



# RACCOLTA E RIUTILIZZO DELLE ACQUE METEORICHE IN AMBITO URBANO: VALUTAZIONI TECNICO ECONOMICHE DI UN INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE

*Matteo Balistrocchi<sup>1</sup>, Alessandra Zanoletti<sup>1</sup> & Baldassare Bacchi<sup>1</sup>*

*(1) Dipartimento di Ingegneria Civile Architettura Territorio Ambiente e di Matematica (DICATAM), via Branze 43, 25123, Brescia.*

## ASPETTI CHIAVE

- *Si esamina l'inserimento in una fognatura unitaria a servizio di un lotto residenziale di dispositivi per il riutilizzo a fini irrigui delle acque di dilavamento dei tetti*
- *Le prestazioni offerte da alcune soluzioni sono stimate tramite simulazioni continue per un decennio mentre attraverso analisi costi-benefici si valuta la loro convenienza economica*
- *A fronte di modesti benefici in termini di riduzione dei deflussi di piena, gli ingenti costi di impianto e il basso costo dell'acqua rendono i sistemi centralizzati economicamente non remunerativi*

## 1 PREMESSA

I criteri di pianificazione delle reti di drenaggio urbano e di progettazione dei dispositivi che le compongono hanno già da tempo, almeno nell'ambito della ricerca, fatto propri obiettivi di mitigazione dell'impatto dell'urbanizzazione sul regime idrologico dei corpi idrici ricettori (*Fletcher et al.*, 2013). Ciò ha indotto anche alcune Regioni (*Regione Lombardia*, 2012) ad introdurre nelle loro normative tecniche i principi di invarianza idraulica ed idrologica, a cui devono sottostare le nuove espansioni urbane. Tra le svariate soluzioni strutturali proposte per il controllo alla sorgente, ovvero in prossimità del punto di formazione dei deflussi, ha suscitato un certo interesse quella dei sistemi di raccolta e riutilizzo delle acque provenienti dai tetti e da altre superfici a basso carico inquinante (*Campisano & Modica*, 2012; *Raimondi & Becciu*, 2014; *Ursino*, 2015).

Il deflusso superficiale intercettato, una volta opportunamente stoccato, potrebbe infatti essere impiegato successivamente per usi compatibili con il suo stato qualitativo, ovvero usi idro-sanitari per i quali non sia richiesta la potabilità o per l'irrigazione di orti e giardini. In questo secondo caso, il beneficio sarebbe duplice: da un lato si avrebbe una riduzione dei deflussi collettati in fognatura, con aumento dei flussi connessi all'infiltrazione ed all'evapotraspirazione; dall'altro un risparmio di risorse idriche pregiate, e dei costi ad esse relativi, il cui consumo potrebbe essere limitato ad usi per i quali sia richiesto effettivamente un elevato standard qualitativo.

L'efficacia delle diverse strategie attraverso le quali questo tipo di provvedimento può essere realizzato e la loro convenienza economica sono tuttavia oggetto di dibattito (*Fletcher et al.*, 2008; *Chiu et al.*, 2009; *Farrenya et al.*, 2011; *Rahman et al.*, 2013). Quest'ultimo aspetto è di particolare importanza in contesti, come quello di molte città italiane, dove si è chiamati ad intervenire principalmente in tessuti urbani consolidati, a fronte di costi di approvvigionamento idrico tramite acquedotto relativamente modesti. Il limitato volume che si può attribuire a questo tipo di invasi, inoltre, pone qualche perplessità sulla loro reale capacità di attenuazione dei deflussi superficiali in climi, come quelli mediterranei, caratterizzati da svariati eventi brevi ed intensi e da prolungati periodi di tempo asciutto.

Appare pertanto necessario approfondire tali aspetti di carattere tecnico-economico che, in linea di principio, appaiono strettamente connessi a numerose caratteristiche specifiche della singola applicazione: il clima, la natura del riuso delle acque intercettate, la tipologia edilizia dei fabbricati, il tipo di sistema di drenaggio, la natura del suolo e della vegetazione e il fatto che l'intervento interessi un'urbanizzazione esistente oppure una nuova urbanizzazione.

