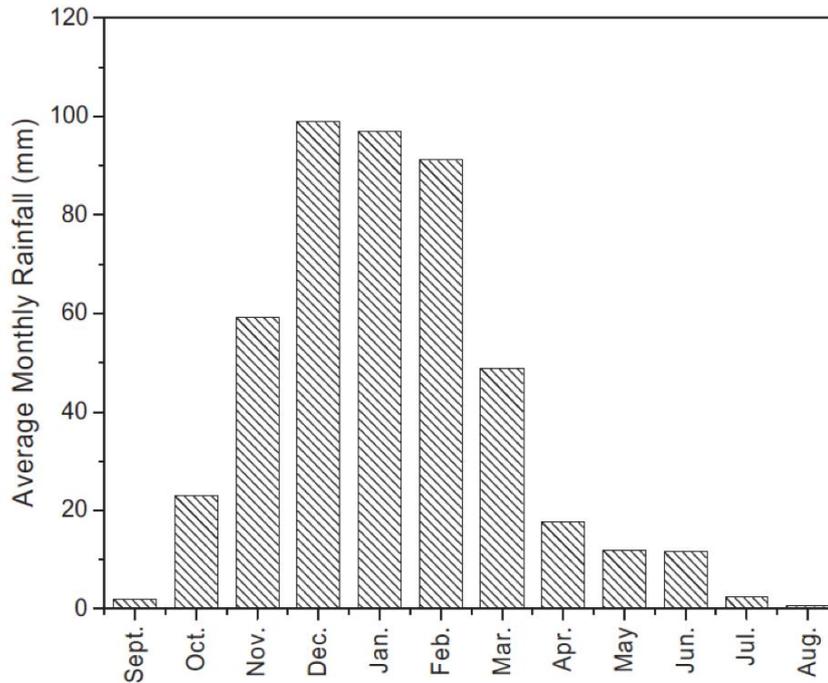


Figura 8.6 – Precipitazione mensile media di Kyrenia (1878-2009)
[Fonte: Okoye et al., 2015]

Il coefficiente di variazione CV delle precipitazioni mensili di Kyrenia è del 100%, sintomo di un'elevata variabilità.

Lo schema tariffario IBR è stato adottato e praticato da diverse città di Cipro del Nord al fine di ridurre al minimo l'utilizzo di acqua dalle falde acquifere. Lo schema tariffario IBR utilizzato nella regione di Kyrenia è riportato in Tabella 8.2.

Consumo idrico [m ³ /mese]	Costo [TL/m ³]
0-10	2.0
11-30	2.5
31-50	6.0
>50	8.0

Tabella 8.2 – schematizzazione della tariffa IBR mensile in Kyrenia

Il costo è presentato in lire turche (TL), valuta locale utilizzata nel paese.

In generale, il costo dell'acqua di rete in Cipro del Nord, anche con lo schema tariffario IBR, è relativamente basso rispetto ad altri Paesi e in quanto tale influisce negativamente sulla decisione di raccolta dell'acqua piovana. Parecchie città del Paese incoraggiano indirettamente la costruzione di sistemi RWH addebitando un costo per volume di acqua di rete acquistata: per esempio, Kyrenia addebita 1,4 TL per ogni m³ di acqua di rete acquistata.

Bilancio idrico a scala di edificio

Prevalentemente, nella regione di Kyrenia si trovano due diverse configurazioni abitative, vale a dire ville ed appartamenti.

Si considerano ville standard con:

- A_{col} pari a 200 m^2 ;
- n pari a 5 residenti.

Il costo fisso del capitale e il costo unitario di costruzione di un serbatoio di acqua piovana sono stimati utilizzando i valori ottenuti da un fornitore locale come:

- $f_{ini} = 3162,5 \text{ TL}$;
- $a = 216 \text{ TL/m}^3$.

Si considera:

- consumo medio giornaliero di acqua pro-capite $W_d = 0,125 \text{ m}^3$;
- coefficiente di deflusso $c_f = 0,90$ per il tetto a falde (Leggett et al., 2001);
- dimensione massima di serbatoio di raccolta $s_{max} = 20 \text{ m}^3$;
- tasso di ammortamento mensile $i = 0,005$;
- vita utile serbatoio $\tau = 25$ anni.

I risultati mostrano:

- funzione obiettivo ottimale Z^* pari a $8974,1 \text{ TL}$;
- volume di dimensionamento ottimale del serbatoio V^* pari a $2,2 \text{ m}^3$;
- beneficio finanziario netto NFB pari a 675 TL .

Considerando la situazione occasionale di inondazioni che si è verificata nel Paese negli ultimi tempi, può esserci un importante beneficio ambientale associato all'implementazione di RWH oltre al suo vantaggio finanziario.

Nel seguito sono riportati 6 differenti scenari per mostrare l'influenza della variazione di 6 diversi parametri sui risultati del modello applicato. Nello specifico:

- CASO A – Effetto della variazione del numero di residenti (da 2 a 13);
- CASO B – Effetto della variazione dell'area di copertura (da 80 a 300 m^2);
- CASO C – Effetto della variazione del consumo medio giornaliero pro-capite (da 80 a 195 l);
- CASO D – Effetto della variazione del tasso di ammortamento i (dal 3 al 13%);
- CASO E – Effetto della variazione del costo unitario di costruzione del serbatoio (da 156 a 336 TL per m^3);
- CASO F – Effetto della variazione del profilo di precipitazione annuale.

In tutti i sei casi elencati, il costo totale ammortizzato ($TDC = \min \{Cost_{PFN}, f_{ini} + Z^*\}$) e la dimensione ottimale del serbatoio V^* sono valutati facendo variare un singolo parametro alla volta, mantenendo costanti tutti gli altri parametri definiti in precedenza.

Caso A

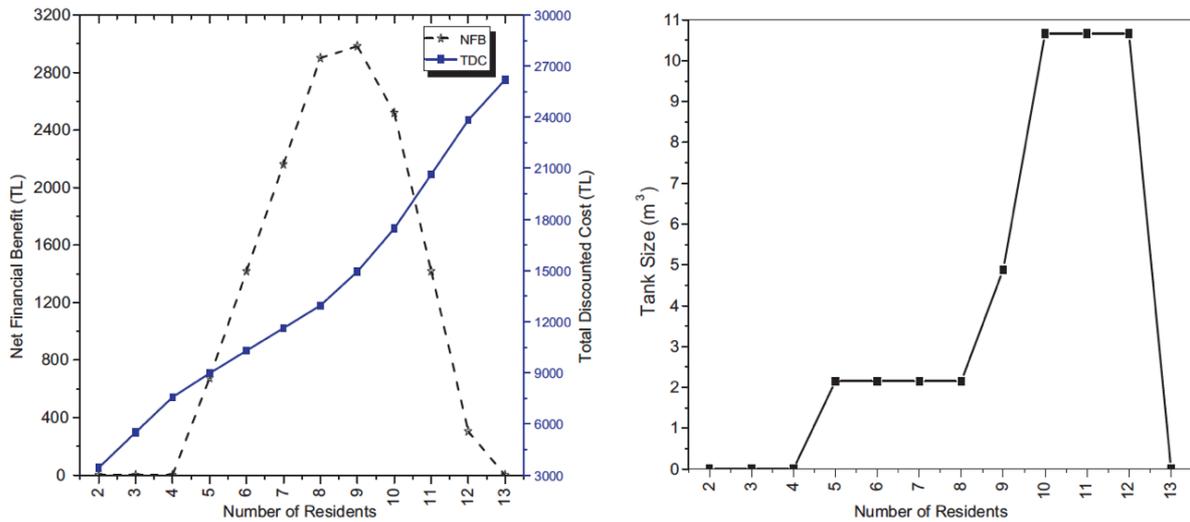


Figura 8.7 – Effetto della variazione del numero di residenti sul dimensionamento del serbatoio, sul costo totale ammortizzato e sul beneficio economico [Fonte: Okoye et al., 2015]

La Figura 8.7 mostra l’impatto della variazione del numero di residenti da 2 a 13 sul dimensionamento del serbatoio e relativo beneficio economico (NFB) e costo totale ammortizzato (TDC).

I risultati mostrano che quando il numero di residenti è inferiore a 5 o maggiore di 12, la costruzione di un serbatoio di acqua piovana non è finanziariamente fattibile.

In altre parole, il sistema RWH non sarebbe in grado di recuperare gli investimenti di capitale per tutta la sua vita utile. Pertanto, in presenza di meno di 5 o con più di 12 residenti, è più economico utilizzare l’acqua di rete per soddisfare la domanda dell’utenza.

Con un numero di residenti compreso tra 6 e 11, il valore NFB diventa positivo, aumentando costantemente fino a raggiungere il massimo con 9 residenti e poi diminuisce gradualmente (Figura 8.7). La dimensione ottimale corrispondente del serbatoio è di 4,9 m³ (massimo NFB previsto di 2983 TL).

L’aumento della domanda di acqua (con l’aumento del numero di residenti) comporta la necessità di serbatoi con volumi maggiori (2,2 m³ per 5-8 residenti, 4,9 m³ per 9 residenti e 10,7 m³ per 10-12 residenti).

Nel caso di numero di residenti superiore a 12, risulta di nuovo economicamente più conveniente utilizzare acqua di rete pubblica piuttosto che costruire un serbatoio di raccolta dal volume enorme. Questo perché le precipitazioni potrebbero non riempire sufficientemente le cisterne di dimensioni maggiori e sarebbe necessario comunque acquistare acqua di rete per soddisfare completamente la domanda idrica domestica.

Ovviamente l’andamento di TDC segue un aumento esponenziale in funzione del numero di residenti (Figura 8.7).

Caso B

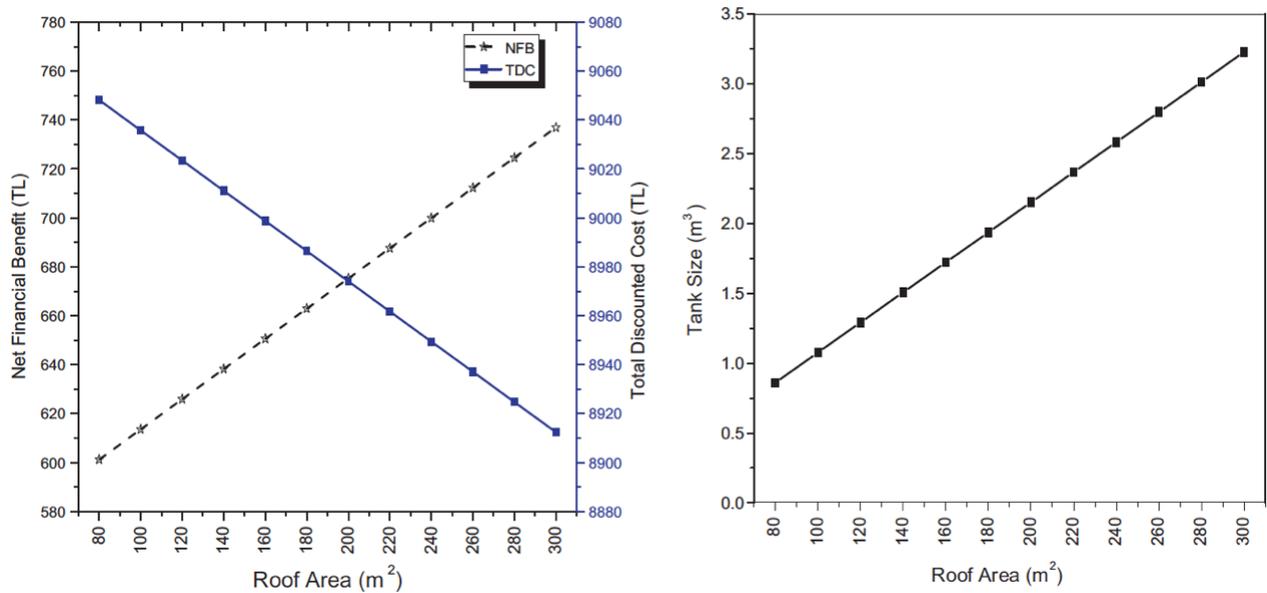


Figura 8.8 – Effetto della variazione dell’area di copertura sul dimensionamento del serbatoio, sul costo totale ammortizzato e sul beneficio economico [Fonte: Okoye et al., 2015]

La Figura 8.8 mostra l’andamento del beneficio finanziario netto NFB e del costo totale ammortizzato TDC in funzione di un’area di copertura variabile da 80 a 300 m² (sinistra) mentre a destra è evidenziata la relazione lineare tra l’aumento dell’area di tetto e il volume di serbatoio necessario per raccogliere totalmente l’acqua piovana caduta (dimensionamento ottimale). Riassumendo, l’aumento dell’area di tetto determina un aumento del volume di serbatoio ottimale, aumento del NFB e riduzione del TDC.

Caso C

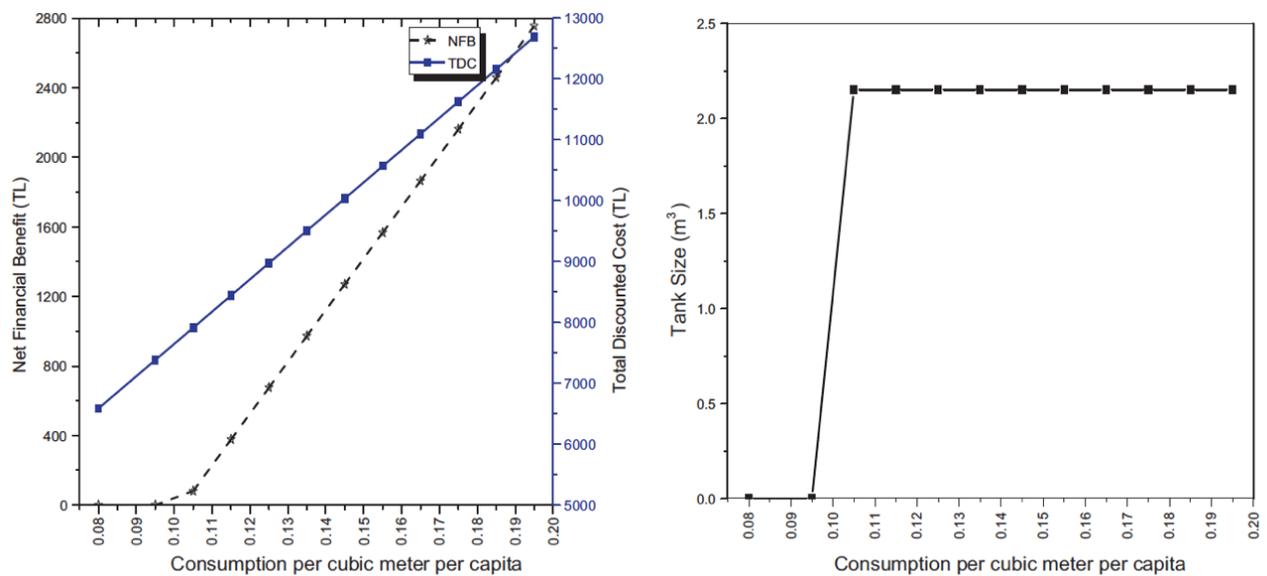


Figura 8.9 – Effetto della variazione del consumo idrico giornaliero sul dimensionamento del serbatoio, sul costo totale ammortizzato e sul beneficio economico [Fonte: Okoye et al., 2015]

La Figura 8.9 mostra l'effetto sul dimensionamento ottimale, su NFB e su TDC della variazione del consumo giornaliero pro-capite (da 80 a 195 litri).

Come è evidente, la dimensione ottimale del serbatoio prevista dal modello non è sensibile al livello di consumo giornaliero: quando il consumo giornaliero di acqua pro-capite è maggiore di $0,10 \text{ m}^3$ (ossia 100 litri), la configurazione del serbatoio ottimale rimane costante ad un valore di volume pari a $2,2 \text{ m}^3$ (non si raccomanda il riutilizzo di acqua piovana quando il consumo giornaliero di acqua pro-capite è inferiore a $0,10 \text{ m}^3$).

D'altra parte, sia NFB sia TDC aumentano linearmente con l'aumento del consumo giornaliero di acqua pro-capite, ma il secondo presenta una pendenza maggiore.

Caso D

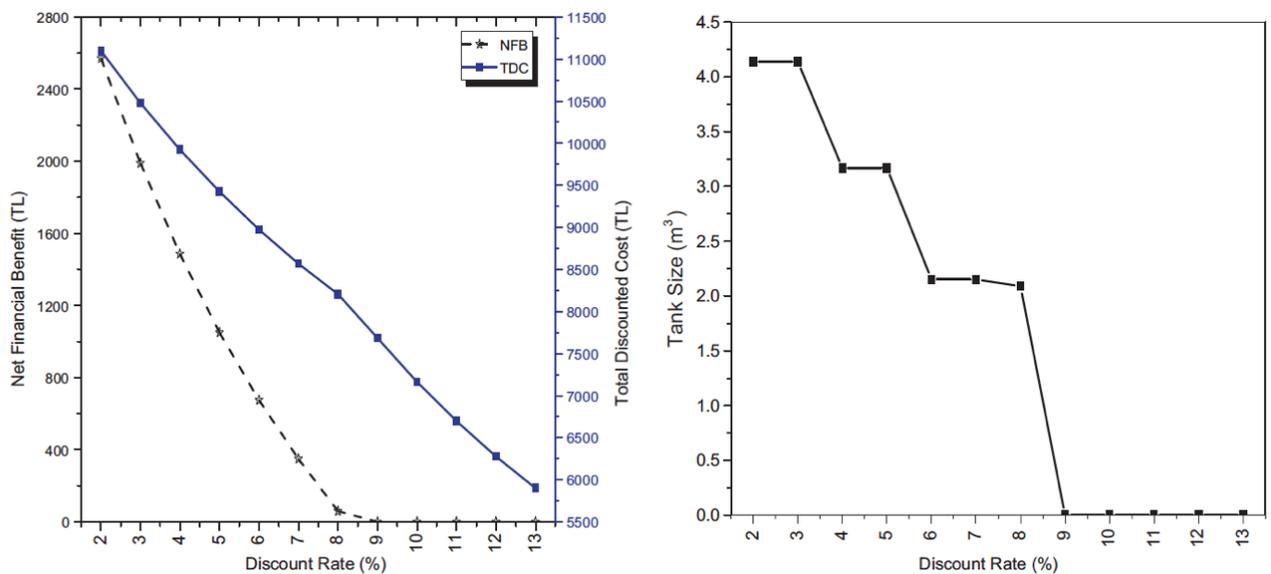


Figura 8.10 – Effetto del tasso i sul dimensionamento del serbatoio, sul costo totale ammortizzato e sul beneficio economico [Fonte: Okoye et al., 2015]

Una variazione del tasso di ammortamento (dal 3 al 13 %) determina i risultati mostrati in Figura 8.10.

