POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Prestazioni dei sistemi di raccolta delle acque piovane ad uso domestico al variare delle condizioni di esercizio

Original
Prestazioni dei sistemi di raccolta delle acque piovane ad uso domestico al variare delle condizioni di esercizio / Carollo, M., Butera, I.. - ELETTRONICO. - (2024), pp. 315-318. (XXXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - IDRA2024 Parma 15-18 Settembre 2024) [10.5281/zenodo.13584918].

Availability:
This version is available at: 11583/2992905 since: 2024-09-30T08:37:40Z

Publisher:
XXXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - IDRA2024; Dipartimento di Ingegneria e

Published
DOI:10.5281/zenodo.13584918

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

11 October 2026

PRESTAZIONI DEI SISTEMI DI RACCOLTA DELLE ACQUE PIOVANE AD USO DOMESTICO AL VARIARE DELLE CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Matteo Carollo e Ilaria Butera

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture – Politecnico di Torino

ASPETTI CHIAVE

- *Scostamenti dai parametri di progetto inducono variazioni di efficienza crescenti al crescere dell'area di tetto pro capite*
- *Scostamenti dal numero di abitanti e/o dal consumo pro capite assunti in sede di progetto, se protratti nel tempo, inducono notevoli variazioni di efficienza*
- *Le analisi preliminari con scenari di cambiamento climatico mostrano un impatto limitato sul dimensionamento e sull'efficienza dei sistemi di raccolta delle acque piovane per uso domestico*

1 INTRODUZIONE

La raccolta d'acqua piovana per un suo uso all'interno degli edifici è una delle strade che si possono percorrere per una maggior sostenibilità nell'uso delle risorse idriche (risparmio d'acqua potabile) e al tempo stesso per limitare gli effetti che eventi estremi di precipitazione possono avere in ambito urbano (allagamenti), come auspicato dall'Organizzazione delle Nazioni Unite (*ONU,* 2015). Un corretto dimensionamento della cisterna di accumulo dell'acqua piovana è fondamentale per ottenere buone performance del sistema di raccolta; tuttavia, in sede di progetto non sono totalmente note le condizioni in cui verrà ad operare il sistema di raccolta (fase di esercizio), quindi il dimensionamento della cisterna avviene sulla base di ipotesi.

In fase di progetto, il consumo idrico viene molto spesso considerato costante nel tempo, quando invece esso può presentare variabilità (*Carollo et al.*, 2022*; Palla et al.*, 2011*; Fewkes*, 2000). Infatti, se si considerano come consumi d'acqua per uso non potabile solo quelli relativi al risciacquo del wc e all'uso della lavatrice (tralasciando altri usi, pure importanti ma più specifici, come l'innaffiamento, il lavaggio di automobili, scale e cortili), si può notare come essi su periodi lunghi possono cambiare seguendo i mutamenti delle condizioni socio-economiche e demografiche. Alle scale temporali intermedie (ad esempio, decennali), invece, i consumi idrici di un edificio possono variare in funzione del cambiamento nel numero di abitanti, a causa di cambi di proprietà, locazione, nascite o decessi. Passando a scale temporali inferiori, i consumi possono avere ciclicità settimanali, ad esempio per l'uso della lavatrice (*Fewkes,* 2000), o presentare variabilità da un giorno all'altro anche in funzione dell'effettiva presenza in casa dei suoi abitanti. In particolare, ci possono essere notevoli differenze nei consumi se gli abitanti sono lavoratori che passano la maggior parte della giornata fuori casa, oppure lavoratori in smart working, pensionati o casalinghe/i che trascorrono buona parte del tempo in casa.

In fase di progettazione, inoltre, attualmente si lavora con l'ipotesi di stazionarietà dell'andamento delle precipitazioni, cosicché il dimensionamento di un sistema di raccolta d'acqua piovana, che è evidentemente orientato al futuro, viene svolto sulla base di dati di precipitazione del passato, trascurando quindi l'effetto del cambiamento climatico che è in atto.

Il presente studio esamina gli effetti degli scostamenti in fase di esercizio dalle condizioni di progetto sulle prestazioni dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana, con particolare riferimento all'efficienza in termini di risparmio idrico di acqua potabile.