## 2 MATERIALI E METODI

In questo lavoro si valuta la possibilità di inserire un sistema di raccolta delle acque di dilavamento e del loro riutilizzo a fini irrigui in un contesto residenziale a bassa densità e da lungo tempo consolidato,

costituito da una frazione del Villaggio Prealpino, posto alla periferia nord della città di Brescia. Questo quartiere vede essenzialmente la presenza di villette bifamiliari a due piani, con tetti a falda e dotate di verde privato. La rete di drenaggio è costituita da una fognatura convenzionale di tipo unitario, con collettori in calcestruzzo ovoidale o circolare dotati di ridotta pendenza, dato il carattere pianeggiante dell'area. Il tipo di coperture individuate nel bacino preso in esame è illustrato in figura 1: l'area complessiva ammonta a 4,90 ha, suddiviso in tetti 17%, verde pubblico e privato 43%, pavimentazioni pedonali 17% e strade 23%.



Figura 1. Coperture del bacino urbano esaminato.

Numerosi studi, come evidenziato in *Fletcher et al.* (2008) e dai riferimenti in esso contenuti, hanno individuato una relazione inversamente proporzionale tra i costi unitari dei sistemi di raccolta e riuso ed il numero di allacciamenti. Secondo tale relazione, i costi unitari mostrerebbero una generale tendenza a ridursi rapidamente sino al numero di cento allacciamenti, oltre i quali non si osserverebbero ulteriori apprezzabili diminuzioni. Una strategia progettuale efficace dal punto di vista economico dovrebbe pertanto essere rappresentata dall'impiego di un impianto centralizzato.

Si è quindi progettato un sistema tale per cui le acque di dilavamento dei tetti, collettate in una rete dedicata, siano stoccate in un'unica vasca di raccolta interrata, dalla quale possono essere prelevate tramite un sistema di pompaggio e distribuite ai giardini privati. Alla fognatura unitaria esistente è demandato invece il collettamento delle acque nere e di quelle di dilavamento delle strade e di parte dei giardini privati. Questi ultimi, infatti, interclusi da muretti perimetrali e privi di caditoie proprie sono stati assunti come limitatamente contribuenti.

Sebbene l'irrigazione sia strettamente necessaria solo durante il periodo estivo, si è adottato per questa fase un arco temporale più ampio, compreso cioè tra l'inizio di aprile e la fine di ottobre. L'irrigazione è stata regolata in modo che il volume giornaliero sia distribuito solo se, nella giornata precedente, l'altezza di precipitazione è stata inferiore al fabbisogno della vegetazione. L'estensione del periodo irriguo trova la sua giustificazione nel tentativo di sfruttare il più possibile gli effetti benefici dell'infiltrazione e dell'evapotraspirazione. Nella restante parte dell'anno, infatti, le acque intercettate non possono che essere avviate verso la rete fognaria unitaria in periodo di tempo asciutto; ciò avviene come richiesto dalla normativa regionale, con portate inferiori a  $40 \text{ l/(s ha}_{\text{imp}})$ . L'unico beneficio in questa fase è quindi quello prodotto dal ritardo nel conferimento delle acque di dilavamento dei tetti e nell'attenuazione dei relativi picchi di portata.

La capacità d'invaso della vasca è stata definita sulla base di questa impostazione del sistema seguendo un metodo empirico risultato di uso abbastanza comune nella pratica progettuale per la sua semplicità. Il metodo prevede la stima del volume annuo potenzialmente captabile  $V_c$  come prodotto dell'area delle superfici scolati oggetto di intercettazione dei deflussi, nel nostro caso quella dei tetti  $A_t$ , del corrispondente

coefficiente di afflusso  $\varphi$  e della precipitazione media annua  $P$ . Il volume massimo annuo necessario all'irrigazione  $V_i$  è invece stimato come prodotto dell'area di irrigazione, nel nostro caso quella dei giardini privati  $A_g$ , per il fabbisogno giornaliero della vegetazione per unità di superficie  $R$  e la durata del periodo di irrigazione  $d_i$ .