Tutti e tre i parametri studiati (dimensionamento ottimale, beneficio finanziario netto e costo totale ammortizzato) diminuiscono con l'aumento del tasso di ammortamento.

In particolare, quando il tasso di ammortamento è pari o superiore al 9%, il modello proposto non consiglia di costruire il sistema RWH (cioè la dimensione del serbatoio è uguale a zero).

Questo risultato è dovuto al fatto che il valore attuale netto del costo dell'acquisto di acqua di rete diminuisce all'aumentare del tasso di ammortamento mentre il costo di capitale della costruzione del sistema RWH non è influenzato. Pertanto, alti tassi di ammortamento rendono migliore l'opzione di acquisto di acqua di rete per soddisfare la domanda domestica idrica rispetto all'installazione di un sistema RWH.

Caso E

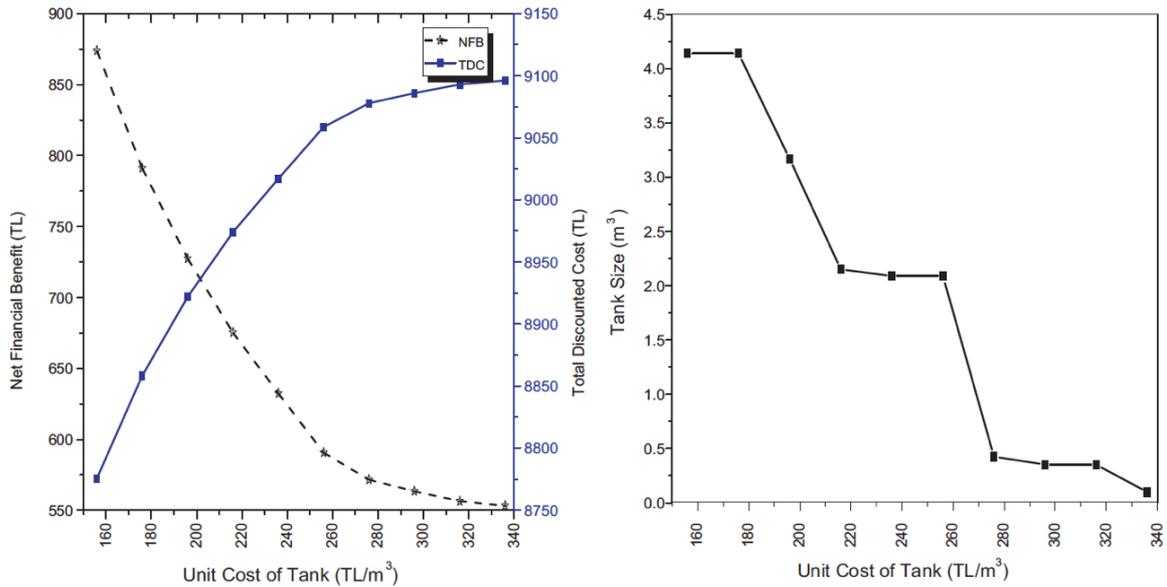


Figura 8.11 – Effetto della variazione del costo unitario di costruzione del serbatoio sul dimensionamento del serbatoio e beneficio economico [Fonte: Okoye et al., 2015]

La Figura 8.11 mostra come la variazione del costo unitario di costruzione “a” di un serbatoio di raccolta ha un impatto notevole sia su NFB che su V^* .

Come previsto, il beneficio finanziario netto e le dimensioni del serbatoio diminuiscono con l’aumento del costo unitario di costruzione del serbatoio. D'altra parte, TDC aumenta con tasso decrescente all’aumentare del costo unitario di costruzione.

Risulta evidente che oltre un determinato valore soglia di costo unitario di costruzione, è sconsigliata l’installazione di un sistema RWH. Nello specifico, quando il costo unitario di costruzione del serbatoio supera i 336 TL per m^3 , il modello consiglia di non costruire un serbatoio.

Caso F

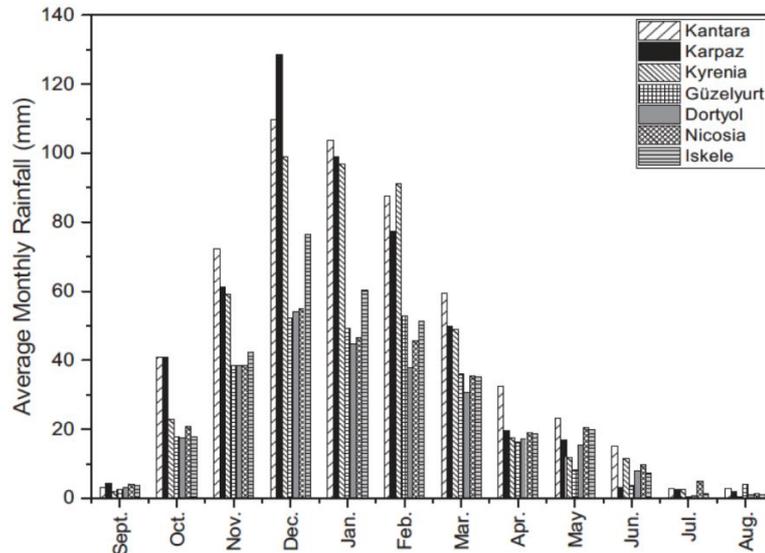


Figura 8.12 – Distribuzione media mensile delle precipitazioni nelle stazioni selezionate [Fonte: Okoye et al., 2015]

Questo scenario considera i dati di precipitazione annuale di sette stazioni in Cipro del Nord per realizzare un'analisi di sensibilità.

La posizione delle stazioni sono:

- Karpaz per la penisola di Karpaz con un CV di 1,01;
- Kyrenia per la costa settentrionale con un CV di 1,00;
- Iskele per la costa orientale con un CV di 0,90;
- Guzelyurt per la pianura di West Mesaoria con 0,89;
- Kantara per la montagna Besparmak con un CV di 0,86;
- Dortyol per la pianura di Mesaoria orientale con un CV di 0,82;
- Nicosia per la pianura di Middle Mesaoria con un CV di 0,74.

La distribuzione mensile delle stazioni di pioggia selezionate è rappresentata in Fig. 8.12 e indica che le precipitazioni massime si verificano in dicembre mentre il minimo si verifica in luglio e agosto.

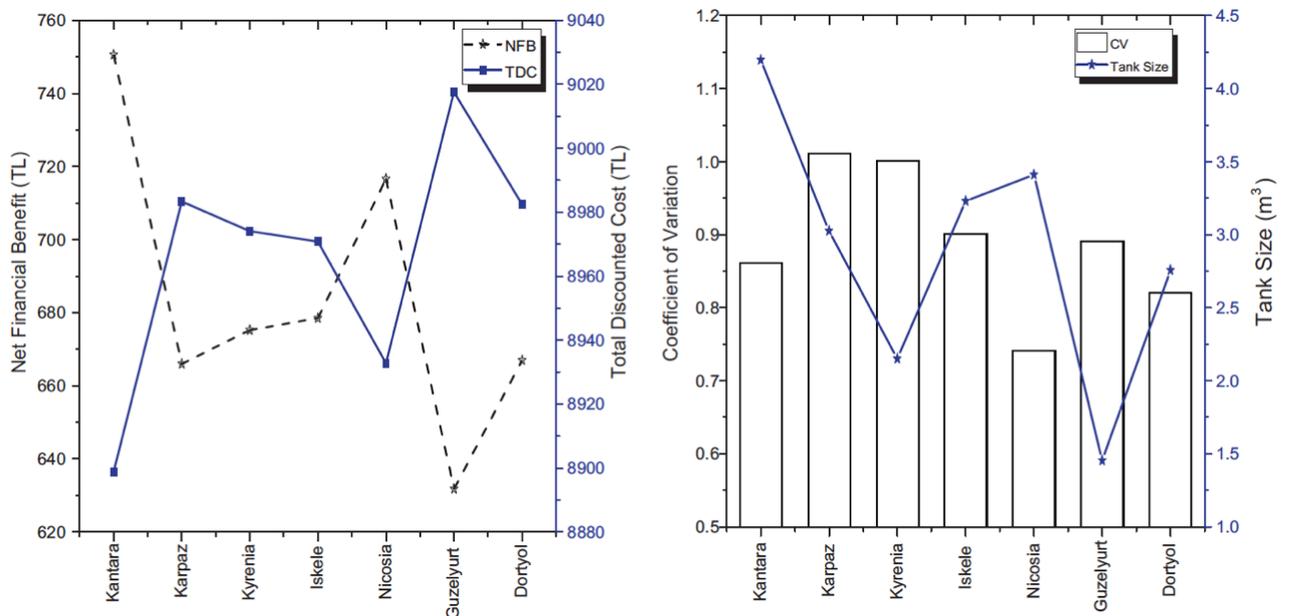


Figura 8.13 – Effetto della variazione di profilo di precipitazione sul dimensionamento ottimale del serbatoio e beneficio economico [Fonte: Okoye et al., 2015]

La Figura 8.13 mostra il beneficio finanziario netto e il costo totale ammortizzato (sinistra) e il dimensionamento ottimale di serbatoio (destra) per le sette diverse collocazioni geografiche.

I risultati mostrano che la dimensione ottimale del serbatoio e NFB sono più sensibili alla distribuzione mensile delle precipitazioni rispetto alle precipitazioni medie annue.

Ad esempio, la dimensione del serbatoio ottimale per Dortyol, che ha un'altezza di precipitazione media annua di pioggia di 268 mm, è di 2,8 m³ rispetto alle dimensioni di 2,2 m³ prevista per Kyrenia con una media annua di 464 mm. Nonostante a Dortyol il volume di pioggia annuale è minore rispetto a Kyrenia, il beneficio finanziario netto ottenibile dall'installazione di un sistema RWH è maggiore.

Dunque dai risultati mostrati in Figura 8.13 si può giungere all'importante conclusione che è sbagliato fare assunzioni sul beneficio finanziario netto dei sistemi RWH basandosi sulla piovosità media annua di un'area senza considerare la variabilità negli indici di pioggia.

Conclusioni

In questo documento, un modello matematico basato sulla programmazione lineare è stato proposto e utilizzato nel dimensionamento ottimale di un serbatoio di raccolta di acqua piovana a scala di edificio.

Si è valutato il dimensionamento ottimale tale da ridurre al minimo il valore attuale netto dei costi di costruzione e dei costi di acquisto di acqua di rete, valutando l'influenza di parametri specifici come: area tetto, consumo giornaliero pro-capite, numero di residenti, ...

L'analisi di sensibilità rivela che:

- la dimensione ottimale del serbatoio aumenta con l'area del tetto, ma diminuisce con un aumento del tasso di ammortamento e con il costo unitario di costruzione del serbatoio;
- il beneficio finanziario netto derivante dall'installazione di un sistema RWH aumenta con l'incremento dell'area di copertura e con l'incremento del consumo giornaliero di acqua pro-capite, ma diminuisce con l'aumento del tasso di ammortamento e del costo unitario di costruzione del serbatoio;
- il livello di consumo giornaliero pro-capite non ha effetto sul dimensionamento ottimale;
- la distribuzione mensile delle piogge ha un notevole impatto sull'analisi, rivelando che il dato di precipitazione media annua risulta insufficiente a descrivere la piovosità di una certa area.

In questo modello l'analisi temporale si è limitata alla scala mensile, a causa della scarsità di dati giornalieri. Tuttavia l'uso di dati giornalieri sulle precipitazioni porterebbe a risultati più realistici: i fenomeni piovani intensi che si verificano all'interno di un mese possono causare lo sfioro di risorsa dal serbatoio di raccolta e questa informazione può essere catturata solo da un'analisi giornaliera. Pertanto in presenza di dati sulle precipitazioni giornaliere, il modello LP proposto potrebbe essere adattato per fornire risultati più precisi e realistici.

8.3 Analisi di costo in Namibia del Nord: l'acqua piovana come risorsa idrica alternativa [M. Sturm, M. Zimmermann, K. Schütz, W. Urban, H. Hartung, 2009]

Centro-nord della Namibia e il villaggio di Epyeshona

La regione centro-settentrionale è la regione più densamente popolata della Namibia: circa 1 milione di persone (50% della popolazione) vive su un'area pari al 15% del territorio nazionale (Kluge et al., 2008).

L'attuale approvvigionamento idrico della regione è per lo più alimentato dal fiume Kunene che scorre lungo il confine namibiano-angolano. Altre fonti minori sono dighe, pozzi scavati a mano e piccoli ruscelli con acqua di qualità inadeguata.

Gli obiettivi principali del progetto "CuveWaters – Gestione integrata delle risorse idriche (IWRM)" sono la riduzione della dipendenza idrica da Kunene e il miglioramento della fornitura e della qualità dell'acqua dei villaggi mediante l'installazione di diversi sistemi di

approvvigionamento decentralizzati. Una delle possibili opzioni tecniche è l'installazione di sistemi RWH.

È stato scelto il villaggio rurale di Epyeshona per un progetto pilota su sistemi RWH. Indagini preliminari (Deffner et al., 2008) hanno rivelato che Epyeshona si compone di circa 80 famiglie con 5-15 persone, di cui la maggior parte disoccupati: praticano l'agricoltura di sussistenza o vendono prodotti tradizionali.

L'infrastruttura igienico-sanitaria del villaggio è o rudimentale o inesistente. Dal 1993, Epyeshona è stata collegata alla rete idrica attraverso la diramazione Ekuku-Amutanga con tre punti d'acqua comunali, che sono usati da circa il 20% dei residenti. La distanza più lontana tra i residenti per bere acqua è 1 km. I punti d'acqua sono aperti solo per alcune ore al giorno al fine di controllare il fenomeno del vandalismo. La quantità di acqua potabile è limitata a 150 l/giorno per famiglia. Il restante 80% delle famiglie usa rubinetti privati, il cui utilizzo è limitato a 10 m³ al mese.

Il consumo di acqua totale è stato valutato come segue:

- 591 l/giorno a famiglia (supponendo 15 persone per famiglia);
- 39 l al giorno a persona.

Al momento, solo alcune famiglie applicano sistemi rudimentali RWH durante la stagione delle piogge, come grandi secchi per raccogliere acque piovane poi riutilizzate per cucinare, igiene personale, irrigazione e, a volte, per bere.

La raccolta dell'acqua piovana

Ogni sistema RWH comprende una superficie preferibilmente impermeabile per la raccolta dell'acqua piovana (ad esempio superfici del tetto o del terreno), sistemi di trasporto dell'acqua piovana dalla superficie di raccolta ad appropriati serbatoi di stoccaggio (ad esempio grondaie) e il serbatoio stesso.

Il progetto CuveWaters considera due opzioni di sistemi RWH (Figura 8.14):

- sistemi di captazione dal tetto per consumo interno;
- sistemi di raccolta a terra per bestiame, irrigazione su piccola scala e, in parte, consumo domestico.

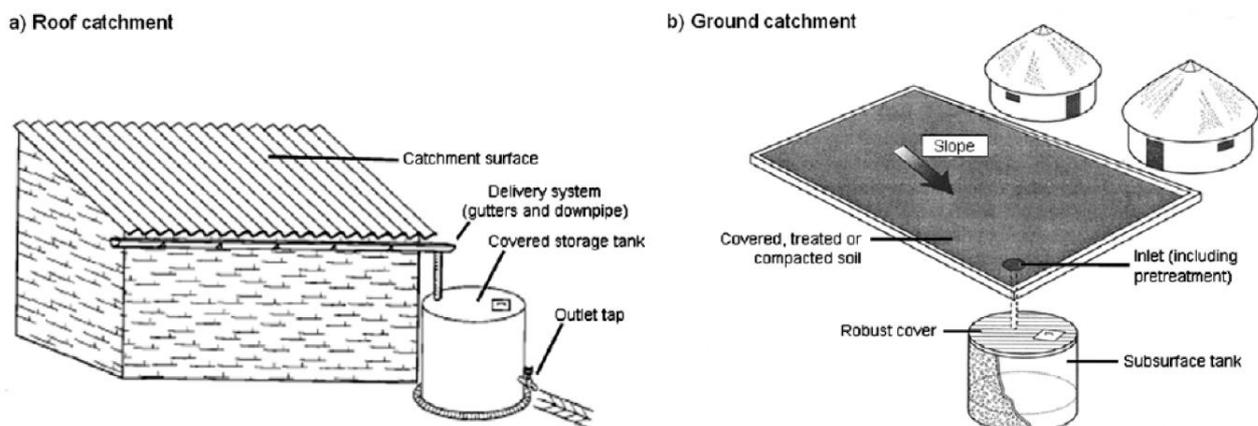


Figura 8.14 – Illustrazione schematica del tetto usato per la raccolta di acqua piovana (a) e captazione da terreno (b)

[Fonte: Gould e Nissen-Petersen, 2003]

Nel secondo caso, il terreno presenta una lieve pendenza verso l'ingresso del serbatoio ed è chiuso da basse pareti o piccole zolle di terra per ridurre la contaminazione dalle aree limitrofe. Mentre la produttività del primo sistema è limitato dalle dimensioni del tetto, il secondo ha il vantaggio (particolarmente rilevante nelle regioni aride come la Namibia settentrionale) che l'acqua piovana può essere raccolta da un'area più ampia.

