

Ricerca di Sistema elettrico



Invasi multiscopo ottimizzati in tempo reale a servizio delle
aree urbane (LA5.3)

Marco Maglionico, Margherita Altobelli, Francesca Cozzolino,
Margherita Evangelisti, Luca Baffoni, Cristiana Bragalli, Irene Daprà



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA CIVILE,
CHIMICA, AMBIENTALE
E DEI MATERIALI

Invasi multiscopo ottimizzati in tempo reale a servizio delle aree urbane

Marco Maglionico, Margherita Altobelli, Francesca Cozzolino, Margherita Evangelisti, Luca Baffoni, Cristiana Bragalli, Irene Daprà (Università di Bologna)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.6 - Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali

Linea di attività: 5.3

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti, ENEA

Responsabile del Work Package: Davide Mattioli, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali dell'Università degli Studi di Bologna

Mese inizio previsto: Gennaio 2023

Mese inizio effettivo: Gennaio 2024

Mese fine previsto: Dicembre 2024

Mese fine effettivo: Dicembre 2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione.

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti	5
3	Prodotti attesi	6
4	Prodotti sviluppati	7
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	8
6	Sintesi delle attività svolte	9
7	Dettaglio delle attività svolte.....	10
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	21
9	Pubblicazioni scientifiche.....	22
10	Eventi di disseminazione	23

Indice delle figure

Figura 1 – Allerta meteo idrogeologica – idraulica tratta dal sito di ARPAE Emilia-Romagna. .	10
Figura 2 – Volumi di acqua presenti nella vasca di laminazione del caso A nella condizione attuale.....	11
Figura 3 –Percentuale dei volumi di acqua relativi ai vari scarichi nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso il software EPA SWMM per i 7 scenari e per il caso di studio A.	12
Figura 4 – Efficienza del riuso per i 7 scenari del caso di studio A nel periodo 2018-2023.....	13
Figura 5 –Volumi di acqua riutilizzati per i 7 scenari del caso di studio A nel periodo 2018-2023	13
Figura 8 – Percentuale dei volumi di acqua relativi ai vari scarichi nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso il software EPA SWMM per i 7 scenari e per il caso di studio B.	14
Figura 9 –Efficienza del riuso per i 7 scenari nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso il software EPA SWMM per il caso di studio B.	14
Figura 10 –Volumi di acqua riutilizzati per i 7 scenari nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso il software EPA SWMM per il caso di studio B.	15
Figura 11. Indicatori ottenuti per i vari casi simulati	16
Figura 12. Valore degli Indicatori numerici per ogni scenario simulato per l'analisi di sensitività riferita all'edificio del caso di studio B6.....	16
Figura 13. Punteggio totale ottenuto per l'analisi di sensitività riferiti al caso di studio B6.	17
Figura 13. Precipitazione a scala giornaliera sui due periodi di riferimento.	18
Figura 13. Funzione di distribuzione di probabilità delle cumulate di precipitazione annuali. ..	19
Figura 13. Funzione di distribuzione di probabilità del numero di giorni secchi annui.	19

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Tabella riassuntiva dei 6 scenari modellati per i due esempi reali studiati A e B. ...	12
--	----

1 Risultati attesi

Il progetto di ricerca aveva i seguenti risultati attesi come da capitolato vigente:

- Individuazione di indicatori numerici che consentano, preliminarmente, di valutare se un sito o un manufatto esistente sono idonei ad applicare la strategia descritta. Tali indicatori terranno conto delle caratteristiche del sito (estensione, grado di impermeabilizzazione, ecc.), delle caratteristiche del recapito di valle (fognatura, corpo idrico, limite di portata smaltibile, ecc.) e degli usi per i quali l'acqua meteorica recuperata potrà essere impiegata (servizi igienici, irrigazione aree verdi, ecc.).
- Definizione di equazioni-algoritmi che consentano di individuare le strategie migliori per ottimizzare il funzionamento degli invasi a scopo multiplo.
- Descrizione dei modelli numerici maggiormente idonei per la simulazione idrologica-idraulica dei manufatti e degli scenari climatici individuati.

