

MODELLAZIONE INTEGRATA PER LA GESTIONE URBANA DELLE RISORSE IDRICHE DURANTE I PERIODI DI SICCIÀ

Stefania Piazza¹, Andrea Galletti², Mariacrosetta Sambito¹, Manuel Roveri³, Francesco Puoti³, Anita Raimondi⁴

(1) Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Enna Kore; (2) Centro per il Cambiamento e la Trasformazione Climatica, EURAC Research, Bolzano; (3) DEIB, Politecnico di Milano; (4) DICA, Politecnico di Milano

ASPETTI CHIAVE:

- Applicazione di un modello analitico-probabilistico ad un caso studio reale per la gestione ottimale dei sistemi Rain Water Harvesting ad uso non potabile
- Applicazione di algoritmi di Intelligenze Artificiale per analisi statistiche e predittive sui consumi domestici per gli sciacquoni dei servizi igienici, al fine di aumentare l'efficacia dei sistemi
- Le abitudini delle utenze influenzano la probabilità di riuso soprattutto nei mesi più secchi, in cui la riduzione della domanda ne produce un sensibile incremento nonostante la scarsità idrica

1 INTRODUZIONE

I periodi di siccità rendono l'approvvigionamento idrico talvolta critico. Le aree urbane sono particolarmente sensibili alla scarsità d'acqua, poiché devono soddisfare la crescente richiesta dovuta all'aumento dell'urbanizzazione. Inoltre, i periodi di scarsità idrica stanno diventando sempre più frequenti, e recenti studi (*Price et al.*, 2022) hanno affermato che, se la temperatura media globale aumenterà di 3°C rispetto ai livelli preindustriali, gli effetti della siccità saranno disastrosi in tutti i continenti. La scarsità idrica provoca diversi impatti ambientali, economici, socioculturali e sanitari, poiché può compromettere un'ampia gamma di servizi ecosistemici e può comportare perdite significative a lungo termine in una serie di settori.

Attualmente, un numero considerevole di reti di distribuzione idrica in tutto il mondo funziona con approvvigionamento intermittente, fornendo acqua ai consumatori in modo irregolare e inaffidabile. Tali sistemi si adattano a comportamenti di consumo flessibili attraverso l'utilizzo di serbatoi locali per lo stoccaggio della risorsa, al fine di utilizzarla successivamente durante i periodi più estesi di mancata fornitura (*Abhijith et al.*, 2023). Tali sistemi presentano alcune criticità, tra i quali il degradamento della qualità dell'acqua. Oltretutto, in un contesto di crescita della popolazione e cambiamento climatico, è urgente definire nuove strategie per migliorare la resilienza dei sistemi acquedottistici. In tal senso, l'utilizzo di risorse idriche alternative, tra i quali i sistemi di raccolta e riuso delle acque meteoriche, può essere di supporto alle tradizionali reti di distribuzione (*Raimondi et al.*, 2023).

Il presente studio mira a integrare un approccio analitico-probabilistico, già applicato in letteratura ai sistemi di drenaggio urbano sostenibile (*Raimondi et al.*, 2023) e un modello predittivo basato sull'intelligenza artificiale (*Puoti et al.*, 2023), ad un distretto residenziale della città di Palermo, al fine di ottimizzare i sistemi di raccolta e riuso delle acque meteoriche per una gestione efficiente della risorsa idrica in diversi scenari climatici e di domanda.

2 MATERIALI E METODI

2.1 Caso Studio

L'area oggetto di studio riguarda un distretto residenziale della città di Palermo (Figura 1a), in cui sono stati monitorati i consumi non potabili per 408 abitazioni (Figura 1b), aventi un numero di abitanti variabile tra 2 e 5 persone. Per ogni abitazione è stato assunto che fosse presente un serbatoio di volume pari a 5 m³, che raccoglie le acque meteoriche provenienti dai tetti, avente una superficie scolante variabile tra 40 e 700 m², al fine di un riutilizzo per gli sciacquoni dei servizi igienici. I dati di consumo giornaliero sono stati collezionati a seguito di una campagna di monitoraggio realizzata in un periodo compreso tra il 2002 e il 2008. Il pattern di domanda relativo ai consumi di scarico degli sciacquoni è stato isolato utilizzando la metodologia proposta da *Liuzzo et al.* (2016), considerando un volume della cassetta di scarico pari a 10 l e i tempi di riempimento della cassetta variabile tra 0.95 e 1 minuto.