In generale, il serbatoio di stoccaggio rappresenta la componente più costosa di un sistema RWH. Pertanto, la scelta deve essere adattata alle condizioni locali, come disponibilità materiale, competenze e costi.

Nel caso studio analizzato, vasche in cemento armato risultano essere la scelta più vantaggiosa. Altri tipi comuni sono serbatoi di blocchi a mattoni, serbatoi di plastica e serbatoi metallici. Il serbatoio presenta una tubazione di sfioro e un tombino di copertura.

La qualità dell'acqua piovana non corrisponde sempre ai requisiti dell'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità, 2006), ma rappresenta comunque un miglioramento rispetto all'acqua superficiale attualmente utilizzata. La qualità dell'acqua piovana generalmente migliora durante lo stoccaggio all'interno di un serbatoio correttamente progettato e gestito a patto che:

- l'acqua sia protetta dalla radiazione solare;
- l'acqua non entri in contatto con organismi viventi;
- assenza di formazione di sedimenti al suo interno.

L'ingresso del serbatoio è quindi protetto da un filtro a rete autopulente. Inoltre possono essere utilizzati filtri a sabbia lenta per ridurre il quantitativo di solidi sospesi. Poi, è possibile migliorare ulteriormente la qualità dell'acqua con tecniche di trattamento come l'ebollizione.

Metodologia

In questo metodo, è necessario individuare il prezzo dell'acqua locale delle diverse modalità di fornitura (punti comunali di acqua, rubinetti privati, rivenditori d'acqua).

Il metodo utilizzato è il metodo standard NPV (valore attuale netto), la cui formulazione è riportata in Equazione (8.25).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (8.25)$$

dove:

NPV - il valore attuale netto;

n – anni in totale di progetto;

r - il tasso di ammortamento;

C_t è il flusso di denaro netto nel periodo t.

In tal modo, è possibile valutare le diverse opzioni e fare un confronto in termini di tempi di ammortamento e costi primari dell'acqua.

Bilancio idrico a scala di edificio

La dimensione media di tetto in lamiera ondulata per un'abitazione è di circa 31 m², mentre nel caso di una fattoria la media è di circa 70 m². Successivamente si approfondisce lo studio esclusivamente per il caso di fattoria.

Nell'analisi sono stati selezionati tre tipi di serbatoi:

- serbatoio in cemento armato;
- serbatoio a blocco prefabbricato;
- serbatoio in polietilene.

La capacità di stoccaggio di un serbatoio dipende dal modello annuale delle precipitazioni, dalla domanda di acqua, dalle dimensioni della copertura e dal coefficiente di deflusso.

Nel caso di una fattoria con area media di copertura di 70 m², si è stimato un volume totale annuo di precipitazioni accumulabili di 27,8 m³ (prodotto di altezza di precipitazione media, area copertura e coefficiente di deflusso).

Considerando la domanda idrica costante, il volume di stoccaggio necessario sarebbe di 16 m³, poi ridotta a 10 m³ per questioni pratiche (Gould e Nissen-Petersen,2003).

Invece per quanto riguarda i serbatoi che raccolgono acqua piovana proveniente da un'area di terra di captazione, essi possono essere dimensionati con capacità maggiori poiché non vi è un limite in termini di spazio.

Il volume considerato per un'area di 400 m² di terreno (e 141 m³ di volume d'acqua piovana annua) è di 90 m³, compromesso tra massima capacità e buona stabilità del terreno.

Analisi di costo

La Tabella 8.3 mostra tutti i parametri di input dell'analisi di costi. Essa necessita di conoscere i costi dei materiali previsti, costi di costruzione dei serbatoi, delle grondaie, delle tubazioni. Anche questi costi vengono inseriti nell'analisi come valori di input.

Precipitazione media annuale		470 mm/anno
Area	Captazione da tetto	69,61 m ²
	Captazione da terreno	400 m ²
Coefficiente di deflusso	Captazione da tetto	0,85
	Captazione da terreno	0,75
Prezzo per m³ d'acqua	Punto d'acqua comune	0,71 \$
	Rubinetti privati	1,36 \$
	Rivenditori d'acqua	6,48 \$
Tassi di interesse		3 – 8%
Costi annuali di esercizio	Captazione da tetto	1,30 \$
	Captazione da terreno	12,96 \$
Costo dell'acqua ai punti d'acqua comuni è di 5,48 NAD a Epyeshona (25 NAD/mese per 150 l/giorno, 2007).		
Prezzo acqua da rubinetto privato è di 10,50 NAD a causa dei debiti di Epyeshona (2007).		
Prezzo dell'acqua presso rivenditori è di 50 NAD (2007)		

Tabella 8.3 – parametri di input per l'analisi di costo

Bilancio idrico a scala di edificio

Informazioni appropriate su sistemi RWH già adottati in Ghana sono state reperite da Isaac Kariuki (One World Construction, Kenya) e da Hans Hartung (FAKT-Consult for Management, Training and Technologies, Germany), i quali hanno recuperato ed analizzato le fatturazioni dei costi di materiale, di costruzione, ...

I costi per il lavoro non qualificato non sono stati inclusi nei calcoli visto che i residenti, come futuri utenti delle strutture, hanno mostrato l'intenzione di contribuire alla costruzione volontariamente. L'investimento totale per le varie tipologie di captazione e di serbatoio è riassunto in Tabella 8.4.

	Serbatoio (10 m ³) in c.a., grondaie, tubature		Serbatoio (10 m ³) prefabbricato, grondaie, tubature		Serbatoio (10 m ³) di plastica, grondaie, tubature		Cisterna in c.a. (90 m ³) e captazione da terreno rivestita di cemento	
	[\$]	[%]	[\$]	[%]	[\$]	[%]	[\$]	[%]
Costi materiale	469,77	68,3	466,04	68,2	870,71	98,2	2673,36 (cisterna) 2591,22 (terreno di captazione)	38,8 37,7
Costi manodopera	217,73	31,7	217,73	31,8	15,55	1,8	1617,41	23,5
Costi totali	687,49	100,0	683,76	100,0	886,26	100,00	6881,99	100,0

Tabella 8.4 – Costi di investimento delle opzioni tecnologiche proposte per la raccolta d'acqua piovana

Pochi sono i costi di gestione aggiuntivi: manodopera per la pulizia delle captazioni da terreno, piccole quantità di cemento per eventuali crepe, pezzi di ricambio di grondaie.

Si considera che i costi di riparazione e di manutenzione saranno ridotti al minimo grazie ad un'intensiva formazione degli utenti futuri.

Tuttavia, si applicano i seguenti costi annuali di gestione per garantire un margine di sicurezza:

- 1,30 \$ (10 dollari namibiani) per il sistema RWH di un edificio con copertura;
- 12,96 \$ (100 dollari namibiani) per il sistema RWH di captazione da terreno.

In un'analisi di costo dinamico, i benefici ed i costi futuri sono correlati ad una data specifica di riferimento, considerata solitamente la data in cui si realizza l'analisi, e dunque è necessario applicare ad essi un tasso di ammortamento.

La scelta del tasso di ammortamento appropriato è un problema, poiché esprime gli obiettivi dell'investitore ed è quindi solo soggettivamente quantificabile.

Da un lato è comune usare i tassi di interesse orientati ai mercati nazionali dei capitali, d'altra parte si sostiene che, a lungo termine, questi tassi non sono ragionevoli a causa delle incertezze previste.

Pertanto, la selezione del tasso di ammortamento dipende dalla stima dei rischi degli investitori e quindi due diversi scenari di tassi di interesse verranno utilizzati di seguito:

Bilancio idrico a scala di edificio

- tasso di ammortamento dell'8% e costo dell'acqua pari a 6,48 dollari (rivenditori d'acqua);
- tasso di ammortamento del 3% e costo dell'acqua pari a 1,36 dollari (rubinetti privati).

Il primo scenario viene applicato per le aree remote della Namibia, dove appunto il riferimento di prezzo è quello dei rivenditori d'acqua. La Figura 8.15 rivela che il costo del sistema RWH con raccolta di acqua piovana dal tetto:

- viene ammortizzato entro il quinto anno con serbatoio in cemento armato o prefabbricato;
- viene ammortizzato entro il settimo anno con serbatoio di plastica.

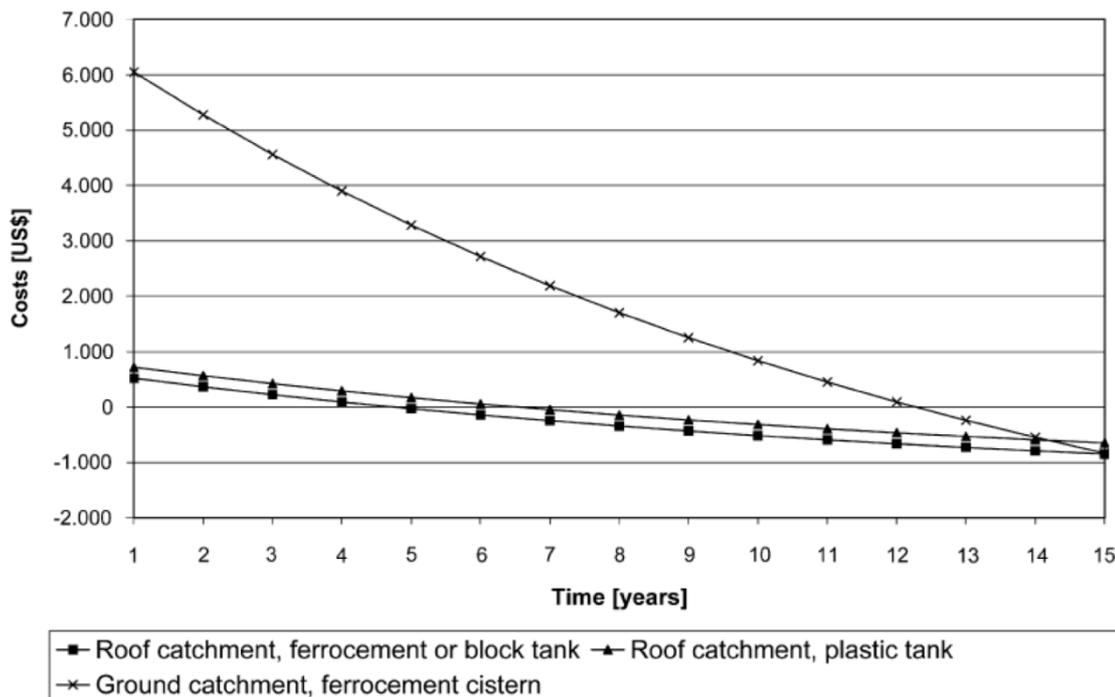


Figura 8.15 - Ammortamento ad un tasso dell'8% e costo dell'acqua di 6,48 dollari [Fonte: Sturm et al., 2009]

In Figura 8.15, poiché i costi e i benefici dei serbatoi in cemento armato e prefabbricati sono simili, essi vengono considerati con un'unica rappresentazione grafica.

Per quanto riguarda invece il sistema di raccolta da terreno, il suo costo viene ammortizzato al tredicesimo anno con tasso dell'8%.

Il secondo scenario rappresenta invece il caso di Epyeshona, dove il prezzo dell'acqua fornita da rubinetto privato viene preso come prezzo di riferimento e ciò modifica notevolmente i tempi di ammortamento:

- esso sale a 28 anni per serbatoi prefabbricati e serbatoi in cemento armato (Figura 8.16), valori accettabili rispetto alla vita utile degli stessi;
- 44 anni per la soluzione di serbatoio in plastica (Figura 8.16);
- nel caso di captazione da terreno, i tempi si allungano notevolmente e l'ammortamento totale non avviene neanche considerando una vita utile del sistema di 50 anni (Figura 8.21).

Bilancio idrico a scala di edificio

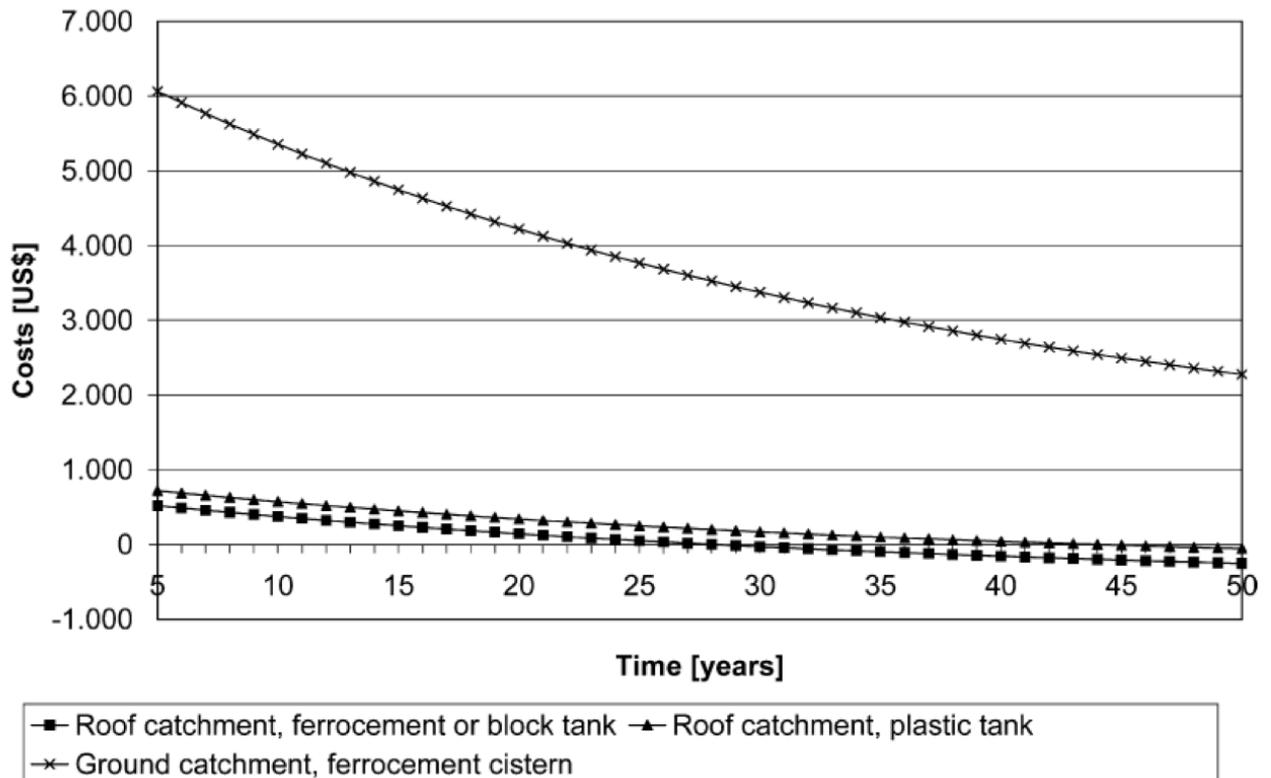


Figura 8.16 – Ammortamento ad un tasso del 3% e costo dell'acqua di 1,36 dollari [Fonte: Sturm et al., 2009]

Ovviamente, se si prendesse come riferimento di prezzo quello dei punti d'acqua comuni (0,71 dollari), l'ammortamento del costo avverrebbe in tempi ancora più lunghi, ben oltre la vita utile del sistema.

Una seconda opzione è determinare semplicemente i costi primari per la raccolta e lo stoccaggio di un m³ di acqua piovana raccolta da coperture con tasso di ammortamento dell'8% (Figura 8.17). I risultati mostrano che questi costi:

- sono minori del costo sostenuto utilizzando acqua al prezzo dei rivenditori (6,48 \$, ossia 50 NAD) al quarto anno per i serbatoi in cemento armato o prefabbricati;
- sono minori del costo sostenuto utilizzando acqua al prezzo dei rivenditori di (6,48 \$ ossia 50 NAD) al quinto anno per i serbatoi in plastica;
- sono minori del costo sostenuto utilizzando acqua al prezzo dei rubinetti privati (1,36 \$ ossia 10,50 NAD) al diciannovesimo anno per serbatoi in cemento armato o prefabbricati;
- sono minori del costo sostenuto utilizzando acqua al prezzo dei rubinetti privati (1,36 \$ ossia 10,50 NAD) al ventiquattresimo anno per serbatoi in plastica.