La media tra il  $V_c$  e  $V_i$  è interpretato come il volume annuo che la vasca dovrebbe trattare la quale, moltiplicata per il rapporto tra la durata media del periodo di tempo asciutto intercorrente tra due eventi pluviometrici successivi  $d_{ma}$  e il numero di giorni di un anno, fornisce la stima (1) della capacità d'invaso  $W$  della vasca di raccolta.

$$W = \frac{(V_c + V_i) d_{ma}}{2 \cdot 365} = \frac{(A_c P \varphi + A_g R d_i) d_{ma}}{2 \cdot 365} \quad (1)$$

I dati meteorologici necessari per definire il volume (1) sono stati ricavati dalla stazione di monitoraggio del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia, posta circa due chilometri a sud rispetto al bacino. Tale stazione è equipaggiata con sensori in grado di misurare: precipitazione, temperatura atmosferica, umidità relativa, pressione atmosferica, direzione e velocità del vento e radiazione globale. In particolare, le osservazioni di precipitazione disponibili consistono in una serie di altezze registrate con cadenza di 15 minuti nel periodo compreso tra il 2001 ed il 2013. Da questa sono stati stimati una precipitazione media annuale  $P$  di 840 mm ed una durata media del tempo asciutto di 7 giorni. Assumendo per i tetti un coefficiente di afflusso  $\varphi$  pari a 0,90 ed un fabbisogno idrico  $R$  3÷4 mm/d, riferibile ad un prato, si ottiene un volume della vasca approssimabile a 200 m<sup>3</sup>. La rete di raccolta e quella di distribuzione sono state invece progettate secondo criteri convenzionali per le reti di drenaggio ed in pressione.

Le prestazioni offerte da questo sistema predimensionato sono state stimate impiegando simulazioni continue per il periodo di disponibilità dei dati meteorologici e condotte tramite un modello idrodinamico costruito in ambiente SWMM (U.S.EPA, 2010). Data la difficoltà di rappresentare in modo idoneo il meccanismo di irrigazione prescelto con gli strumenti implementati nell'ambiente software, i processi di raccolta, stoccaggio e sollevamento delle acque di dilavamento dei tetti sono stati simulati separatamente da quelli dell'irrigazione dei giardini privati e della formazione e collettamento dei deflussi provenienti dalle altre superfici scolanti. Più precisamente, la portata sollevata dal sistema di pompaggio è stata convertita, a seconda che il periodo fosse irriguo o meno, in una precipitazione fittizia applicata ai giardini privati in aggiunta a quella effettiva, ovvero in una portata concentrata immessa in un pozzetto della rete unitaria preesistente. L'evapotraspirazione è stata stimata separatamente impiegando il modello di Blaney-Criddle modificata da Doreenbons & Pruitt (1975), sfruttando i dati di temperatura, umidità relativa e velocità del vento sempre forniti della stazione di Brescia Università.

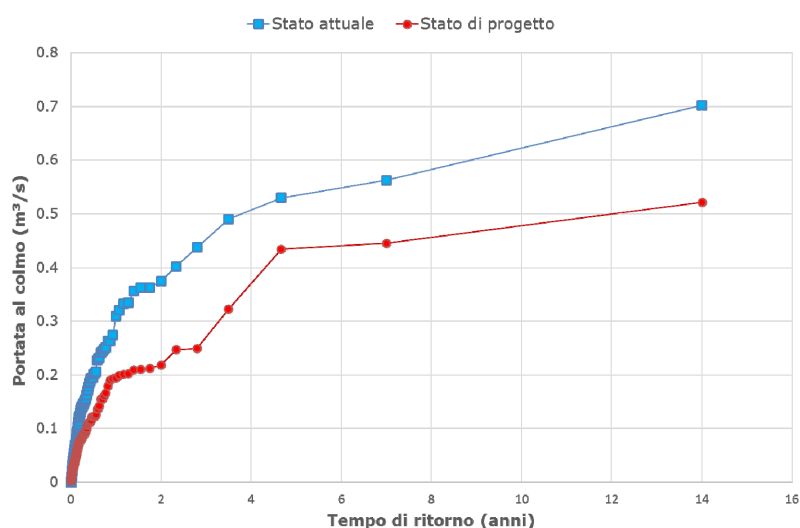
Le valutazioni economiche sono state, infine, condotte attraverso il metodo del flusso di cassa attualizzato, secondo il quale la convenienza economica di un investimento è valutata mediante il valore attuale netto  $VAN$  (2). L'espressione tiene in considerazione l'investimento iniziale  $C_0$  ed i flussi di cassa annuali  $C_k$  attualizzati all'anno di costruzione assumendo un tasso di interesse  $i$  ed un orizzonte temporale dell'investimento di  $n$  anni. In questo caso, l'investimento iniziale  $C_0$  coincide con il costo di costruzione, stimato mediante computo metrico estimativo tenendo in considerazione le opere di demolizione e ripristino necessarie ad intervenire in un contesto consolidato, mentre i flussi di cassa annuali  $C_k$  sono dati dalla differenza tra il risparmio nei costi di approvvigionamento idrico tramite acquedotto e le spese di manutenzione, ordinaria e straordinaria, e di energia per i sollevamenti.