2 MATERIALI E METODI

Il progetto del sistema di raccolta d'acqua piovana viene effettuato, nel presente studio, attraverso simulazioni basate su serie temporali della precipitazione di durata almeno trentennale e assumendo una domanda d'acqua costante, pari a 50 litri/(giorno·abitante) (*UNI,* 2012). Tali simulazioni permettono di stimare l'*efficienza* nel risparmio idrico E_{ws} (0-1), ossia il rapporto tra il volume d'acqua piovana recuperato e la domanda idrica nel periodo analizzato (*Gnecco et al.,* 2013). L'efficienza ha un andamento crescente al crescere della capienza della cisterna, ma con pendenza via via minore, fino al raggiungimento del suo

massimo per capienze inutilmente grandi. Per questo motivo, nel dimensionamento si è scelta la capienza che porta ad una efficienza ($E_{ws,progetto}$) pari all'80% della massima realizzabile (*Gnecco et al.*, 2013*; Carollo et al.*, 2022).

Per la valutazione degli effetti della variabilità della domanda idrica, i dati di pioggia usati nelle simulazioni sono ricavati dal database Scia di ISPRA. Sono state considerate quattro località italiane che mostrano caratteristiche diverse per piovosità media annua e/o per variabilità temporale, espressa mediante il coefficiente di variazione (CV) della serie. Le località considerate sono: Moncalieri - Torino (CV 2.5, 691 mm/anno), Roma (CV 3.2, 710 mm/anno), Crotone (CV 4.4, 661 mm/anno) e Milano Malpensa (CV 4.2, 1251 mm/anno). Per quanto riguarda invece la valutazione degli effetti del cambiamento climatico, sono stati usati i dati di precipitazione degli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 per la località di Torino nel periodo 2006-2100.

In ogni località vengono considerati tre edifici "campione": Detached House (DH), 100 m^2 e 4 abitanti; Medium-Rise Building (MRB), 165 m^2 e 30 abitanti; Villa (V), con 400 m^2 e 4 abitanti. L'efficienza nel risparmio idrico è stata calcolata sull'intera durata della serie di precipitazione: tra 31 e 70 anni (secondo la località considerata) per le stazioni Scia; 30 anni per gli scenari di cambiamento climatico.

2.1 Variabilità del consumo d'acqua

Una volta dimensionata la capienza della cisterna secondo i parametri di progetto, viene indagato come varia l'efficienza se le condizioni di esercizio cambiano rispetto alle ipotesi di progetto. Si ipotizza che il consumo idrico dell'edificio possa variare nell'intervallo compreso tra -50% e +50% rispetto alla condizione di progetto. In pratica questo può significare sia variazioni nel consumo pro capite, sia variazioni del numero di persone presenti in casa.

In primo luogo, sono analizzati gli effetti di una variabilità giornaliera della domanda. A questo scopo, sono state fatte 2000 simulazioni Monte Carlo con domanda giornaliera variabile, in modo da ottenere risultati stabili e indipendenti dal numero di simulazioni effettuate. Gli andamenti della domanda sono frutto di campionamenti casuali da una distribuzione uniforme nell'intervallo tra -50% e +50% della domanda di progetto.

In secondo luogo, viene esplorato il caso in cui la variabilità avvenga su periodi più lunghi, all'interno dei quali la domanda rimane costante. I valori che la domanda giornaliera assume in tali periodi sono, come prima, estratti in modo casuale da una distribuzione uniforme con limiti -50% e +50% rispetto alla domanda di progetto e i calcoli vengono svolti in modo analogo, mediante simulazioni Monte Carlo. Un caso limite è quello in cui si considera un solo periodo, lungo quanto tutto l'arco temporale analizzato. In questo caso, ne discende che la domanda viene considerata costante per tutto il periodo della simulazione: questo è il caso in cui l'abitazione sia utilizzata in modo sistematico fuori dalle condizioni progettuali, cioè, ad esempio, con una presenza di abitanti superiore o inferiore alle ipotesi progettuali, oppure con consumi pro capite diversi da quelli ipotizzati in sede di progetto. Tra i casi analizzati, questa è la condizione che porta alla maggior differenza nelle stime del risparmio idrico.