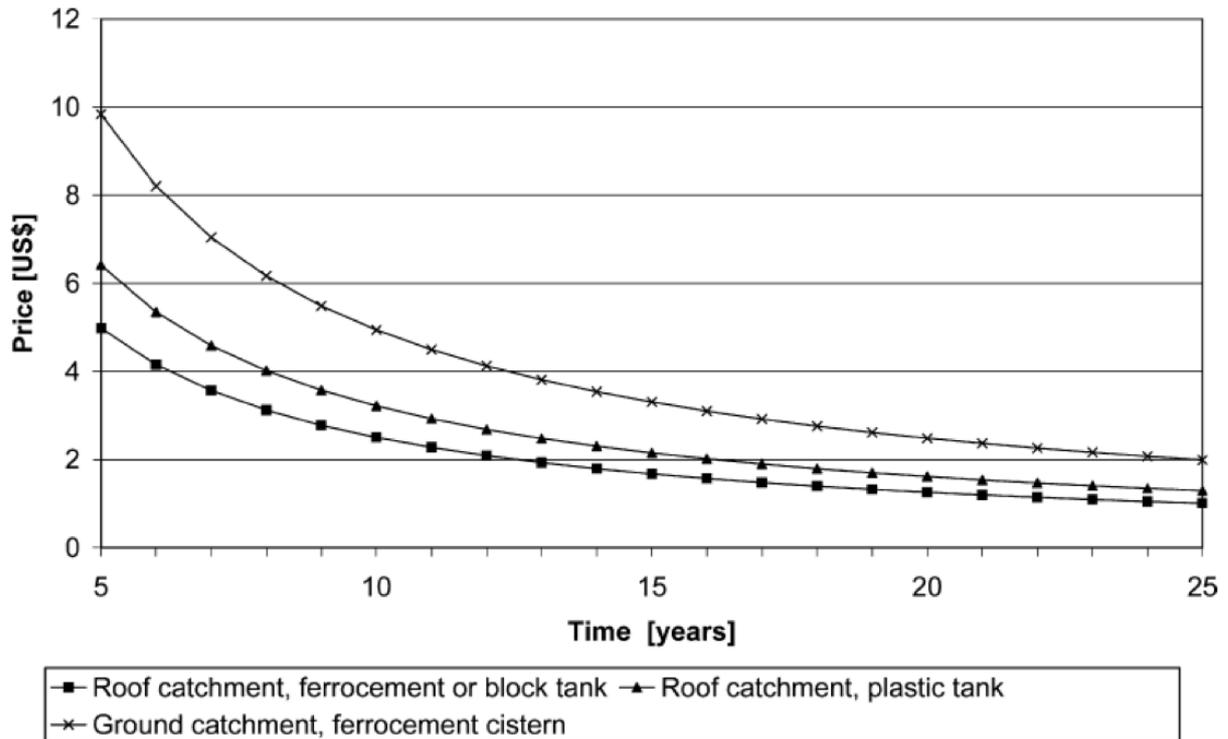


Figura 8.17 – Costi primari per la raccolta e lo stoccaggio di un m^3 di acqua piovana ad un tasso di ammortamento dell'8% [Fonte: Sturm et al., 2009]

Per quanto riguarda il sistema RWH con captazione da terreno, i costi primari sono ammortizzati all'ottavo anno considerando il prezzo dell'acqua pari a 6,48 \$ e al trentasettesimo anno di utilizzo considerando 1,36 \$ come prezzo dell'acqua.

Nel caso dell'indagine dei costi primari, l'impatto dei diversi tassi di interesse è solo marginale, poiché si applicano solo per i costi di gestione.

A causa della durata dei materiali e del design della costruzione, una durata della vita di 25 anni è realistica, soprattutto nel caso di serbatoi in cemento armato o prefabbricati.

In termini di serbatoio di plastica, a causa dell'esposizione alla radiazione UV, una durata della vita di 25 anni è incerta, quindi si prende come riferimento una vita utile di 20 anni.

Potenziali di raccolta dell'acqua piovana

In questo paragrafo, si mette in luce il potenziale di raccolta dell'acqua piovana sotto diverse prospettive, quali capacità equivalente di irrigazione e domanda idrica domestica equivalente soddisfatta.

La quantità di acqua necessaria per il settore agricolo dipende dalle colture coltivate e dai metodi di irrigazione usati.

Come mostrato in Tabella 3, in media la domanda idrica annua ammonta a $1,2 m^3$ per m^2 di superficie irrigata (Nantanga et al., 2007). Da questo valore si deve sottrarre il volume di precipitazione annuo corrispondente ad un'altezza di pioggia di 470 mm, il che si traduce in una domanda annua finale di $0,73-1,03 m^3$ per m^2 di superficie.

Bilancio idrico a scala di edificio

Captazione	Acqua d'irrigazione [m ³ /m ² annuale]	Precipitazioni [m ³ /anno]	Dimensione di giardino irrigabile [m ²]
Copertura	1,2	27,8	23,2
Terreno	1,2	141	117

Tabella 8.5 – dimensione dei giardini che possono essere irrigati con acqua piovana

La Tabella 8.5 mostra la dimensione massima irrigabile di giardino per singola unità abitativa, con sistema di raccolta a copertura e a captazione da terreno.

Questo consente la coltivazione di frutta e verdura per l'auto-provvigionamento, nel caso di captazione da copertura, mentre può sostenere anche coltivazioni da produzione (oltre all'economia di autosufficienza) nel caso di captazione da terreno.

La Tabella 8.6 mostra il numero di persone che possono essere fornite con acqua piovana per scopi domestici.

A causa del fatto che l'acqua piovana delle captazioni da terreno non può essere raccomandata per bere, solo i bacini del tetto sono considerati nel seguente calcolo.

Volume di pioggia [m ³ /anno]	Domanda idrica domestica	
	20 l/persona/giorno	39 l/persona/giorno
27,8	3,8	2,0

Tabella 8.6 – Numero di persone il cui consumo idrico domestico può essere soddisfatto con acqua piovana

Si distinguono due casi: da un lato le raccomandazioni dell'OMS (2006) (20 litri pro-capite al giorno), dall'altro una stima dei residenti non verificata (39 litri pro-capite al giorno).

Come è possibile notare, l'acqua piovana da sole non copre completamente la domanda di acqua domestica all'interno dell'area di progetto, a cui è associato un numero di persone in famiglia variabile tra 5 e 15.

Nonostante questo, la raccolta delle precipitazioni può dare un contributo considerevole, riducendo il quantitativo idrico prelevato in modo tradizionale.

Conclusioni

È ragionevolmente sostenibile applicare tecniche decentrate di RWH in aree come Epyeshona.

Tra le alternative proposte, i sistemi RWH con serbatoi in cemento armato e prefabbricati si sono rivelati i più efficienti. In termini economici le due tipologie sono praticamente indistinguibili.

In termini monetari, le tecnologie proposte risultano competitive rispetto all'approvvigionamento idrico pubblico: i costi principali analizzati scendono al di sotto dei corrispondenti costi in caso di approvvigionamento idrico tradizionale entro la vita utile del sistema RWH.

In particolare, l'analisi di costo è stata condotta seguendo due opzioni:

- 1) valutazione dell'ammortamento dei costi totali di installazione del sistema RWH
- 2) valutazione dei costi primari di raccolta di un m³ di acqua piovana, confrontati con i prezzi di acqua attualmente in vigore

Per quanto riguarda le tipologie di serbatoio in cemento armato o prefabbricato, la prima analisi ha prodotto un costo di sistema ammortizzato in 5 anni considerando il prezzo dei rivenditori di acqua di 6,48 \$ al m³ (e tasso di ammortamento dell'8%) e in 28 anni considerando il prezzo dell'acqua da rubinetti privati di 1,26 \$ al m³ (e tasso di ammortamento del 3%).

La seconda analisi legata ai costi primari ha invece mostrato che i costi primari di un m³ di acqua piovana raccolta diventano minori dopo 4 anni rispetto al costo sostenuto per acqua da rivenditori al costo di 6,48 \$ al m³ e dopo 19 anni rispetto al costo sostenuto per acqua da rubinetti privati.

Dunque risulta economicamente fattibile l'introduzione di un tale sistema come fonte idrica complementare, considerando un tempo di vita utile del serbatoio in cemento armato (e prefabbricato) di 25 anni.

Nel caso di sistema RWH con captazione da terreno, la situazione è diversa:

in entrambe le analisi di costo studiate i risultati hanno mostrato che viene a mancare la convenienza economica dell'installazione del sistema.

Infatti, secondo l'analisi di ammortamento, il costo del sistema RWH con captazione da terreno verrebbe ammortizzato al 14 anno di vita considerando 6,48 \$ come prezzo dell'acqua (e tasso dell'8%) mentre stimando un prezzo dell'acqua pari a 1,26 \$ il tempo di ammortamento supererebbe di gran lunga i 50 anni.

Invece la seconda analisi mostra che i costi primari di un m³ di acqua piovana raccolta con questa metodologia diventerebbero minori dopo 8 anni di vita con prezzo acqua di 6,48 \$ e dopo 37 anni con 1,26 \$ come prezzo dell'acqua.

La convenienza economica rispetto ai sistemi di approvvigionamento idrico tradizionale è reale in entrambe le analisi solo considerando 6,48 \$ come prezzo dell'acqua, ossia principalmente nelle aree poco abitate del Paese dove i rivenditori di acqua risultano l'unica fonte di approvvigionamento idrico. La convenienza economica nei centri abitati come Epyeshona, invece, può essere ottenuta solamente facendo ricorso a incentivi: in termini numerici, un terzo dell'investimento totale dovrebbe essere fornito.

Questa tipologia particolare di sistemi RWH necessita di essere studiata in modo più approfondito attraverso una trattazione empirica.

L'analisi dei costi rappresenta soltanto uno dei criteri per valutare la fattibilità di un tale intervento. Sarebbe opportuno valutarne gli aspetti sociali, operativi e tecnici, attraverso metodologie di analisi multi-criterio, per poi dare una valutazione complessiva dell'efficienza raggiunta da tali sistemi.

8.4 Considerazioni finali

I due casi di studio di Paragrafo 8.1 (Pelak, Porporato, 2016) e di Paragrafo 8.2 (Okoye, Solyali, Akintug) considerano la possibilità di ottimizzare il dimensionamento del volume di cisterna di un sistema RWH attraverso un'analisi di costo.

Se le considerazioni proposte nella prima analisi (Pelak, Porporato, 2016) vengono espresse attraverso una trattazione più teorica, nel secondo studio (Okoye, Solyali, Akintug, 2015) l'analisi di costo concede spazio ad una trattazione più applicativa, considerando l'influenza di parametri specifici del sito. Attraverso questo studio, si giunge alla conclusione che il beneficio economico ottenuto dall'installazione di un sistema RWH aumenta con l'incremento della

superficie efficace di raccolta, con il consumo idrico giornaliero mentre si riduce all'aumentare del tasso di ammortamento. Inoltre la riduzione del costo unitario di costruzione ha un'influenza positiva sul beneficio finanziario netto (NFB) e un'informazione essenziale da conoscere al fine della minimizzazione dei costi è rappresentata dalla distribuzione delle precipitazioni su periodi temporali di media durata (mensile e, se possibile, giornaliera).

Anche nell'analisi di fattibilità economica in Namibia di Paragrafo 8.3 viene studiata l'influenza di alcuni fattori caratteristici del sito, seppur si tratti di un contesto completamente diverso da quello analizzato in precedenza. A differenza di Paragrafo 8.2 (Okoye, Solyali, Akintug, 2015), lo studio di Paragrafo 8.3 (Sturm et al., 2009) considera l'influenza della tipologia di materiale scelto per il serbatoio di raccolta sull'analisi di costo, concludendo che la soluzione migliore risulta essere il cemento armato. Inoltre confronta la tipologia di captazione idrica da copertura con la captazione da terreno.

La considerazione che si può trarre da tale studio è l'effettiva fattibilità economica di un sistema RWH nel contesto namibiano (ossia costi ammortizzati entro la vita utile della cisterna), con le prestazioni migliori raggiunte dall'utilizzo di cisterne in cemento armato e con captazione da copertura. A sorprendere è il fatto che anche in un contesto di emergenza idrica come la Namibia, alcune combinazioni di materiale scelto/tipologia di captazione assunta comportassero l'effettiva convenienza economica del sistema RWH solo nelle aree meno densamente popolate del Paese e non nei centri abitati.

Nel prossimo capitolo, viene ripreso il filo conduttore del capitolo corrente, analizzando la fattibilità economica di un intervento di installazione di un sistema RWH in un contesto residenziale italiano di piccole dimensioni. Il dimensionamento prevede l'applicazione della normativa nazionale vigente, mentre la valutazione economica conclusiva basa il confronto tra le due diverse opzioni su una valutazione di beneficio economico simile a quella introdotta nel Paragrafo 8.1 (Pelak, Porporato, 2016).

9. IPOTESI DI INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA RWH – edificio residenziale Alba (CN) 2018

9.1 Contatore di acqua potabile

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri della Repubblica italiana 4 marzo 1996 “Disposizioni in materia di risorse idriche”, pubblicato su Gazzetta Ufficiale il 14 marzo 1996, n. 62, S.O., obbliga ogni unità abitativa a dotarsi di un contatore di ripartizione di consumo idrico. Suddetto contatore deve rispondere ai requisiti fissati dal Decreto del Presidente della Repubblica 23 agosto 1982, n.854, recepente la direttiva comunitaria n.75/33.

Il Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 estende l’obbligo alle attività industriali e terziarie. Inoltre, il Codice Civile prevede che la ripartizione dei consumi idrici in un condominio debba basarsi sul consumo effettivo di ciascuna unità abitativa.

Nei condomini italiani la ripartizione delle spese per l’acqua viene fatta rispetto al valore millesimale dell’alloggio oppure in funzione del numero di persone per ciascun appartamento.

Infatti la sentenza della Cassazione 17557/2014 stabilisce che “la ripartizione delle spese della bolletta d’acqua, in mancanza di contatori di sottrazione installati in ogni singola unità immobiliare, deve essere effettuata, ai sensi dell’art. 1123 1° comma c.c., in base ai valori millesimali, sicché è viziata per intrinseca irragionevolezza, la delibera assembleare assunta a maggioranza che adottato il diverso criterio di riparto per persona in base al numero di coloro che abitano stabilmente nell’unità immobiliare, esenti dalla contribuzione i condomini i cui appartamenti siano rimasti vuoti nel corso dell’anno”.

Questa metodologia di ripartizione, ancora oggi la più diffusa tra gli edifici residenziali italiani, in particolar modo tra quelli di costruzione non recente, non giova al risparmio idrico in quanto il singolo utente non è incentivato ad utilizzare in modo più consapevole l’acqua dal momento che viene ripartita con tutti i condomini.

9.2 Analisi e monitoraggio dei consumi idrici di un condominio (Alba, CN – novembre 2018)

Sito di analisi

Il caso analizzato è un condominio situato ad Alba (CN), in Piemonte.

Le principali caratteristiche sono sintetizzate in Tabella 9.1, mentre un’immagine dell’esterno dello stabile è riportata in Figura 9.1.

Localizzazione	ALBA (CN)
Tipologia di edificio	Condominio residenziale
Ente gestore del servizio idrico	Egea
Numero piani	3 + scantinato
Attività commerciali al pianterreno	No
Totale superficie per piano	16,50x11,50 = 190 m ²
Totale superficie calpestabile	15,70x10,70 = 168 m ²
Totale n° appartamenti	6
Totale n° residenti	13

Tabella 9.1 – Caratteristiche dell’edificio analizzato



Figura 9.1 – Visione esterna dello stabile

L'abitazione è costituita da un piano cantina e da tre piani abitativi, i cui disegni tecnici sono stati recuperati dalla documentazione di condominio e riportati rispettivamente in Figura 9.2 e in Figura 9.3.

È stato riportato il disegno tecnico di un solo piano abitativo in quanto è lo stesso per tutti i livelli.

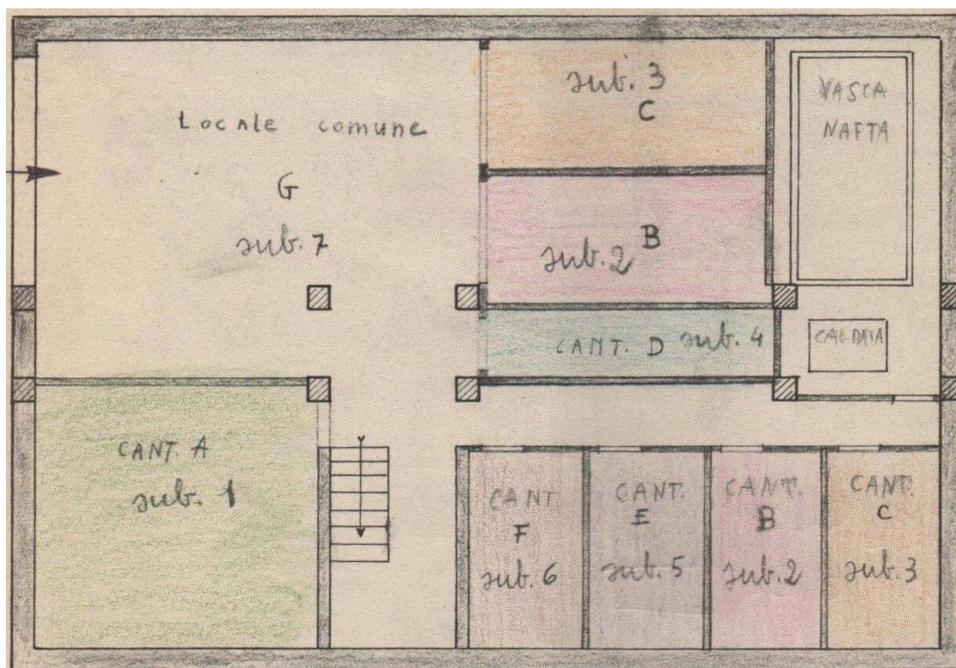


Figura 9.2 – Disegno tecnico della planimetria dello scantinato

Bilancio idrico a scala di edificio

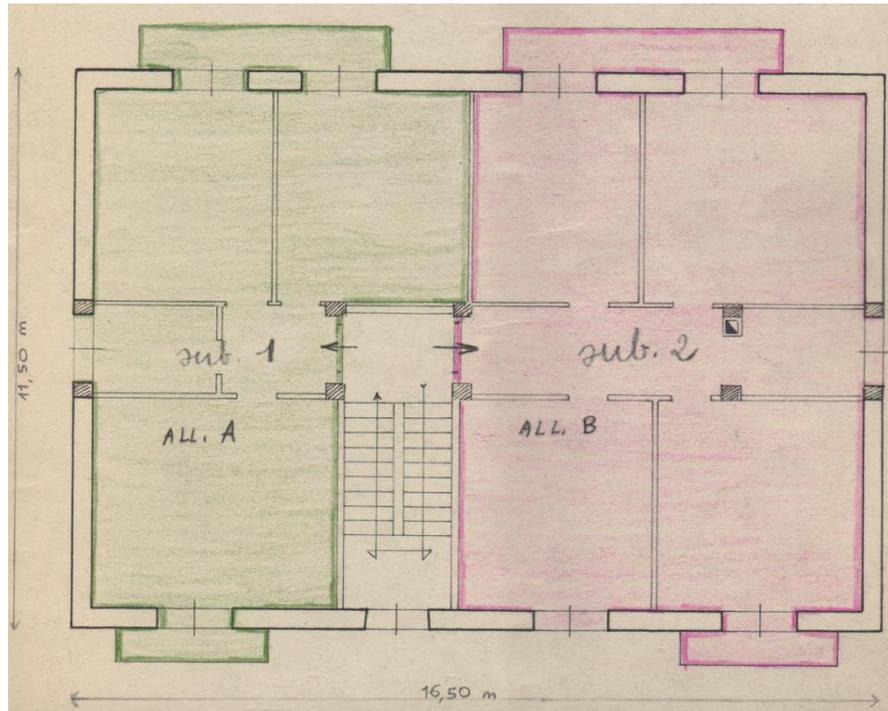


Figura 9.3 – Disegno tecnico della planimetria di un piano abitativo

Il livello abitativo di Figura 9.3 è costituito da due appartamenti:

- un'unità abitativa composta da tre camere ed un servizio, sulla sinistra (verde);
- un'unità abitativa di quattro camere ed un servizio, sulla destra (rosa).