$$VAN = -C_0 + \sum_k^n \frac{C_k}{(1+i)^k} \quad (2)$$

### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati ottenuti mostrano come l'effetto complessivo in termini di riduzione dei volumi collettati in fognatura sia apprezzabile ma relativamente modesto. Il coefficiente medio di afflusso dell'area infatti

diminuirebbe dal 56,1%, stimato per le condizioni attuali, ad un più modesto 48,8%. Questo corrisponde ad un abbattimento del 12,9% del volume collettato mediamente in un anno per le acque di dilavamento, principalmente a vantaggio dell'infiltrazione. Ulteriori ampliamenti della durata della stagione irrigua o incrementi del volume della vasca non sembrano apportare miglioramenti prestazionali di rilievo. Di poco superiore è l'effetto in termini di attenuazione dei colmi di piena prodotti dal bacino in esame. Come evidenziato in figura 2, dove sono riportate le curve di frequenza dei colmi degli eventi di piena della situazione attuale e di quella di progetto, per eventi caratterizzati da tempo di ritorno compreso tra 5 e 10 anni, si possono conseguire riduzioni dei colmi di circa il 20%.



**Figura 2.** Distribuzioni di frequenza dei colmi prodotti nella rete fognaria da eventi pluviometrici intensi nella condizione attuale del bacino ed in quella di progetto.

Le valutazioni economiche portano a concludere che, considerando un costo dell'acqua 1,0 €/m<sup>3</sup> e tassi di interesse prossimi allo zero, l'investimento non risulta mai remunerativo. Per poter avere periodi di remunerazione dell'ordine di 25-30 anni, è infatti necessario assumere un costo dell'acqua pari a 4,0 €/m<sup>3</sup> sin dall'inizio della vita dell'opera e tassi di interesse non superiori all'1,0%. Assumendo tassi d'interesse superiori, invece, l'investimento torna a non essere più remunerativo. Le ragioni sono da ricercare sia negli elevati costi di impianto, aggravati dal dover intervenire in un contesto già esistente con demolizioni e ripristini, sia dai modesti risparmi conseguibili. La realizzazione di questo tipo di sistemi centralizzati appare pertanto discutibile in questo contesto; l'impiego di sistemi individuali, molto meno onerosi data la loro semplicità costruttiva e gestionale, dovrebbe invece rappresentare un'alternativa più efficace.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Campisano, A. & Modica, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily, *Resour. Conserv. Recy.*, 2012, 63, 9-16.
- Chiu, Y.R., Liaw, C.H. & Chen, L.C. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities, *Renew. Energy*, 2009, 34, 492-8.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements, FAO irrigation drainage paper 24, 1975.
- Farrenya, R., Gabarrella, X. & Rieradevall, J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods, *Resour. Conserv. Recy.*, 2011, 55, 686-94.
- Fletcher, T.D., Deletic, A., Mitchell, V.G. & Hatt, B.E. Reuse of urban runoff in Australia: a review of recent advances and remaining challenges, *J. Environ. Qual.*, 2008, 37, S116-27.
- Fletcher, T.D., Andrieu, H. & Hamel, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art, *Adv. Water Resour.*, 2013, 51, 261-79.
- Rahmana, A., Keanea, J. & Imteazb, M.A. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits, *Resour. Conserv. Recy.*, 2012, 61, 16-21.
- Raimondi, A. & Becciu, G. Probabilistic modeling of rainwater tanks, *Procedia Engineering*, 2014, 89, 1493-9.
- Regione Lombardia, Norme per la difesa del suolo e per la gestione dei corsi d'acqua della Lombardia, D.G.R. IX/4052, 2012.
- Ursino, N. Risk analysis of sustainable urban drainage and irrigation, *Adv. Water Resour.*, 2015, 83, 277-84.
- U.S.EPA. Storm water management model user's manual version 5.0, EPA/600/R-05/040, 2010.