I volumi mensili delle precipitazioni (Figura 1c) sono stati calcolati utilizzando i dati di precipitazione giornaliera registrati nel pluviometro di Palermo nel periodo 2002-2008, forniti dal Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (SIAS).

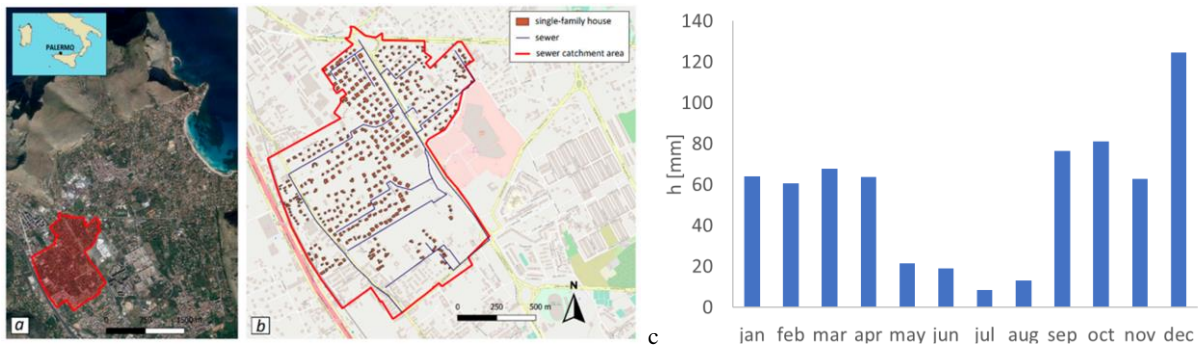


Figura 1. Inquadramento dell'area residenziale di Palermo (a), localizzazione delle case unifamiliari (b) e volume mensile di pioggia nell'area di studio (c).

2.2 Modello predittivo: Piattaforma GreenTea

GreenTea è una piattaforma integrata di Cloud-streaming progettata per l'esplorazione e la previsione di serie temporali as a Service, specificamente orientata ai dati ambientali. Questa soluzione innovativa affronta la sfida di fornire agli utenti non esperti nel campo dell'intelligenza artificiale, ma esperti nelle scienze ambientali, potenti strumenti di machine e deep learning per l'analisi e la previsione dell'evoluzione temporale di data-set ambientali (Puoti et al., 2023). GreenTea cerca di superare due principali sfide: I) sfida algoritmica: progettazione e implementazione di soluzioni automatiche di machine e deep learning capaci di gestire l'esplorazione e la previsione dei dati di serie temporali in modo efficace ed efficiente, e senza la necessità di competenze nel campo; II) sfida tecnologica: gestione delle risorse computazionali con metodi automatici di scaling verticale ed orizzontale, al fine di soddisfare le richieste di utenti multipli e contemporanei mantenendo un'alta e costante Qualità del Servizio (QoS). La piattaforma è progettata per essere estremamente user-friendly, consentendo agli utenti di interagire con essa tramite una Web App (o API), dove possono caricare i loro e, in aggiunta, del codice personalizzato nel caso di utenti esperti. GreenTea elabora questi input facilitando l'integrazione di molteplici fonti di dati e la caratterizzazione delle relazioni nei dati. Supporta la previsione a breve, medio e lungo termine. Più nello specifico, la pipeline di esplorazione e previsione di GreenTea consiste in: (i) analisi statistica delle serie temporali e dei rispettivi componenti principali (trend, stagionalità, autocorrelazione, ecc.); (ii) analisi multivariata delle stesse, con particolare attenzione alla cross-correlazione tra le diverse serie temporali; (iii) validazione di diversi algoritmi di machine e deep learning nei due scenari, univariato e multivariato, al fine di restituire all'utente le previsioni dell'algoritmo 'migliore' (secondo metriche opportunamente definite). Gli utenti possono, infine, visualizzare i risultati tramite una dashboard accessibile da Web App, oppure scaricarli tramite API nel formato di preferenza.