In totale, sei è il numero di unità abitative. Essendo i consumi idrici domestici influenzati anche dal numero e dalla tipologia di residenti, di seguito in Tabella 9.2 viene riportato un quadro completo dell'utenza del condominio.

Piano	Posizione alloggio	Numero utenti	Tipologia utenti
1	Sx	2	Lavoratori
1	Dx	2	Pensionati
2	Sx	1	Studiante
2	Dx	2	Lavoratori
3	Sx	2	Lavoratori
3	Dx	4	3 lavoratori, 1 casalinga

Tabella 9.2 - Numero e tipologia dell'utenza

Dunque, dalla Tabella 9.2, si evince che l'utenza è costituita da 13 persone ed è così suddivisa:

- 9 lavoratori, impegnati con lavoro a tempo pieno dal lunedì al venerdì per 8 ore giornaliere (4 al mattino e 4 al pomeriggio);
- 2 pensionati;
- 1 studente;
- 1 casalinga.

Le ultime tre categorie riportate tendono a trascorrere la maggior parte del tempo in abitazione.

Monitoraggio dei consumi

L'edificio in questione è caratterizzato da un impianto idraulico tradizionale a collettore, sprovvisto di alcun tipo di sistema di raccolta e riutilizzo di acque di seconda qualità.

I consumi idrici vengono monitorati attraverso un unico contatore posizionato al piano cantina.

Inizio analisi	02/11/2018 – 00:00
Fine analisi	23/11/2018 – 00:00
Numero giornaliero di rilievi	7
Orari di rilevamento	00:00, 06:30, 08:30, 12:00, 14:00, 18:00, 20:00
Tipologia di contatore	A lancette
Sensibilità contatore	0,0001 m ³
Portata nominale	3,5 m ³ /h

Tabella 9.3 – La campagna di monitoraggio dei consumi

La durata di monitoraggio è stata complessivamente di 21 giorni, come evidenziato da Tabella 9.3. Si è optato per un'analisi plurisettimanale al fine di evidenziare con buona attendibilità la diversità di consumo tra giorni lavorativi e giorni festivi nel periodo autunnale, considerando lunedì, martedì, mercoledì, giovedì e venerdì come giorni lavorativi, sabato e domenica (ed eventuali festività) come giorni festivi.

La scelta degli orari giornalieri di rilevamento, riportati in Tabella 9.3, è nata con i seguenti obiettivi:

- monitorare tra le 06:30 e le 08:30 i consumi idrici mattutini, principalmente influenzati dallo stile di vita dei lavoratori e fare un confronto tra giorni lavorativi e giorni festivi;
- monitorare tra le 12:00 e le 14:00 i consumi idrici legati alla fase del pranzo;
- monitorare tra le 18:00 e le 20:00 i consumi idrici legati alla fase della cena;
- monitorare tra le 20:00 e le 24:00 i consumi idrici serali, evidenziando le differenze tra giorni lavorativi e giorni festivi.

La misurazione dei consumi domestici di acqua di rete è stata effettuata attraverso l'utilizzo del contatore posizionato al piano cantina, di cui è riportata un'immagine in Figura 9.3.

Non è stato possibile differenziare i consumi per singola unità abitativa in quanto gli appartamenti non sono dotati di contatori specifici: quello riportato in Figura 9.4 risulta essere il solo.

Per questo motivo, tutti i dati di consumo rilevati sono riferiti a scala di edificio e sono stati successivamente ripartiti in modo equo per ogni residente al fine di ottenere un valore medio pro-capite.

La sensibilità dello strumento è del decimo di millesimo di metro cubo e ciò ha limitato la precisione della valutazione dei consumi limitata al decimo di litro.

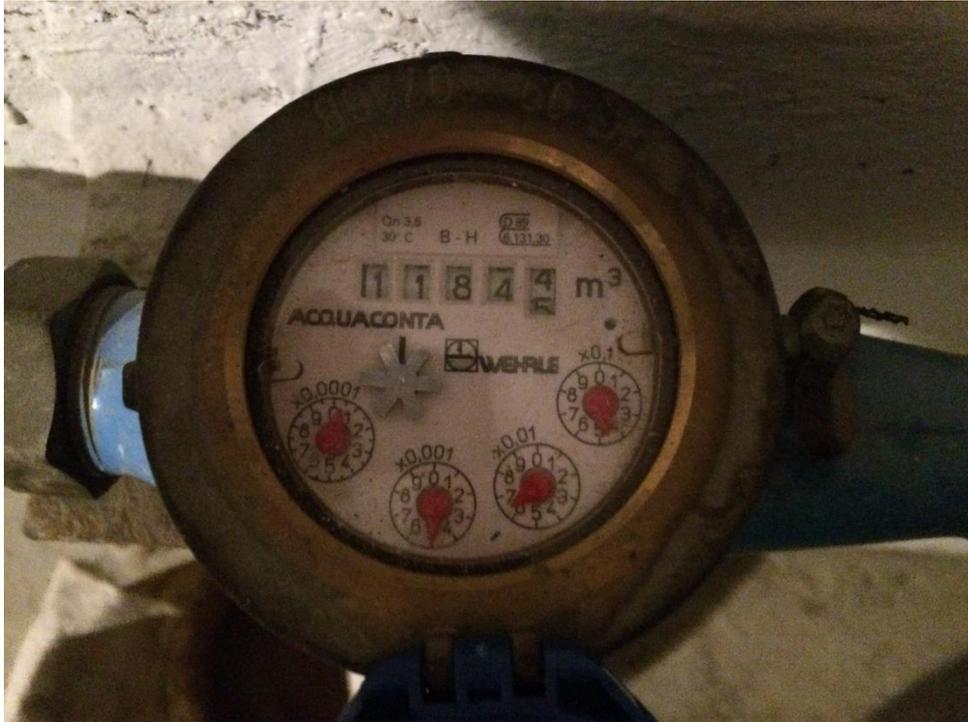


Figura 9.4 – Contatore idrico installato nello scantinato del condominio in esame

Analisi dei dati

I dati rilevati sono stati annotati e rielaborati all'interno di un foglio di calcolo Excel, riportato in allegato come "Monitoraggio dei consumi idrici - Via N. Sauro 8".

Per ogni giorno di rilevamento, è stata calcolata e rappresentata graficamente la progressione dei volumi cumulativi di consumo domestico.

Si è poi proceduto alla loro ripartizione per fascia oraria, al fine di evidenziare la distribuzione dei consumi nel corso della giornata. I risultati sono stati poi raffigurati con rappresentazione a colonna sia in metri cubi che in litri.

Infine i consumi sono stati convertiti in valori pro-capite mediante una tecnica approssimativa: i valori ottenuti sono stati meramente divisi per il numero totale di residenti, senza apporre alcuna diversificazione in funzione della tipologia di utente.

Di seguito in Figura 9.5 viene riportato un esempio dei grafici prodotti per ciascun giorno di misurazione.

Al termine della campagna di misurazione, i dati raccolti sono stati utilizzati per realizzare una media statistica di confronto tra il fabbisogno idrico dell'edificio nei giorni festivi e nei giorni lavorativi.

Bilancio idrico a scala di edificio

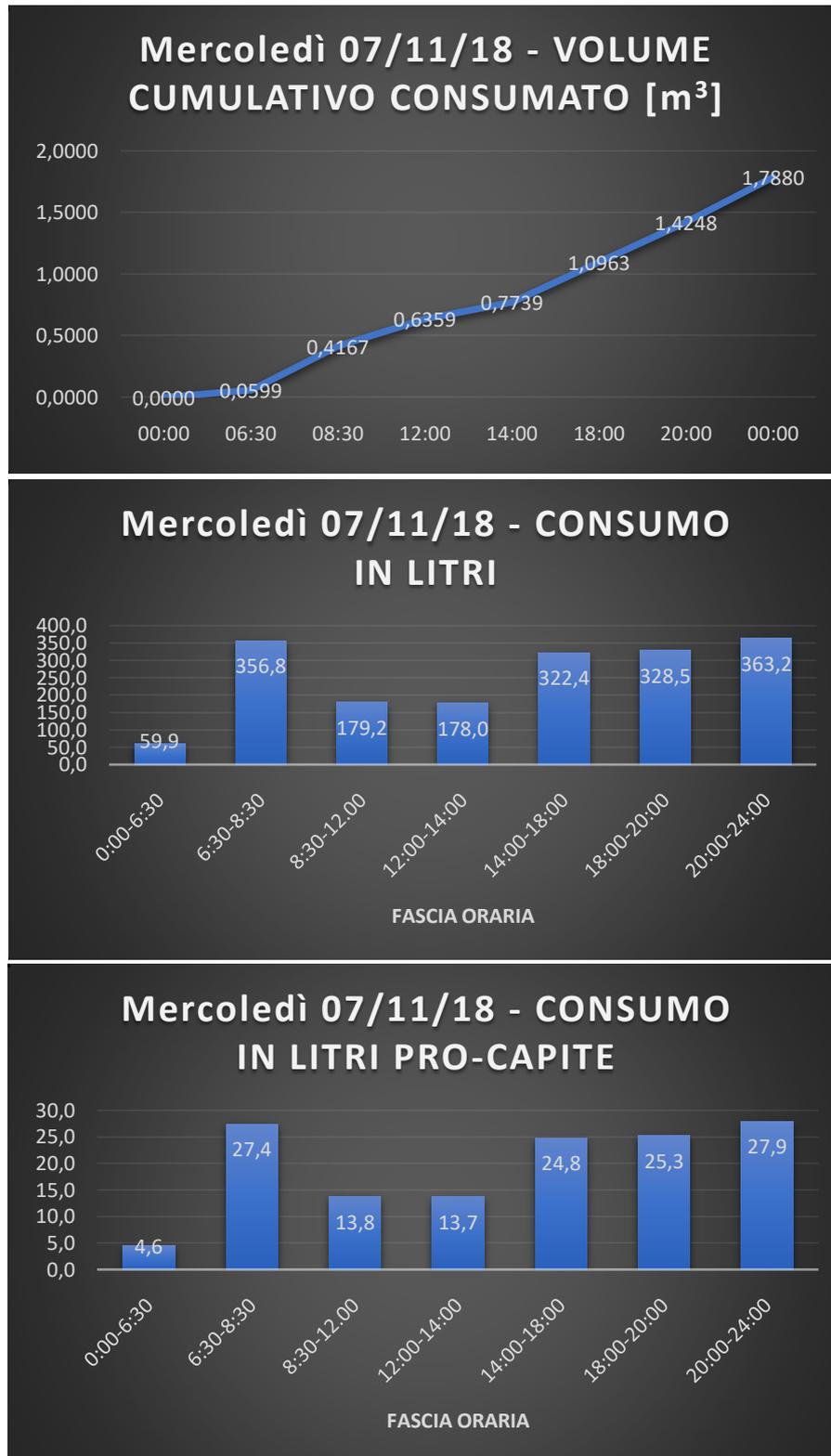


Figura 9.5– Esempio di grafici prodotti per singolo giorno di rilevamento

Al termine della campagna di misurazione, i dati raccolti sono stati utilizzati per realizzare una media statistica di confronto tra il fabbisogno idrico dell'edificio nei giorni festivi e nei giorni lavorativi.

La Figura 9.6 riporta l'andamento dei consumi idrici medi pro-capite suddivisi per fascia oraria, distinguendo tra giorno medio lavorativo (a) e giorno medio festivo (b).

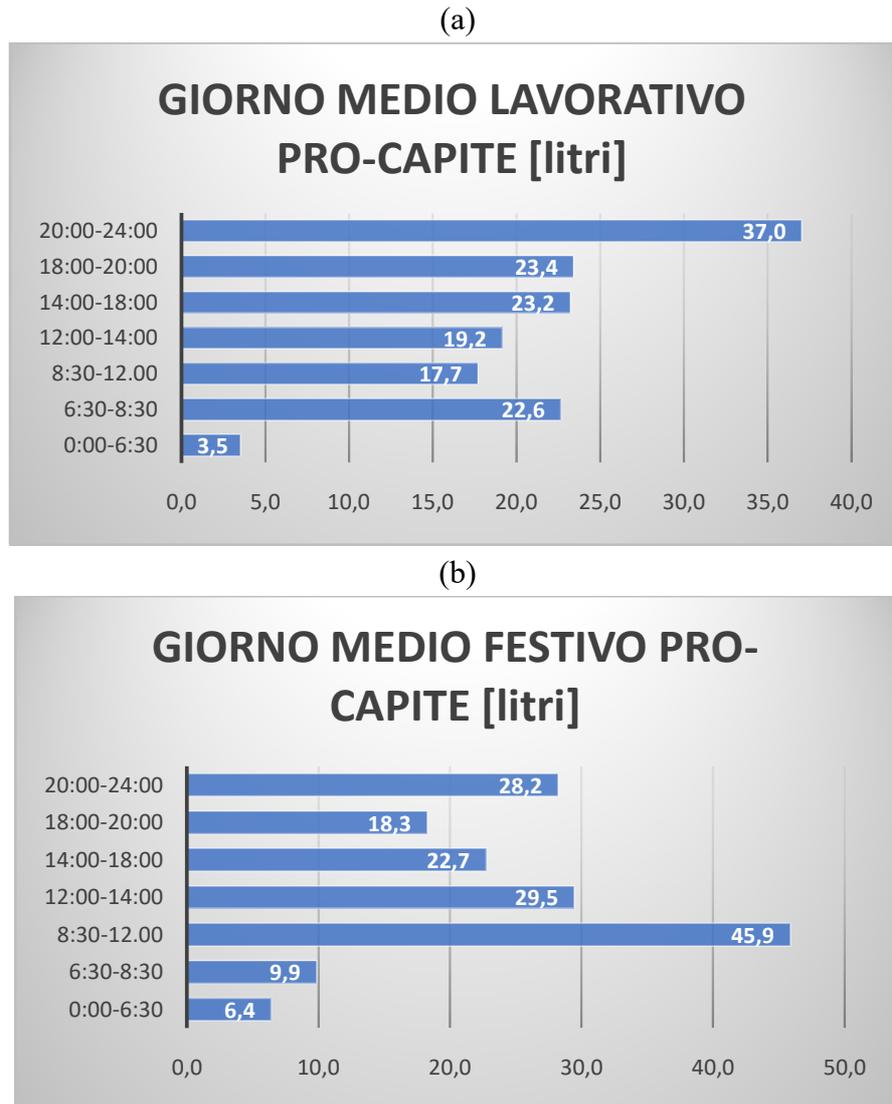


Figura 9.6 – Confronto dei consumi pro-capite per fascia oraria tra giorni lavorativi e festivi

Dal confronto tra le due rappresentazioni della Figura 9.5 risulta evidente che nella fascia oraria compresa tra le 06:30 e le 08:30 i consumi sono decisamente superiori in un tipico giorno lavorativo e questo è legato al fatto che la maggior parte degli utenti siano lavoratori a tempo pieno.

In realtà, la concentrazione di consumo idrico in un giorno lavorativo è massima nella fascia oraria serale (dalle 20 alle 24), e ciò è probabilmente legato all'utilizzo massiccio di docce e lavastoviglie.

Invece per quanto riguarda il fine settimana, gli utilizzi idrici risultano concentrati nella fascia oraria 08:30-12:00, con più del 30% del consumo totale giornaliero. Interessante, anche, è il dato di consumo notturno, che risulta essere quasi doppio nei giorni festivi (6,4 litri pro-capite nelle prime sei ore del giorno) rispetto ai giorni lavorativi (3,5 litri).

A livello complessivo, il consumo giornaliero medio pro-capite risulta essere di 146,6 litri per un giorno lavorativo e di 160,8 litri per un giorno festivo. La differenza percentuale tra i due casi

non è trascurabile (circa il 10%), sintomo del fatto che la tipologia dell'utenza ha un peso non trascurabile sui consumi idrici.

9.3 Dimensionamento di un serbatoio di raccolta di acque piovane

Viene prevista la possibilità di realizzare un sistema RWH per ridurre i consumi idrici condominiali. In fase decisionale, si decide di realizzare un'analisi sulla convenienza economica di tale intervento, in seguito a preventivo dimensionamento del serbatoio di raccolta.

Viene dunque prevista l'applicazione della specifica tecnica UNI/TS 11445:2012 per il dimensionamento del serbatoio di stoccaggio, riportata qui di seguito.

Il riferimento sul procedimento attuato si trova al Paragrafo 6.2 "CASO STUDIO 2: Dimensionamento impianto di raccolta di acqua piovana secondo la specifica tecnica UNI/TS 11445:2012".

Tale specifica tecnica prevede la raccolta di acqua piovana per un suo riutilizzo in consumi idrici domestici diversi dal consumo umano: scarico del gabinetto, lavanderia e irrigazione.

Nel caso in esame, non è previsto alcun sistema di irrigazione dunque il fabbisogno idrico per usi esterni è nullo.