2.2 Cambiamento climatico

L'effetto del cambiamento climatico sulle prestazioni relative alla raccolta d'acqua piovana viene indagato in via preliminare usando i valori di precipitazione forniti da uno specifico modello climatico e reperibili dal database Cordex; in particolare sono utilizzate le precipitazioni relative ai due scenari RCP 4.5 (più mite) e 8.5 (più gravoso). I dati si riferiscono all'area di Torino nel periodo 2006-2100. L'obiettivo è duplice: da un lato si vuole capire quale sarebbe il dimensionamento ottimale della cisterna nel corso del prossimo secolo, considerando quindi il consueto periodo di analisi trentennale, ma reso questa volta mobile nel tempo con passo di 5 anni (cioè, considerando i periodi 2006-2035, 2011-2040, .., 2051-2080, ..., 2066-2095, 2071-2100); in secondo luogo si vuole capire quale sarebbe l'efficienza nell'arco temporale 2006-2100 quando la cisterna rimanesse quella dimensionata nel trentennio antecedente, 1976-2005.

3 RISULTATI

Per quanto riguarda la variabilità del consumo idrico, i risultati per le diverse località ed edifici descritti nel

paragrafo 2 sono concordi e mostrano che la variabilità a scala giornaliera della domanda porta ad una lievissima variabilità (praticamente nulla) nella stima dell'efficienza nel periodo considerato. Quindi, la stima di progetto dell'efficienza non varia quando la domanda varia da un giorno all'altro come descritto al paragrafo 2.1. Se invece gli scostamenti dalla domanda ipotizzata sono costanti per periodi più lunghi, la variabilità nella stima dell'efficienza inizia ad aumentare. Questo aumento è tanto maggiore quanto è maggiore la durata del periodo entro il quale la domanda rimane costante e diversa da quella di progetto.

In Figura 1, per brevità, sono confrontati solo i risultati degli edifici DH ed MRB, entrambi localizzati a Crotone. Il dimensionamento della cisterna porta ad una capienza di 9 m^3 e 6.6 m^3 rispettivamente, mentre il risparmio idrico stimato nel progetto è di 0,51 e di 0,11 rispettivamente. Nelle simulazioni Monte Carlo i valori di domanda variano tra 100 e 300 litri/giorno per DH e tra 750 e 2250 litri/giorno per MRB. La Figura 1 mostra la frequenza relativa dei valori di efficienza ottenuta dalle simulazioni al variare della domanda d'acqua non potabile e della durata del periodo avente domanda costante. Si nota come l'efficienza, in ascisse, vari su range diversi, in funzione della durata del periodo considerato (cfr. pannelli a-d, oppure pannelli e-h) e, a parità di durata, secondo il rapporto tra area del tetto e numero di abitanti (cfr. pannello (a) con (e), (b) con (f), (c) con (g) e (d) con (h)), cioè in funzione dell'area di tetto pro capite (*Carollo et al.*, 2022*; Lúcio et al.*, 2020).

Dalla Figura 1 emerge anche che nonostante la domanda vari secondo una distribuzione uniforme, la distribuzione delle frequenze relative dell'efficienza non è uniforme, evidenziando un legame non lineare tra la domanda e l'efficienza.