2.3 Modello analitico-probabilistico

L'approccio analitico-probabilistico permette, una volta definita la distribuzione di probabilità delle variabili in input, e le caratteristiche del sistema, di derivare la distribuzione di probabilità delle variabili di interesse. Il modello può essere adattato a diverse scale temporali ed è stato validato con buoni risultati con diversi regimi di precipitazione e condizioni climatiche. Permette di considerare diversi scenari di utilizzo della risorsa meteorica, generalmente non potabili quali usi irrigui e sciacquoni dei servizi igienici, e un diverso numero e tipologie di utenza. Il modello include la possibilità di pre-riempimento della capacità di invaso da eventi precedenti e di considerare le tendenze future del regime di precipitazione e della domanda. In questo studio, il modello è stato utilizzato con un duplice obiettivo: il calcolo della probabilità di riuso per gli sciacquoni dei servizi igienici (Equazione 1) e il calcolo della probabilità di sfioro dal troppo pieno del serbatoio (Equazione 2), per verificare sia l'efficacia nella gestione della risorsa idrica che l'adeguatezza del volume di invaso:

$$P_R = e^{-\xi \cdot \left(\frac{D}{N \cdot \varphi} + w_F - \frac{W}{A \cdot N \cdot \varphi} \right)} \quad (1)$$

$$P_o = e^{-\xi \cdot \left[\frac{D}{N \cdot \varphi} + \frac{W_0 - W}{A \cdot N \cdot \varphi} + w_F \right]} \quad (2)$$

P_R : probabilità di riuso; P_o : probabilità di sfioro; D : domanda idrica; $\xi = 1/\mu_h$ con μ_h : altezza media di pioggia; N : numero di eventi piovosi; φ : coefficiente di afflusso; A : area del tetto; w_F : altezza di prima pioggia; W : volume invasato a inizio evento; W_0 : volume del serbatoio.

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Il modello analitico-probabilistico è stato utilizzato per il calcolo della probabilità di riuso, per 5 utenti, che nel caso in esame risulta essere la situazione con maggior richiesta, e quindi la più sfavorevole, considerando in fase preliminare 40 litri per persona al giorno, come indicato dalla norma UNI/TS 11445 (Figura 3a). La probabilità aumenta al crescere della superficie di copertura e risulta minima nel mese di luglio, il più secco e massima nel mese di dicembre, il più piovoso in media nella serie di anni analizzati (Figura 3d). Si mantiene sopra al 50% per tutti i mesi e per superfici di copertura maggiori a circa 150 m², esclusi i mesi più secchi (maggio, giugno, luglio e agosto). Si è poi considerata nella modellazione probabilistica l'effettiva richiesta idrica, misurata dai contatori sugli sciacquoni, che tiene conto della variazione della richiesta dovuta ai dovuti comportamenti dell'utenza nei diversi mesi dell'anno e del modello predittivo implementato nella piattaforma Green Tea (Figura 2).