Al fine del dimensionamento ottimale di cisterna, è richiesto il calcolo dell'afflusso meteorico annuo Q e della richiesta idrica totale annua per consumi diversi da quello umano R , rispettivamente secondo l'Equazione (6.4) e l'Equazione (6.5), consultabili in Paragrafo 6.2.

Per quantificare la richiesta di acqua ad uso diverso dal consumo umano la specifica tecnica UNI/TS 11445 propone diverse alternative. In questa analisi si considera l'unica che si riferisce agli utilizzi domestici reali: il valore di R può essere assunto pari al 30% del consumo idrico annuo effettivo.

Un anno si compone di 365 giorni, di cui 253 lavorativi e 112 festivi (sabato, domenica e festività) per l'anno corrente.

Considerando i valori medi di consumo idrico pro-capite, ottenuti dal monitoraggio, di 146,6 litri e 160,8 litri rispettivamente per giorni lavorativi e giorni festivi, il calcolo di R viene riportato di seguito, distinguendo tra valore pro-capite in Equazione (9.1) e valore per condominio in Equazione (9.2).

$$R_{procapite} = 0,30 \cdot (146,6 \cdot 253 + 160,8 \cdot 112) = 16530 \text{ litri} = 16,5 \text{ m}^3 \quad (9.1)$$

$$R = R_{procapite} \cdot 13 \text{ residenti} = 214 \text{ m}^3 \quad (9.2)$$

Per valutare l'afflusso meteorico annuo, come richiesto da specifica tecnica, è necessario conoscere: valore di altezza media annua di precipitazione, la proiezione orizzontale di superficie di captazione e il coefficiente di afflusso.

L'edificio presenta una copertura di tegole in laterizio con doppia falda di pendenza superiore al 3%, dunque facendo riferimento a Tabella 6.6, il valore di φ è di 0,80.

La superficie di captazione da considerare è limitata alla copertura dell'abitazione, la cui proiezione orizzontale può essere considerata in buona approssimazione pari alla superficie

totale di un piano abitativo (e non la superficie calpestabile). Da Tabella 9.1, il suo valore è di 190 m^2 .

Infine per la valutazione dell'altezza media annua di pioggia ci si riferisce al valore riportato dal sito web dell'Arpa (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, sezione "Osservazioni puntuali"), che nel periodo di monitoraggio compreso tra il 1951 e 1990 ha individuato un valor medio annuo di 786 mm per la città di Alba.

Il calcolo di afflusso meteorico annuo per l'edificio in analisi è riportato in Equazione (9.3).

$$Q = \varphi \cdot P \cdot A = 0,80 \cdot 786 \text{ mm} \cdot 190 \text{ m}^2 = 119472 \text{ litri} = 120 \text{ m}^3 \quad (9.3)$$

Il risultato di Equazione (9.3) rappresenta il volume potenziale di acqua piovana che la copertura dell'edificio è in grado di raccogliere.

La richiesta di acqua per usi domestici non potabili deve essere comparata all'afflusso meteorico annuo per il dimensionamento corretto del sistema di accumulo. Il volume utile, in assenza di informazioni dettagliate sul numero massimo di giorni secchi consecutivi in un anno medio ad Alba, viene assunto pari al 6% del valore minimo tra Q e R. In realtà, è possibile conoscere in questo caso il numero massimo di giorni con assenza di precipitazione ad Alba (ARPA, sezione "Osservazioni puntuali"), valutato nel periodo 1951-1990, ed esso corrisponde a 27. Dunque il volume utile risulta essere quello di Equazione (9.4).

$$V_u = \min(Q; R) \cdot \frac{27}{365} = 120 \text{ m}^3 \cdot 0,075 = 9 \text{ m}^3 \quad (9.4)$$

Il valore ottenuto dall'Equazione (9.4) assicura una buona efficienza del sistema RWH per periodi con assenza di precipitazioni di durata massima di 27 giorni.

Il volume ottimale di serbatoio si ottiene correggendo il risultato di Equazione (9.4) con un coefficiente di sicurezza che assicura una discreta efficienza anche con notevole variabilità della pluviometria locale.

$$V_o = V_u \cdot 1,5 = 9 \text{ m}^3 \cdot 1,5 = 13,5 \text{ m}^3 \quad (9.5)$$

Arrotondando per eccesso il valore ottenuto in Equazione (9.5), si considera l'installazione di una cisterna di raccolta d'acqua piovana di 14 m^3 .

Simulazione di bilancio idrico

Successivamente si procede a simulare il bilancio idrico annuale del sistema RWH ipotizzato, valutando mese per mese il volume di acqua accumulabile e la domanda idrica soddisfatta, con riferimento a Paragrafo 6.2, alla Tabella 6.7 (Ecoacque).

Dal semplice confronto tra i valori di R e Q calcolati rispettivamente in Equazione (9.2) e in Equazione (9.3), si osserva che la richiesta di acqua domestica per usi diversi dal consumo umano risulta essere quasi doppia rispetto all'afflusso meteorico annuo: dunque si prevede che l'efficienza del sistema RWH in programma sarà limitata.

Con riferimento a Tabella 9.4, i valori di altezza media di pioggia mensile sono stati recuperati dal sito web Arpa (sezione "Osservazioni puntuali"), mentre per la domanda domestica mensile

Bilancio idrico a scala di edificio

si è considerato un valore medio pari al totale annuo R diviso per il numero di mesi, come in Equazione (9.6).

$$R_{mensile} = \frac{R}{12} = \frac{214890 \text{ l}}{12} = 17908 \text{ l} \quad (9.6)$$

Infine L'afflusso meteorico annuo Q è stato calcolato mensilmente secondo l'Equazione (9.3); in Equazione (9.7) viene riportato l'esempio del mese di gennaio.

$$Q_{gennaio} = \varphi \cdot P_{gennaio} \cdot A = 0,80 \cdot 49 \text{ mm} \cdot 190 \text{ m}^2 = 7448 \text{ litri} \quad (9.7)$$

MESE	ALTEZZA DI PIOGGIA [mm]	AFFLUSSO MENSILE Q [l]	RICHIESTA MENSILE R [l]	BILANCIO MENSILE B [l]	VOLUME ACQUA ACCUMULABILE V _a [l]	VOLUME ACQUA RECUPERATA V _r [l]
Gennaio	49	7448	17908	-10460	-10460	7448
Febbraio	53	8056	17908	-9852	-20312	8056
Marzo	68	10336	17908	-7572	-27884	10336
Aprile	81	12312	17908	-5596	-33480	12312
Maggio	83	12616	17908	-5292	-38772	12616
Giugno	66	10032	17908	-7876	-46648	10032
Luglio	37	5624	17908	-12284	-58932	5624
Agosto	54	8208	17908	-9700	-68632	8208
Settembre	61	9272	17908	-8636	-77268	9272
Ottobre	82	12464	17908	-5444	-82712	12464
Novembre	92	13984	17908	-3924	-86636	13984
Dicembre	60	9120	17908	-8788	-95424	13984
BILANCIO ANNUO	786	119472	214890	-95424	NEGATIVO →VUOTO	119472

Tabella 9.4 – Bilancio idrico annuo del sistema RWH ipotizzato

Il valore di bilancio mensile B è calcolato come in Equazione (9.8).

$$B_{mese} = (Q - R)_{mese} \quad (9.8)$$

Mentre il parametro B si limita a confrontare i valori mensili di Q e R, il volume di acqua accumulabile V_a è una somma progressiva di risorsa idrica accumulata all'interno del serbatoio, dunque tiene conto anche della condizione in cui la cisterna si trova ad inizio del mese corrente. Il metodo di calcolo è esposto in Equazione (9.9).

$$V_{a,mese} = V_{a,mese \text{ precedente}} + B_{mese} \quad (9.9)$$

Infine il volume di acqua effettivamente recuperata V_r, pari al valore minimo tra richiesta idrica mensile R e afflusso meteorico mensile Q, valuta il volume effettivamente reintegrato per usi diversi dal consumo umano.

Bilancio idrico a scala di edificio

$$V_{r,mese} = \min(R_{mese}, Q_{mese}) \quad (9.10)$$

Alla luce dei risultati esposti in Tabella 9.4, innanzitutto si nota che tutti i valori di afflusso meteorico mensile sono inferiori al volume di cisterna precedentemente dimensionato.

Inoltre, risulta evidente che il bilancio idrico mensile della cisterna risulta essere negativo per tutti i mesi dell'anno, anche nella stagione primaverile ed autunnale in cui si hanno i picchi di piovosità. Questo risultato significa che in nessun mese dell'anno il serbatoio è in grado di essere autosufficiente.

Il mese peggiore risulta essere luglio, il cui afflusso meteorico è in grado di soddisfare soltanto il 31% della richiesta idrica mensile per consumi diversi da quello umano, mentre si ottiene il rendimento migliore nel mese di novembre, in cui la piovosità è più che doppia rispetto al mese di luglio e per cui il 78% della domanda idrica viene reintegrato con acque piovane.

La colonna di V_r , che rappresenta mensilmente la condizione di riempimento del serbatoio, presenta sempre valore negativo: dunque per ogni mese dell'anno, il valore di V_r relativo rappresenta il volume di acqua che deve essere reintegrato con acqua di rete dal sistema idrico municipale.

Infine l'ultima colonna mostra il volume di acqua effettivamente recuperato e riutilizzato per usi domestici diversi dal consumo umano e questo valore coincide sempre con l'afflusso meteorico mensile, in quanto la domanda mensile mai viene soddisfatta completamente.

La simulazione di bilancio idrico di Paragrafo 6.2, i cui risultati sono riportati in Tabella 6.7, mostrava un funzionamento differente del sistema RWH. Infatti, in quel caso, il bilancio mensile risultava positivo per ben sei mesi e questa condizione comportava una capacità di soddisfacimento totale della domanda idrica mensile per cinque mesi su dodici. Di conseguenza, il bilancio annuo non risultava avere valor negativo e, soprattutto, non coincideva con la differenza tra richiesta idrica annua R e afflusso meteorico annuo Q (come nel corrente caso). Al tempo stesso però, nel caso studio di Paragrafo 6.2 il volume totale di acqua recuperata e riutilizzata (ultima colonna) non coincideva con l'afflusso meteorico annuo, in quanto in alcuni mesi dell'anno si verificava la condizione di sfioro del serbatoio e parte della risorsa piovana veniva persa.

Nel caso in esame, invece, la domanda idrica è maggiore dell'afflusso meteorico per tutti e dodici i mesi, dunque tutta la risorsa idrica affluita sulla copertura (119472 litri) viene raccolta e riutilizzata e non si verifica mai la condizione di sfioro di acqua piovana dalla cisterna.

Quanto appena esposto risulta essere l'unico vantaggio del sistema RWH analizzato rispetto a quello studiato in Paragrafo 6.2.

Infine, il rendimento del sistema viene valutata utilizzando gli stessi indici percentuali visti in precedenza.

- Indice di efficienza idrica W_S

$$W_S = \frac{\text{Volume annuo di acqua recuperata } V_r}{\text{Richiesta idrica annua } R} \cdot 100 = \frac{119472}{214890} \cdot 100 = 55,60\% \quad (9.11)$$

- Indice di riduzione di sfioro come complementare dell'indice percentuale di sfioro in fognatura O_F . Il volume di sfioro si calcola come differenza tra l'afflusso meteorico annuo Q e il volume di acqua recuperata V_r .

$$100 - O_F = \left(100 - \frac{\text{Afflusso annuo } Q - \text{Acqua recuperata } V_r}{\text{Afflusso annuo } Q}\right) = \left(100 - \frac{0}{119472}\right) = 100\% \quad (9.12)$$

Il risultato di Equazione (9.11) mostra che più della metà della richiesta idrica annua per usi diversi dal consumo umano può essere soddisfatta dal sistema RWH. Si ricorda che, in fase di dimensionamento della cisterna, la richiesta idrica annua R era stata assunta in buona approssimazione pari al 30% della domanda idrica totale dell'edificio, ovvero considerando anche gli utilizzi per consumo umano.

Dunque, si giunge alla conclusione che l'installazione del serbatoio di raccolta dimensionato precedentemente è in grado di ridurre la richiesta di acqua di rete dal sistema idrico municipale del 15%.

Invece, il risultato di Equazione (9.12) mostra una totale minimizzazione del deflusso di acqua piovana nel sistema fognario. Infatti, essendo il serbatoio dimensionato in grado di contenere completamente gli eventi meteorici per tutta la durata dell'anno, il volume di acqua piovana che defluisce in fognatura senza essere stato riutilizzato nell'abitazione è nullo.

9.4 Valutazione di fattibilità tecnico-economica

Aspetti pratici

Prima di valutare la convenienza economica dell'intervento considerato tramite l'utilizzo di un'analisi di costo, ci si concentra su alcune questioni tecniche legate alla sua installazione.

Il sistema RWH progettato prevede la captazione delle acque piovane dalla copertura e il loro trasferimento al sistema di raccolta attraverso un sistema di grondaie. Trattandosi di un edificio esistente, esso non necessita dell'acquisto e dell'installazione di tale sistema perché ne è già dotato. Esso, però, trasporta le acque meteoriche direttamente nel sistema fognario: sarà dunque necessario prevedere un intervento sul sistema di trasferimento al fine di deviare il flusso piovano verso il serbatoio di raccolta.

La seconda questione tecnica da risolvere è il possibile intasamento delle grondaie, causato da accumulo di foglie e altri residui: per far fronte a tale problema, si prevede l'installazione di particolari filtri a pluviale, il cui funzionamento è descritto nei seguenti passaggi, correlati alla Figura 9.7.

- 1) Ingresso dell'acqua meteorica nel filtro;
- 2) deviazione delle foglie e dei residui verso lo scarico;
- 3) ingresso dell'acqua filtrata in cisterna;
- 4) deflusso dei residui in fognatura;
- 5) chiusura eccezionale invernale (in caso di temperature inferiori a -10°C) con cui deviare totalmente l'acqua piovana in fognatura.

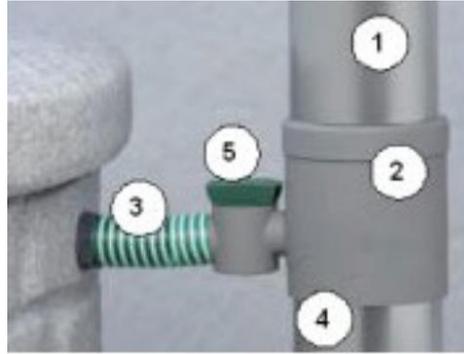


Figura 9.7 – Filtro a pluviale

In questo elaborato non è previsto un approfondimento sulla qualità dell'acqua riciclata, basandosi sul fatto che gli studi condotti finora non hanno rilevato grosse problematiche legate ad essa.

La terza questione tecnica da considerare è la necessità di modificare gran parte dell'impianto idraulico dell'edificio. È infatti necessario prevedere un “doppio impianto” (impianto idrico tradizionale e impianto di riciclaggio) per quegli apparecchi che utilizzano la risorsa idrica piovana, in modo tale che sia consentito il prelievo differenziato in funzione dei consumi e della disponibilità della cisterna di raccolta. Le tubazioni e i terminali dell'impianto di riciclaggio dovranno segnalare chiaramente la loro natura, in modo tale da non confondere l'impianto che trasferisce acqua di rete potabile con quello che trasporta acqua di seconda qualità.

Quarta ed ultima questione pratica da tenere in conto è il posizionamento del sistema di raccolta. Esso influisce sulla tipologia di sistema di distribuzione (con o senza sistema di pompaggio), sui costi di installazione, gestione, manutenzione e sul materiale impiegato. Escludendo la possibilità di installare il serbatoio fuori terra per indisponibilità di spazio, essendo l'edificio situato all'interno di un centro abitato, la scelta ricade tra posizionamento interno all'edificio o interramento. La cantina risulta essere l'unica opzione di posizionamento interno (si veda disegno tecnico di Figura 9.2): il problema legato a tale soluzione, però, è l'assenza di uno spazio comune tale da consentire l'installazione di un serbatoio dal volume di 14 m^3 .

L'opzione di interrare il serbatoio risulta invece essere migliore, seppur più onerosa, in quanto il condominio è dotato di un grande cortile posteriore rettangolare con estensione di circa 200 m^2 (20×10).

Dopo aver accertato la stabilità del sito, la sequenza di posa in opera è la seguente.

- Scavo in funzione della dimensione della cisterna. Si ricorda che va rispettata la regola “Distanze per pozzi, cisterne, fosse e tubi” (Articolo 889, Codice Civile) per cui la distanza di un qualunque serbatoio da un edificio deve essere di almeno 2 metri.
- Gettata di uno spessore di magrone dello spessore minimo di 10 cm. Non viene considerato il problema legato alla presenza di falde acquifere in quanto lo scavo raggiungerebbe una profondità massima pari a quella del piano cantina limitrofo.
- Introduzione del serbatoio attraverso il sistema di sollevamento scelto dal produttore.
- Innesto e sigillatura del passo d'uomo, ovvero il sistema di accesso al serbatoio.
- Installazione dei tubi di collegamento con l'impianto del condominio.
- Completamento dell'interramento, con disposizione di una piastra di calcestruzzo a livello del suolo per ripartire i carichi, secondo le disposizioni vigenti in caso di zona a transito di veicoli.

Applicazione di un'analisi di costo

Ricapitolando quanto fatto finora, si è proceduto al monitoraggio dei consumi idrici di un condominio di 3 piani, 6 appartamenti e 13 utenti per un periodo di 3 settimane. Sono quindi state prodotte delle statistiche di consumo idrico per differenti fasce orarie, distinguendo tra giorni lavorativi e giorni festivi. In seguito, con la finalità di ridurre tali consumi domestici, è stata considerata la possibilità di installare un serbatoio di raccolta di acque meteoriche, il cui dimensionamento ha seguito le indicazioni della specifica tecnica UNI/TS 11445 del 2012 ed è stato successivamente simulato un abbozzo di bilancio idrico per valutarne l'efficienza. Infine, sono state considerate alcune limitazioni pratiche, legate all'installazione di un tale sistema.