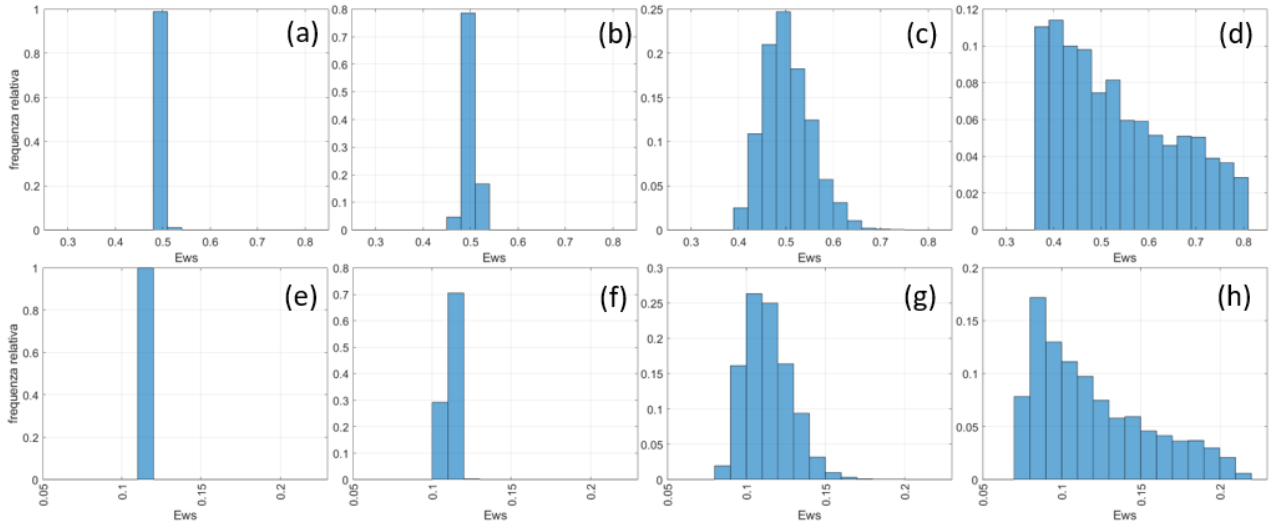

Figura 1. Frequenza relativa dell'efficienza nel risparmio idrico a confronto tra gli edifici DH (a-d) e MRB (e-h) localizzati a Crotone e dotati di una cisterna di 9 m^3 e 6.6 m^3, rispettivamente: (a) ed (e), variabilità giornaliera; (b) ed (f), periodi a domanda costante di circa 8 mesi (0,7 anni); (c) e (g), periodi di 14 anni; (d) ed (h), un unico periodo di 70 anni.

Per quanto riguarda gli effetti del cambiamento climatico, considerando ad esempio la località di Torino, i dati mostrano una riduzione della piovosità media annua durante il XXI secolo (Figura 2a) per entrambi gli scenari di circa 100 mm (lievemente maggiore nello scenario RCP 8.5). La piovosità media decresce con andamenti diversi: fin dal trentennio '26-'55 secondo lo scenario RCP 4.5, solo dopo il trentennio '41-'70 secondo lo scenario RCP 8.5 (Figura 2a).

In Figura 2b e 2c sono riportati i risultati relativi al dimensionamento ottimale per ogni trentennio analizzato, quindi ogni trentennio avrà una propria capienza della cisterna e una sua efficienza di progetto. Confrontando i due edifici DH e MRB, si nota che la variazione dell'efficienza è contenuta: maggiore per DH, dove si perdono 8 punti percentuali per lo scenario RCP 8.5 (6 punti percentuali per lo scenario RCP 4.5, non mostrato in figura), con variazioni delle capienze ottimali di 2000 litri (1500 litri secondo lo scenario RCP 4.5). L'edificio MRB invece mostra una decrescita dell'efficienza più contenuta (3 e 2 punti percentuali, a seconda dello scenario), come più contenuta è anche la variazione della capienza ottimale delle cisterne (circa 1250 litri). La variazione delle capienze ottimali è quindi nell'ordine del 10-15% (in positivo e in negativo) in entrambi gli edifici.