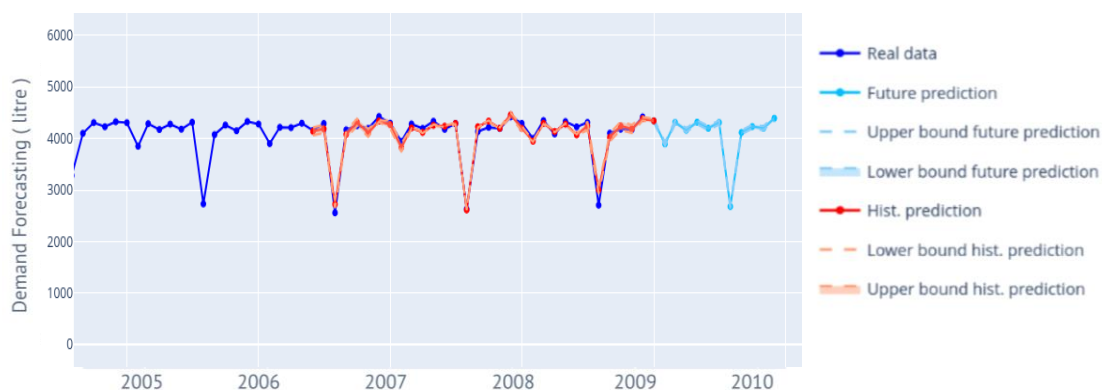


Figura 2. Analisi e predizione del consumo relativo agli sciacquoni, caso di 5 utenti.

Nella fattispecie del caso studio l'utilizzo della risorsa idrica è risultato minimo in agosto. È immediato dal confronto tra i due grafici risultanti (Figura 3a e 3b) come le abitudini dell'utenze influenzano la probabilità di riuso soprattutto nei mesi più secchi. In agosto in particolare, la riduzione della domanda produce un sensibile incremento della probabilità di riuso, risultato che sottolinea l'importanza di considerare le tipologie di utenze, e le abitudini per migliorare l'accuratezza dei risultati. Nel calcolo della probabilità di sfioro si è considerata la situazione di minor richiesta idrica, corrispondente a soli 2 utenti, condizione in questo caso più sfavorevole. Tale probabilità, abbastanza ridotta nei mesi estivi con minor piovosità, risulta sempre superiore al 50% già per superfici di copertura pari e superiori a 150-200 m². Il risultato evidenzia come un aumento del volume del serbatoio comporterebbe oltre che a una riduzione del volume sfiorato, un'ottimizzazione della gestione della risorsa idrica meteorica, potendo invasare più acqua da riutilizzare nei mesi più secchi.