Ultimo passo da considerare in fase decisionale è la valutazione della convenienza economica dell'intervento, andando a confrontare i costi attuali di approvvigionamento idrico da fonte municipale con i costi ipotetici per soddisfare la domanda idrica di un edificio che prevede l'installazione del sistema RWH precedentemente dimensionato. I pochi studi a riguardo che sono stati condotti su territorio nazionale riportano che ad oggi l'installazione di sistemi RWH a livello di edificio ha una convenienza puramente ambientale e ciò è legato al prezzo contenuto dell'acquisto di acqua di rete. Si procede a verificare se questa tendenza è rispettata anche nel caso specifico in esame.

Analisi dei costi con impianto tradizionale

Prima di passare ad analizzare nello specifico le componenti di costo derivanti da un impianto idrico domestico misto (acqua di rete e riutilizzo acque piovane), è utile analizzare una bolletta media del condominio per avere un'idea del costo pagato annualmente per un sistema di approvvigionamento idrico basato totalmente sull'utilizzo di acqua di rete. Le spese annuali per acqua potabile di rete sono ripartite in due quote, una fissa di accesso al servizio e l'altra legata ai consumi effettivi.

La Figura 9.7 riporta il tariffario idrico di Tecnoedil S.p.A, il gestore del servizio idrico municipale di Alba e facente parte del gruppo Egea, in vigore nel 2018.

QUOTE FISSE	
Quote d'accesso al servizio	€/anno per U.I.
Acquedotto	17,63630
Fognatura	4,48927
Depurazione	11,65579
QUOTE LEGATE AL CONSUMO	
Acquedotto – uso domestico	Tariffa €/m³
Tariffa agevolata (da 0 a 60 m ³)	0,34118
Tariffa base (da 61 a 120 m ³)	1,04978
Tariffa 1° eccedenza (121-180 m ³)	1,31225
Tariffa 2° eccedenza (oltre 180 m ³)	1,78463
Fognatura	Tariffa €/m³
Tariffa unica	0,19952
Depurazione	Tariffa €/m³
Tariffa unica	0,57363

Tabella 9.5 – Tariffario idrico per la città di Alba nel 2018 [Fonte: Tecnoedil S.p.A]

Bilancio idrico a scala di edificio

Quota fissa

La quota di costo fisso è valutata per unità abitativa e presenta tre componenti: quota di accesso al sistema acquedottistico, quota di accesso al servizio fognario e quota di accesso al sistema di depurazione.

Essendo sei il numero di appartamenti di cui l'edificio è composto, il calcolo di quota fissa del condominio è riportato in Equazione (9.13).

$$\begin{aligned} C_{f,tot} &= 6 \cdot (C_{f,acquedotto} + C_{f,fognatura} + C_{f,depurazione}) = \\ &6 \cdot (17,64 + 4,48 + 11,66) \text{ €} = 202,68 \text{ €} \end{aligned} \quad (9.13)$$

Quota di consumo

Per poter valutare il costo in bolletta legato ai consumi idrici, è innanzitutto necessario conoscere il dato di fabbisogno idrico domestico annuo. In Equazione (9.14) è stata realizzata una stima di consumi idrici annui, considerando i valori medi pro-capite ricavati dall'analisi di monitoraggio di 146,6 litri nei giorni lavorativi e 160,8 litri nei giorni festivi e stimando un totale di 253 giorni lavorativi e di 112 festivi in un anno medio. Nella stima non si è tenuto conto della variabilità stagionale, dal momento che non si ritiene che essa abbia un'incidenza significativa sul dato. Il valore ottenuto dall'Equazione (9.14) viene poi diviso per il numero di unità abitative in Equazione (9.15).

$$R_{annua} = 13 \cdot (253 \cdot 146,6 + 112 \cdot 160,8) \text{ litri} = 716292 \text{ litri} = 716,30 \text{ m}^3 \quad (9.14)$$

$$R_{annua, U.A.} = \frac{R_{annua}}{6} = \frac{716,30 \text{ m}^3}{6} = 119,38 \text{ m}^3 \quad (9.15)$$

Confrontando il dato ottenuto in Equazione (9.15) con il tariffario idrico di Figura 9.7, risulta evidente che il condominio in questione rientra nella fascia Base di costo per servizio acquedottistico (consumi inferiori a 120 m³ annui per unità abitativa).

Il costo complessivo annuo per prelievo di acqua da rete acquedottistica $C_{v,acquedotto}$ si basa su una sommatoria a scaglioni, basata sulle diverse fasce tariffarie di Tabella 9.5. Il calcolo è mostrato in Equazione (9.16).

$$\begin{aligned} C_{v,acquedotto} &= 6 \cdot \left[60 \text{ m}^3 \cdot 0,34118 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + (119,38 - 60) \text{ m}^3 \cdot 1,04978 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = \\ &6 \cdot 82,81 \text{ €} = 496,86 \text{ €} \end{aligned} \quad (9.16)$$

Per ottenere la quota totale di costo legata ai consumi, sono da considerare anche le componenti di Equazione (9.17) e di Equazione (9.18), rispettivamente legate al costo dello scarico in fognatura e del sistema di depurazione di un m³ di acqua reflua. Il valore di volume idrico considerato non è stato diviso per unità abitativa in quanto la tariffa per rete fognaria e sistema di depurazione è unica.

Bilancio idrico a scala di edificio

$$C_{v,fognatura} = 716,30m^3 \cdot 0,19952 \frac{\text{€}}{m^3} = 142,92 \text{ €} \quad (9.17)$$

$$C_{v,depurazione} = 716,30m^3 \cdot 0,57363 \frac{\text{€}}{m^3} = 410,89 \text{ €} \quad (9.18)$$

Dunque, la quota di costo variabile complessiva del condominio $C_{v, tot}$ risulta essere quella calcolata in Equazione (9.19), mentre il costo totale C_{tot} che tiene conto sia di quota fissa che di quota variabile è riportato in Equazione (9.20).

$$\begin{aligned} C_{v,tot} &= C_{v,acquedotto} + C_{v,fognatura} + C_{v,depurazione} = \\ &(496,86 + 142,92 + 410,89)\text{€} = 1050,67 \text{ €} \end{aligned} \quad (9.19)$$

$$C_{tot} = C_{f,tot} + C_{v,tot} = (202,68 + 1050,67)\text{€} = 1253,35 \text{ €} \quad (9.20)$$

Al fine di realizzare una stima sulla convenienza economica proveniente dall'installazione di un sistema RWH, è necessario un confronto tra il costo totale per approvvigionamento idrico domestico con l'impianto tradizionale attuale (unica fonte idrica è costituita dall'acqua di rete pubblica) e il costo legato ad un funzionamento a doppio impianto. Per poter fare questo, è necessario estendere la spesa di bolletta idrica annua alla durata media di un sistema di raccolta di acque piovane.

Dunque, per poter realizzare il confronto, è necessario moltiplicare il costo annuo di Equazione (9.20) per la vita utile media di un sistema RWH, da considerarsi pari a 25 anni, come in Equazione (9.21).

Nel realizzare questo calcolo, si ipotizza per semplicità che i consumi ottenuti dal monitoraggio e il numero di residenti si mantengano costanti nei 25 anni di vita del condominio e si tiene conto dell'IVA al 10%.

$$C_{rete,tradizionale}_{,25} = 1,10 \cdot (C_{tot} \cdot 25) = 1,10 \cdot (1253,35\text{€} \cdot 25) = 34467,13 \text{ €} \quad (9.21)$$

Analisi dei costi con funzionamento a doppio impianto

Si procede dunque alla valutazione degli oneri legati all'installazione di un sistema RWH per l'intera durata del serbatoio stimata a 25 anni, in modo da poter realizzare un confronto con il valore di Equazione (9.20) basato sulla stessa scala temporale.

Al Capitolo 8 di questo elaborato sono riportati quattro casi studio che analizzano, seppur in contesti diversi, l'installazione di sistemi RWH dal punto di vista economico.

Si decide di fare riferimento ad uno di essi per il caso specifico in esame e la scelta ricade sul primo, ovvero l'analisi di costo proposta da Pelak e Porporato nel 2016 perché meglio si adatta alla scala di edificio.

Riprendendo velocemente quanto esposto al Paragrafo 8.1, lo scopo dell'analisi è volta al dimensionamento ottimale di un sistema RWH attraverso la minimizzazione della funzione costo.

Tale funzione si compone di due componenti: una quota fissa, che tiene conto dei costi di costruzione, manutenzione e gestione del sistema e una quota variabile, che è funzione del

quantitativo di acqua di rete di reintegro che il sistema necessita per soddisfare la domanda idrica per cui è stato progettato.

La componente di costo fisso, essendo legata ai costi di costruzione, dipende dal volume di cisterna da installare. La Figura 8.1 mostra l'andamento dei prezzi al variare del volume di serbatoio, ma tale andamento è espresso in dollari ed è legato al tariffario americano e quindi non adattabile al caso italiano. Dunque sono stati raccolti alcuni dati forniti da ditte specializzate in impiantistica di tipo idraulico in modo da costituire un quadro economico generale.

Il dimensionamento del serbatoio di raccolta al Paragrafo 9.3 ha portato ad un valore di 14 m^3 , pari a 14.000 litri, da realizzare in posizione interrata.

Ricercando sul catalogo di una nota azienda del settore, la soluzione che si presta al caso in esame è riportata in Figura 9.8.

Articolo	Volume utile lt.	Lunghezza mt	Larghezza mt	Alt. mt	Moduli base		N° Ispezioni standard	N° Ispezioni optional	Prolunghe	Prezzo €
					CTS3000	CCN3000				
MT15000	15040	8,84	1,55	1,71	2	3	2	3	PP77	6.980,00

Figura 9.8 – Caratteristiche del serbatoio di raccolta selezionato
[Fonte: sito web Rototec Spa]

Le dimensioni del serbatoio selezionato risultano essere compatibili con il posizionamento scelto (interrato sotto il cortile dell'edificio) e con una capacità conforme alle richieste di dimensionamento (circa 15 m^3). Il costo di acquisto risulta essere di 6980 €.

Gli ulteriori costi fissi legati all'installazione del sistema RWH sono principalmente: il costo di acquisto della pompa per il sollevamento dell'acqua piovana stoccata, stimato a 400 € e il costo di installazione delle tubazioni e manodopera, di circa 3000 € (Gruppo Hera, Progetto Hera Lab Ravenna “Bando di concorso di idee per il recupero delle acque meteoriche e reflue in ambito urbano”).

La componente totale di costo fisso è calcolata in Equazione (9.22).

$$C_{\text{fisso,RWH}} = C_{\text{cisterna}} + C_{\text{pompa}} + C_{\text{manodopera}} = (6980 + 400 + 3000) \text{ €} = 10380,00 \text{ €} \quad (9.22)$$

Invece, per quanto riguarda la componente di costo distribuita lungo la vita utile del sistema RWH è fondamentale conoscere il volume di acqua di rete che annualmente deve integrare l'azione del serbatoio per soddisfare la domanda idrica domestica, oltre che il prezzo dell'acquisto di acqua di rete e la durata di vita utile del sistema.

Con un impianto doppio del genere, la domanda idrica del condominio che annualmente il servizio pubblico municipale deve soddisfare è pari alla somma del fabbisogno idrico di acqua potabile (pari al 70% della domanda complessiva) e della domanda idrica per usi diversi dal consumo umano non soddisfatta dal serbatoio di raccolta. Si ricorda infatti che la specifica

Bilancio idrico a scala di edificio

tecnica UNI/TS 11445 fissava la domanda idrica per usi diversi dal consumo umano pari al 30% della domanda totale.

Per quanto riguarda la prima componente, l'Equazione (9.23) e l'Equazione (9.24) riportano rispettivamente il valore annuo e il valore totale su 25 anni.

$$R_{potabile,annuo} = 0,70 \cdot 13 \cdot (146,6 \cdot 253 + 160,8 \cdot 112) l = 501,40 m^3 \quad (9.23)$$

$$R_{potabile,25} = R_{potabile,annuo} \cdot 25 = 501,40 m^3 \cdot 25 = 12535,11 m^3 \quad (9.24)$$

Per quanto riguarda, invece, la domanda idrica per usi diversi dal consumo umano non soddisfatta dal sistema RWH, si fa riferimento a Tabella 9.4. Il valore di volume annuo non soddisfatto è pari a $95,42 m^3$, da estendere all'intera vita utile del sistema RWH, come in Equazione (9.25).

$$R_{non\ potabile,25} = 95,42 \cdot 25 = 2385,5 m^3 \quad (9.25)$$

Dunque le richieste di acqua di rete annuale e su 25 anni di vita risultano essere quelle calcolate rispettivamente in Equazione (9.26) e in Equazione (9.27). Successivamente il valore di richiesta annua di acqua di rete viene ripartita per le sei unità abitative presenti, in Equazione (9.28): è questo il valore da confrontare con la Tabella 9.5 per conoscere la fascia tariffaria acquedottistica corrispondente.

$$R_{rete,annuo} = R_{potabile,annuo} + R_{non\ potabile,annuo} = (501,40 + 95,42)m^3 = 596,82m^3 \quad (9.26)$$

$$R_{rete,25} = R_{potabile,25} + R_{non\ potabile,25} = (12535,11 + 2385,5)m^3 = 14920,61m^3 \quad (9.27)$$

$$R_{rete,annuo,U.A.} = \frac{R_{rete,annuo}}{6} = \frac{596,82m^3}{6} = 99,47 m^3 \quad (9.28)$$

Il risultato dell'Equazione (9.27) rappresenta il volume idrico complessivo che il condominio dotato di sistema RWH preleva dal servizio idrico municipale nei 25 anni considerati.

Il costo complessivo di acqua di rete è, nuovamente, suddiviso tra quota fissa e quota variabile.

Nella stima dei costi che si procede a realizzare, si suppone che i prezzi di Tabella 9.5 si mantengano invariati: pur non essendo un'ipotesi realistica, lo stesso è stato assunto per la valutazione dei costi utilizzando l'impianto tradizionale e l'attendibilità del confronto è garantito.

La quota fissa risulta essere la stessa calcolata in Equazione (9.13), moltiplicata per i 25 anni di vita in Equazione (9.29).

$$C_{f,25} = 25 \cdot 202,68 \text{ €} = 5067,00 \text{ €} \quad (9.29)$$

La quota legata ai consumi è nuovamente ripartita tra costi di acquedotto, fognatura e depurazione. In Equazione (9.30) è calcolata la quota legata all'utilizzo del servizio acquedottistico, seguendo la stessa metodologia a scaglioni di Equazione (9.16) ma con un

Bilancio idrico a scala di edificio

valore minore di richiesta idrica annua per unità abitativa ($99,47 \text{ m}^3$ e non $119,38 \text{ m}^3$). Il valore viene poi esteso ai 25 anni di durata del sistema, in Equazione (9.31).

$$C_{v, fognatura} = 6 \cdot \left[60 \text{ m}^3 \cdot 0,34118 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} + (99,47 - 60) \text{ m}^3 \cdot 1,04978 \right] =$$

$$6 \cdot 61,91 \text{ €} = 371,46 \text{ €} \quad (9.30)$$

$$C_{v, fognatura, 25} = C_{v, fognatura} \cdot 25 = 371,46 \text{ €} \cdot 25 = 9286,50 \text{ €} \quad (9.31)$$

Le componenti di costo variabile legate all'utilizzo del sistema fognario e del sistema di depurazione sono calcolate rispettivamente in Equazione (9.32) e in Equazione (9.33), già estese alla durata di 25 anni.

$$C_{v, fognatura, 25} = 596,82 \text{ m}^3 \cdot 0,19952 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 25 = 2976,94 \text{ €} \quad (9.32)$$

$$C_{v, depurazione, 25} = 596,82 \text{ m}^3 \cdot 0,57363 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \cdot 25 = 8558,85 \text{ €} \quad (9.33)$$

Il totale di costi variabili legati ai consumi di acqua di rete su 25 anni è calcolato in Equazione (9.34), che sommato al totale di costi fissi porta al valore di Equazione (9.35), in cui si tiene conto dell'IVA al 10%.

$$C_{v, tot, 25} = C_{v, fognatura, 25} + C_{v, fognatura, 25} + C_{v, depurazione, 25} =$$

$$(9286,50 + 2976,94 + 8558,85) \text{ €} = 20822,29 \text{ €} \quad (9.34)$$

$$C_{rete, RWH, 25} = 1,10 \cdot (C_{f, 25} + C_{v, tot, 25}) =$$

$$1,10 \cdot (5067,00 + 20822,29) \text{ €} = 28478,22 \text{ €} \quad (9.35)$$

Il risultato dell'Equazione (9.35) rappresenta il totale dei costi di acquisto d'acqua di rete che il condominio deve sostenere nei prossimi 25 anni nonostante abbia installato un sistema RWH.

Il valore di $28478,22 \text{ €}$ è ovviamente inferiore al risultato dell'Equazione (9.21) pari a $34467,13 \text{ €}$: il risparmio economico ricavato dall'aver ridotto il volume idrico prelevato in rete è pari $5988,91 \text{ €}$. La valutazione finale deve, però, tenere conto anche del costo fisso di costruzione, installazione, manutenzione $C_{fisso, RWH}$ calcolato in Equazione (9.22).