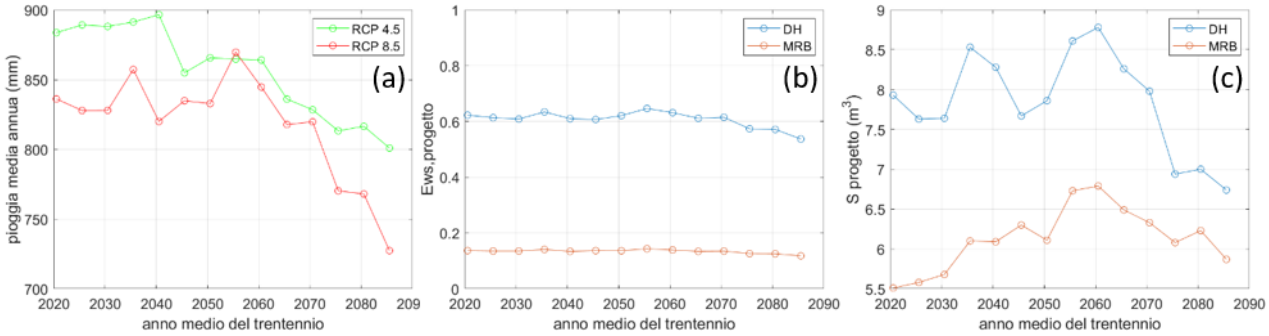

Figura 2. Pannello (a): andamento dell'altezza di pioggia annua media (su base trentennale) nell'arco del XXI secolo per i due scenari di cambiamento climatico RCP 4.5 e RCP 8.5. Pannello (b): andamento dell'efficienza di progetto nello scenario RCP 8.5 e (c) andamento della capienza ottimale della cisterna ($S_{progetto}$) nello stesso scenario RCP 8.5 per i due edifici DH e MRB localizzati a Torino. In ascissa è riportato l'anno centrale del trentennio analizzato.

4 CONCLUSIONI

Questo studio ha analizzato alcune delle ipotesi che stanno alla base del dimensionamento di un sistema di raccolta dell'acqua piovana. Per quanto riguarda il consumo idrico, si è fatta l'ipotesi che esso possa avere un andamento variabile a scala giornaliera (naturale variabilità, consumo per lavatrice e wc) oppure a scale superiori (ad esempio a causa di cambi di proprietario o di inquilini della casa). I risultati mostrano che una variabilità giornaliera del consumo intorno al valore di progetto non produce alcuna sensibile variabilità nella stima del risparmio idrico. Effetti simili si hanno anche considerando variabilità a scale temporali superiori (diverse settimane o alcuni mesi in cui il consumo si mantiene costante); per poter osservare delle sensibili differenze nella stima dell'efficienza bisogna considerare scale temporali ancora più lunghe (decenni). Ciò permette di concludere che, sul lungo periodo, il risparmio idrico dell'edificio sarà diverso da quello stimato nel progetto solo se il consumo idrico sarà diverso da quello ipotizzato per periodi di tempo almeno decennali, quindi, ad esempio, dovuti a cambiamenti causati da variazioni stabili del numero di abitanti della casa.

Per quanto riguarda la stazionarietà del clima, questo studio, avvalendosi dei risultati di modelli climatici, mostra alcuni risultati preliminari che evidenziano come la non stazionarietà idrologica dei due scenari di cambiamento climatico RCP 4.5 (più mite) e RCP 8.5 (più gravoso) influenzi la capienza ottimale della cisterna nell'arco del XXI secolo e la conseguente efficienza. Sia riguardo l'efficienza, sia per la capienza ottimale, la variabilità dei risultati è però contenuta: si osserva una diminuzione non eccessivamente grande dell'efficienza nei due edifici considerati, mentre le variazioni delle capienze delle cisterne oscillano di circa il 10-15% rispetto al loro valore medio. Pertanto, in base a questi risultati, la progettazione di cisterne per usi indoor che si basa sull'ipotesi di stazionarietà del clima porta a errori accettabili. Ulteriori analisi confronteranno i risultati di diversi modelli climatici, opportunamente calibrati.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Carollo M., Butera I. & Revelli R. Water savings and urban storm water management: Evaluation of the potentiality of rainwater harvesting systems from the building to the city scale, PLoS ONE, 2022, 17(11).

Fewkes A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach, Urban Water, 2000, 1, 323–333.

Gnecco I., Palla A. & Lanza L.G. Sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque meteoriche–Verso la definizione della normativa, L'Acqua, 2013, 1-9.

Lúcio, C., Silva, C.M. & Sousa, V. A scale-adaptive method for urban rainwater harvesting simulation, Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27, 4557-4570.

ONU Organizzazione delle Nazioni Unite, Dipartimento degli affari economici e sociali. Sviluppo sostenibile. Disponibile da: https://sdgs.un.org/.

Palla A., Gnecco I. & Lanza L.G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems, Journal of Hydrology, 2011, 401, 65-76.

UNI Ente nazionale italiano di unificazione. UNI/TS 11445, Impianti per la raccolta e l'utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, 2012.