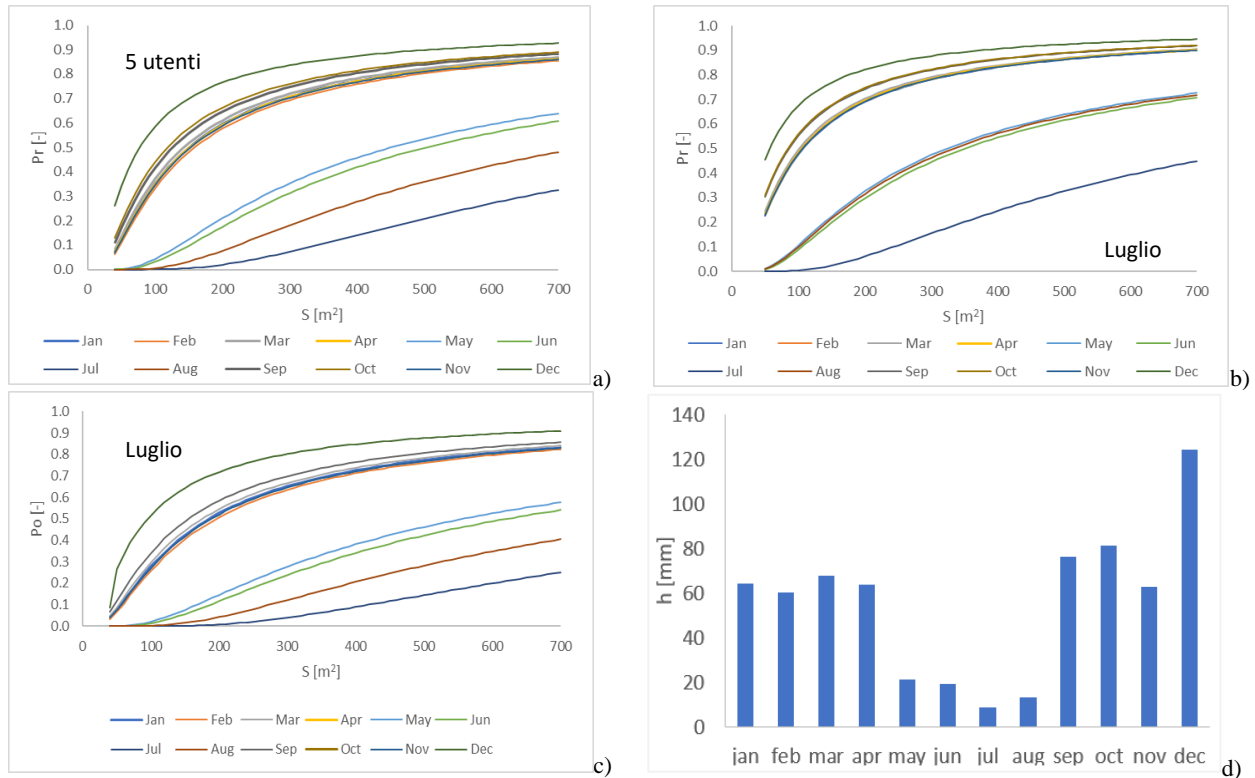


Figura 3. Probabilità di riuso al variare della superficie del tetto, calcolo della domanda da normativa (a) dai dati misurati nel monitoraggio dei consumi (b). Probabilità di sfioro del serbatoio (c). Altezze di pioggia mensili nel periodo di registrazione (d).

4 CONCLUSIONI

L'integrazione del modello analitico-probabilistico con il modello predittivo alla base della piattaforma Green Tea può essere di supporto nel miglioramento della gestione e del progetto dei sistemi di raccolta e di riuso delle acque meteoriche. Un approccio integrato, multi-obiettivo, accoppiato da un sistema di misura e monitoraggio delle variabili che regolano i processi offre grandi potenzialità in un'ottica di ottimizzazione nella gestione della risorsa idrica, ancor più fondamentale in periodi di siccità e per le sfide future che ci attendono. Un ulteriore perfezionamento del modello, che costituirà uno sviluppo futuro del lavoro riguarda l'ipotesi di considerare anche le richieste idriche dell'utenza come una variabile aleatoria nel modello analitico-probabilistico, dal momento che l'analisi dei dati misurati su alcuni contatori oggetto di studio hanno evidenziato che tali dati ben si adattano a una distribuzione di tipo Weibull.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Population Division of the UN Department of Economic and Social Affairs (UN DESA). *Revision of World Urbanization Prospects* produced, 2018.
- Price, J., Warren, R., Forstehäusler, N., Wallace, C., Jenkins, R., Osborn, T. J. & Van Vuuren, D. P. Quantification of meteorological drought risks between 1.5° C and 4° C of global warming in six countries. *Climatic Change*, 2022, 174(1-2), 12.
- Abhijith, G.R., Naidu, M.N., Boindala, S.P., Vasan, A. & Ostfeld, A. Analyzing the role of consumer behavior in coping with intermittent supply in water distribution systems. *Journal of Hydroinformatics*, 2023, 25(5), 1766–1787.
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G.R., Becciu, G. & Ostfeld, A. Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*, 2023, 15(8), 1518.
- Raimondi, A., Marrazzo, G., Sanfilippo, U. & Becciu, G. A probabilistic approach to stormwater runoff control through permeable pavements beneath urban trees. *Science of The Total Environment*, 2023, 905,167196.
- Puoti, F., Falcetta, A., Roveri, M., Riva, D. & Chiggiato, D. GreenTea: Time-series Exploration as-a-Service for environmental science. *In 2023 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)*, 2023, 311-313.
- Liuzzo, L., Notaro, V. & Freni, G. A Reliability Analysis of a Rainfall Harvesting System in Southern Italy. *Water*, 2016, 8(1), 18.