Il costo complessivo che il condominio deve sostenere nei 25 anni di vita utile del serbatoio risulta dunque essere pari alla sommatoria di costi fissi d'installazione del sistema RWH e costi d'acquisto di acqua di rete di reintegro al sistema, come calcolato in Equazione (9.36).

$$C_{tot, RWH, 25} = C_{rete, RWH, 25} + C_{fisso, RWH} = (28478,22 + 10380,00) \text{ €} = 38858,22 \text{ €} \quad (9.36)$$

Riprendendo il modello di analisi di costo di Paragrafo 8.1 (Pelak, Porporato, 2016), è possibile quantificare il beneficio economico B previsto dall'installazione di un sistema RWH secondo l'Equazione (8.7). Esso risulta essere pari alla differenza tra il costo atteso per soddisfare con fonti municipali la domanda idrica domestica garantita dal riutilizzo di acque piovane e il costo di cisterna $C_{\text{fisso, RWH}}$. Si ricorda che il costo di cisterna da utilizzare tiene conto non solo dell'acquisto della cisterna selezionata ma anche dei costi legato all'acquisto della pompa, delle tubazioni necessarie e della manodopera. Il risparmio economico di acqua di rete ottenuto con l'installazione di un sistema RWH è pari alla differenza tra il risultato di Equazione (9.21) ed il risultato di Equazione (9.35), mentre il costo fisso di installazione del sistema fa riferimento ad Equazione (9.22).

$$B = C_{\text{risparmio, rete}} - C_{\text{fisso, RWH}} = (C_{\text{rete, tradizionale, 25}} - C_{\text{rete, RWH, 25}}) - C_{\text{fisso, RWH}} =$$

$$(34467,13 - 28478,22)\text{€} - 10380\text{€} = -4391,09 \text{ €} \quad (9.37)$$

La metodologia di calcolo di Equazione (9.37) è la relazione fondamentale dell'analisi di costo, che determina la convenienza economica o meno dell'intervento ipotizzato.

Il risultato riporta un valore negativo di quasi tremila euro, mostrando come i costi di acquisto di acqua di rete risparmiati nel corso della vita utile di un sistema RWH non sono sufficienti ad ammortizzare i costi legati all'intervento.

Ricapitolando, i costi totali da sostenere in 25 anni dalle due tipologie di funzionamento proposte sono:

- impianto idraulico tradizionale 34467,13 € con riferimento a Equazione (9.21);
- doppio impianto con sistema RWH 38858,22 € con riferimento a Equazione (9.36).

La perdita economica con la seconda soluzione è di 4391,09 €, pari al 12,74% del costo sostenuto mantenendo l'impianto idraulico corrente.

Il sistema RWH ipotizzato non risulta finanziariamente conveniente e l'unica motivazione che potrebbe convincere i condomini ad installarlo è quella ecologico-ambientale.

Il risultato ottenuto da questa analisi economica è difficile da generalizzare ad un qualsiasi contesto italiano in quanto dipende dalla superficie utile di captazione, dal regime di precipitazioni del sito, dal tariffario idrico del Comune: non si può dunque affermare con certezza che un sistema RWH risulta economicamente sconveniente sempre e comunque.

È possibile, però, soffermarsi sul peso notevole del prezzo dell'acqua di rete del sito in questione sul risultato finale: se l'aumento dei prezzi del tariffario idrico dovesse aumentare così come è avvenuto nell'ultimo decennio, l'analisi di fattibilità economica verrebbe notevolmente modificata ed il risultato potrebbe essere stravolto.

Per dare un'idea dell'incremento che il prezzo dell'acqua ha subito negli ultimi 5 anni nel Comune di Alba, la Tabella 9.6 riporta il confronto tra il tariffario idrico proposto da Tecnoedil S.p.A nel 2013 con quello attuale del 2018.

Bilancio idrico a scala di edificio

QUOTE FISSE		
Quote d'accesso al servizio per U.I.	2013	2018
Acquedotto	13,44 €/anno	17,64 €/anno
Fognatura	2,88 €/anno	4,49 €/anno
Depurazione	7,68 €/anno	11,66 €/anno
QUOTE LEGATE AL CONSUMO		
Acquedotto – uso domestico	2013	2018
Tariffa agevolata (da 0 a 60 m ³)	0,260 €/m ³	0,341 €/m ³
Tariffa base (da 61 a 120 m ³)	0,820 €/m ³	1,050 €/m ³
Tariffa 1° eccedenza (121-180 m ³)	1,150 €/m ³	1,312 €/m ³
Tariffa 2° eccedenza (oltre 180 m ³)	1,360 €/m ³	1,785 €/m ³
Fognatura	2013	2018
Tariffa unica	0,140 €/m ³	0,199 €/m ³
Depurazione	2013	2018
Tariffa unica	0,379 €/m ³	0,574 €/m ³

Tabella 9.6 – Aumento del tariffario idrico del Comune di Alba dal 2013 al 2018

[Fonte: Tecnoedil S.p.A - Gruppo EGEA]

Tutte le componenti di costo hanno subito un incremento nel corso dei cinque anni, con picchi del 40% nel caso del totale di quote fisse. Anche tutte le fasce tariffarie legate al consumo di acqua da rete pubblica sono aumentate, con picchi del 30%. Tra di esse, la tariffa di 1° eccedenza risulta essere quella che ha subito l'aumento più contenuto (+14%).

10. CONCLUSIONI E COMMENTI

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di analizzare il problema della disponibilità idrica in continua decrescita ad una scala ridotta, quella dell'edificio residenziale. Dopo una rapida introduzione sull'andamento e sulle cause della riduzione dei volumi idrici a scale spaziali di dimensioni maggiori, l'elaborato si è concentrato a livello domestico, riportando un paio di studi recenti e volti all'approfondimento del tema del bilancio idrico domestico a livello analitico.

Entrambe le soluzioni riportate hanno introdotto nella trattazione analitica volumi idrici di recupero in modo dettagliato: se la prima soluzione si è concentrata prevalentemente sulla raccolta delle acque meteoriche e su quali parametri introdurre per valutarne l'efficacia, la seconda ha considerato uno schema di impianto idraulico più generale possibile, valutando la possibilità di recuperare e trattare le acque grigie chiare in serbatoi specifici per poi confluire nel serbatoio finale che raccoglie anche le acque meteoriche.

Una volta chiarito il tema centrale, la scelta dell'autore è stata quella di orientare la direzione dell'elaborato verso una trattazione ecologico-ambientale del bilancio idrico a scala residenziale, affrontando alcuni casi studio che hanno proposto soluzioni innovative a riguardo. Sebbene al giorno d'oggi, in particolar modo su suolo nazionale, l'impiantistica idraulica della maggior parte degli edifici risponde ancora alla necessità assoluta di rifornirsi dall'acquedotto della zona, la convinzione è quella che in un futuro neanche troppo lontano l'emergenza idrica porterà i governi a prevedere obbligatoriamente l'installazione di sistemi alternativi di approvvigionamento idrico al fine di massimizzare l'autosufficienza di ciascun edificio. Ad oggi, esistono dei protocolli di sostenibilità ambientale per edifici di nuova costruzione e di ristrutturazione che inseriscono il tema dell'acqua ma in percentuali ridotte; inoltre, il carattere di tali certificazioni è di tipo volontario, ovvero non viene imposto alcun obbligo sull'adozione e sul superamento di un punteggio minimo per ottenere la certificazione.

In assenza di politiche ambientali volte a incentivare la diffusione massiccia di soluzioni "green" a favore della riduzione dei consumi idrici, l'aspetto economico legato ad esse è ancora completamente a carico dell'utenza e si è dunque ritenuto opportuno affrontare il tema della fattibilità economica di tali sistemi attraverso l'approfondimento di alcuni studi realizzati a riguardo.

Il lavoro svolto fino a questo non è stato fine a sé stesso: infatti nel capitolo conclusivo si è concretizzata l'idea di valutare l'installazione di un sistema di riutilizzo delle acque piovane per un tipico edificio residenziale di medie dimensioni all'interno di un centro abitato italiano. L'analisi iniziale, volta al monitoraggio e alla determinazione dei consumi idrici dell'utenza, ha fornito informazioni specifiche necessarie per il dimensionamento di un serbatoio di raccolta, realizzato secondo una procedura riportata precedentemente come caso studio. La simulazione del bilancio idrico annuo del sistema RWH ha consentito di valutare l'efficienza del sistema sia da un punto di vista di risparmio idrico che di riduzione di deflusso in fognatura. Lo scopo finale dello studio condotto era la valutazione della fattibilità economica di tale sistema, dunque, in seguito ad una campagna di raccolta di informazioni sui costi di materiale, manodopera e sul prezzo attuale di acqua potabile, è stata applicata un'analisi di costo, descritta precedentemente nell'elaborato, all'intervento ipotizzato. L'analisi di impronta economica condotta è stata incentrata sul confronto dei costi da sostenere mantenendo nel condominio l'impianto idraulico tradizionale con i costi derivanti dall'installazione di un sistema RWH, con scala temporale pari alla vita utile del serbatoio.

L'intervento non è risultato economicamente conveniente, mostrando come i costi di acquisto ed installazione del sistema di raccolta non vengono compensati dal risparmio ottenuto riducendo l'acquisto di acqua di rete nel corso della vita utile dello stesso. Tale risultato pare essere in linea con quanto trovato in letteratura, dove viene sostenuto che il prezzo attuale dell'acqua (soprattutto in Italia) rende improbabile la diffusione di sistemi di riutilizzo di acque di seconda qualità. Bisogna, però, tenere in conto di alcune limitazioni che hanno interessato l'analisi condotta.

Innanzitutto non è stato possibile ricavare i consumi per singola unità abitativa a causa della presenza di un unico contatore condominiale; inoltre, non essendo stato possibile neanche differenziare i consumi in funzione dei diversi usi domestici, la domanda idrica da soddisfare con acqua piovana raccolta è stata semplicemente assunta pari ad una percentuale della domanda totale, come da specifica tecnica.

A proposito di analisi economica, un'altra semplificazione è stata assunta per quanto concerne il tariffario idrico municipale, considerando i valori di riferimento dell'anno corrente (acquedotto, fognatura, depurazione) come costanti per tutta la durata di funzionamento del sistema RWH. In realtà, negli ultimi anni, il prezzo dell'acqua di rete ha subito un incremento esponenziale e pare che la tendenza non abbia intenzione di invertirsi.

Inoltre, i risultati sul dimensionamento evidenziano come la variazione di uno dei parametri considerati possa incidere notevolmente sull'efficienza del sistema RWH: un aumento di superficie impermeabile (maggiore area di copertura) piuttosto che una diversa localizzazione del sito (con conseguente diversa piovosità locale) sono alcuni dei fattori che possono stravolgere il risultato dell'analisi.

Un'ultima variabile che è necessario considerare è la scelta del volume di serbatoio da installare: al fine di rispettare le indicazioni di dimensionamento della UNI/TS 11445 del 2012, si è scelto una particolare cisterna capace di immagazzinare completamente la risorsa piovana in qualunque periodo dell'anno. Un possibile sviluppo futuro della questione potrebbe consistere nell'applicazione della stessa analisi considerando un serbatoio dalle dimensioni minori e meno costoso, per valutare se la riduzione del costo fisso legato all'acquisto del serbatoio ha un peso determinante sul costo totale.

In conclusione, lo studio di dimensionamento e fattibilità tecnico-economica di un sistema RWH lascia spazio ad ampi margini di miglioramento, sia in termini di accuratezza dell'analisi sia in termini di ottimizzazione dell'efficienza ma soprattutto in termini di convenienza economica, in quanto è improbabile ipotizzare un arresto nell'aumento del prezzo dell'acqua potabile di rete.

In un futuro prossimo, il cosiddetto "oro blu" è destinato inesorabilmente a diventare un bene sempre meno disponibile e per questo prezioso e ciò avrà una diretta conseguenza anche sul bilancio idrico a scala di edificio: uno degli obiettivi principali che si tenterà di raggiungere sarà quello di rendere le abitazioni il più possibile autosufficienti in termini idrici, attraverso dispositivi di risparmio idrico, sistemi di raccolta delle acque meteoriche ma soprattutto attraverso il riutilizzo delle acque reflue domestiche prodotte. Infatti il volume di acque grigie prodotto da un edificio rappresenta una componente notevole del bilancio idrico domestico e gran parte di essa, che defluisce in fognatura e che viene quindi irreversibilmente persa, avrebbe ancora grandi potenzialità da sfruttare. Interessante sarà quindi ottimizzare i progetti volti all'autosostentamento idrico degli edifici agendo sui sistemi di trattamento da prevedere e sui volumi di acqua "sporca" da riutilizzare.

11. BIBLIOGRAFIA

Abramowitz M., Stegun I.A., 1972. *Handbook of Mathematical Functions*. 9th Printing, National Bureau of Standards Publications.

Agudelo-Vera C.M., Mels A.R., Keesman K.J., Rijnaarts H.H., 2012. *The Urban Harvest Approach as an Aid for Sustainable Urban Resource Planning*. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 6, p. 839-850.

Agudelo-Vera C.M., Keesman K., Mels A., Rijnaarts H., 2013, *Evaluating the Potential of Improving Residential Water Balance at Building Scale*. *Water Research*,v. 47,p. 7287-7299.

Aladenola O.O., Adeboye O.B., 2010. *Assessing the Potential for Rainwater Harvesting*. *Water Resources Management*, v. 24, p. 2129-2137.

Bizzarri A., Di Federico I., Di Federico I., Mazzacane S., 2000. *Reti di Distribuzione Idrica Urbana: Indagine di Affidabilità*. Franco Angeli, Milano.

Campisano A., Modica C., 2008. *Experimental Investigation on Water Saving by the Reuse of Washbasin Grey Waters for WC Flushing*. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.

Campisano A., Modica C., 2011. *Regional Evaluation of the Performance of Rooftop Rain Water Harvesting Systems for Domestic Use*. *Proceedings of 12nd International Conference of Urban Drainage*, Porto Alegre.

Campisano A., Modica C., 2012. *Regional Scale Analysis for the Design of Storage Tanks for Domestic Rainwater Harvesting Systems*. *Water Science & Technology*.

Conte G., 2008. *Nuvole e Sciacquoni*. Edizioni Ambiente, Milano.

Daly E., Porporato A., 2006. *Impact of Hydroclimatic Fluctuations on the Soil Water Balance*. *Water Resources Research*, v. 42 n. 6.

Deffner J., Mazambani C., Klintonberg P., Nantanga K., Moser-Norgaard P., Seely M., 2008. *Selected Results from Socio-ecological Participatory Situation Assessments in Two Sites in Central Northern Namibia*. CuveWaters Paper n. 3, Institute for Social-Ecological Research, Frankfurt, Germany.

Farreny R., Morales-Pinzòn T., Guisasola A., Tayà C., Rieradevall J., Gabarrell X., 2011. *Roof Selection for Rainwater Harvesting: Quantity and Quality Assessments in Spain*. *Water Research*, v. 45, n. 10, p. 3245-3254.

- Fanizzi L., 2008. *Gli Impianti Urbani per lo Sfruttamento dell'Acqua Meteorica di Dilavamento*. L' Ambiente, Ed. Ranieri, Milano.
- Fewkes A., 2000. *Modelling the Performance of Rainwater Collection Systems: towards a Generalized Approach*. Urban Water, v. 1, n. 4, p. 323-333.
- Foekema H., van Thiel L., 2011. *Watergebruik Thuis 2010*. VEWIN, Amsterdam.
- Ghimire S.R., Barkdoll B.D., 2007. *Incorporating Environmental Impact in Decision Making for Municipal Drinking Water Distribution Systems through Eco-Efficiency Analysis*. World Environmental and Water Resources Congress.
- Gould J., Nissen-Petersen E., 2003. *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply – Design, Construction and Implementation*. ITDG Publishing, London.
- Hunt J., Anda M., Ho G., 2011. *Water Balance Modelling of Alternate Water Sources at the Household Scale*. Water Science & Technology.
- Kluge T., Liehr S., Lux A., Moser P., Niemann S., Umlauf N., Urban W., 2008. *IWRM Concept for the Cuvelai Basin in Northern Namibia*. Physics and Chemistry of the Earth v. 33, p. 48-55.
- Logan J.D., 2013. *Applied Mathematics*. Fourth Edition, John Wiley & Sons.
- Milly P., 1993. *An Analytic Solution of the Stochastic Storage Problem Applicable to Soil Water*. Water Resources Research, v. 29, n. 11, p. 3755-3758.
- Nantanga K., Mazambani C., Kruger B., 2007. *Small Scale Irrigation and Aquaculture in Central Northern Namibia*. Unpublished Technical Report, Desert Research Foundation of Namibia, Windhoek.
- Okoye C.O., Solyali O., Akintug B., 2015. *Optimal Sizing of Storage Tanks in Domestic Rainwater Harvesting Systems: A Linear Programming Approach*. Resources, Conservation and Recycling, v. 104, p. 131-140.
- Pelak N., Porporato A., 2016. *Sizing a Rainwater Harvesting Cistern by Minimizing Costs*. Journal of Hydrology, v. 541, p. 1340-1347.
- Rizzo A., 2015. *Soluzioni basate sulla natura e riuso delle acque reflue*. Iridra Srl.
- Rodríguez-Iturbe I., Porporato A., 2004. *Ecohydrology of Water-Controlled Ecosystems: Soil Moisture and Plant Dynamics*. Cambridge University Press.
- Sturm M., Zimmermann M., Schütz K., Urban W., Hartung H., 2009. *Rainwater Harvesting as an Alternative Water Resource in Rural Sites in Central Northern Namibia*. Physics and Chemistry of the Earth, v. 34, p. 776-785.

12. BIBLIOGRAFIA WEB

creativecommons.org

durhamnc.gov

geodata.grid.unep.ch

<http://pti.regione.sicilia.it>

smarthome.duke.edu

www.ambienteitalia.it

www.arpa.piemonte.it

www.arpae.it

www.breeam.com

www.census.gov

www.comune.castelveccana.va.it

www.condominioweb.com

www.dmi.dk

www.dst.dk

www.ecoacque.it

www.edilio.it

www.gbcitalia.org

www.giorni-lavorativi.com

www.globalwaterintel.com

www.green.it

www.gruppohera.it

www.ilsole24ore.com

www.infobuildenergia.it

www.iridra.eu

www.irsa.cnr.it

www.istat.it

www.itaca.org

www.lifegate.it

www.provincia.va.it

www.raccoltaacquapiovana.it

www.rainharvest.com

www.regione.piemonte.it

www.rototec.it

www.uni.com

www.usgs.gov

www.watercorporation.com

www.worldbank.org