2 Risultati ottenuti

Indicatori individuati per la valutazione dell'idoneità o meno del sito:

Sono stati individuati cinque indicatori, due di tipo progettuale e tre di tipo prestazionale, per valutare l'efficacia l'utilizzo dell'invaso di laminazione come vaso multiscopo. Per il calcolo di tali indicatori è richiesta un'attività di modellazione idraulica, di cui si forniscono i modelli utilizzati nei vari casi di studio con le differenti strategie di funzionamento. Un indicatore valuta il beneficio energetico legato all'implementazione degli invasi multiscopo. L'applicazione di tali indicatori è stata testata su due casi di studio, differenti sia per quanto riguarda le caratteristiche dimensionali che di funzionamento, sui quali sono state implementate le varie strategie di funzionamento dell'invaso di laminazione come vaso multiscopo attraverso modellazione idraulica. Tale attività ha permesso di valutare l'efficienza del sistema e i relativi benefici in termini ambientali ed energetici e valutato il valore degli indicatori individuati. In particolare, l'indicatore energetico consente di affrontare e analizzare l'impatto sul sistema elettrico nazionale.

Definizione di equazioni-algoritmi che consentano di individuare le strategie migliori per ottimizzare il funzionamento degli invasi a scopo multiplo:

Sono state individuate diverse strategie che consentono di definire le procedure da applicare nella gestione degli invasi. In particolare la sequenza di azioni può essere sintetizzata in: azionamento dello svuotamento preventivo dell'invaso in caso di precipitazione mediante l'utilizzo dei bollettini di allerta meteo emessi dall'ARPAE Emilia-Romagna; azionamento dello scarico dell'invaso di laminazione non fino al completo svuotamento dello stesso, come avverrebbe nel caso di utilizzo della vasca per la sola laminazione, ma solo a partire e fino al raggiungimento di una certa portata nel condotto di ingresso alla vasca; azionamento dello scarico dell'invaso di laminazione a partire e fino al raggiungimento di un certo volume residuo di acqua in vasca; nel caso in cui sia disponibile anche un vaso dedicato al recupero e riuso per l'irrigazione, nei mesi invernali durante i quali non è previsto tale utilizzo, è possibile prevedere un sistema di reintegro che invii l'acqua all'invaso di laminazione. Queste procedure trovano applicazione tramite l'adozione di un modello numerico, EPA SWMM, di tipo open-source, che adotta le idonee equazioni e controlli per poter applicare quanto sopra descritto in funzione dello schema di impianto. Dal punto di vista energetico, l'azione di sollevamenti comporta un consumo energetico parzialmente compensato dal mancato utilizzo di acqua potabile.

Descrizione dei modelli numerici maggiormente idonei per la simulazione idrologica-idraulica dei manufatti e degli scenari climatici individuati:

L'applicazione delle strategie individuate, in relazione al tipo di funzionamento e dei manufatti presenti, è stata realizzata attraverso il codice di calcolo EPA SWMM sviluppato da US-EPA e disponibile sotto forma di codice open-source. Si sono quindi descritti ed evidenziati i diversi processi necessari a modellare e valutare i casi di studio analizzati sia come algoritmi sia come equazioni per il controllo in tempo reale dei manufatti. Il codice è quindi idoneo a modellare serie pluviometriche sia reali sia frutto di scenari climatici. Si è predisposto un manuale d'uso con i file di tutti i casi studiati.

3 Prodotti attesi

Lista dei prodotti hardware/software eventualmente attesi per la LA:

- Fogli di calcolo tipo Excel che consentano di calcolare gli indicatori individuati per valutare l' idoneità o meno di un sito.
- Fogli di calcolo tipo Excel per calcolare i benefici tecnico-energetico-economici nell'adozione di invasi multiscopo.

4 Prodotti sviluppati

Lista dei prodotti hardware/software sviluppati nella LA, illustrando, per il software, le modalità di accesso per gli utenti:

- File in formato excel contenente i seguenti fogli di calcolo:
 - Foglio di calcolo in Excel per il calcolo degli indicatori progettuali e prestazionali, sulla base dei quali vengono assegnati dei punteggi. È stato predisposto un documento illustrativo per la compilazione del file e come funziona il foglio di calcolo.
 - Foglio di calcolo in Excel che permette di quantificare, sulla base degli indicatori precedentemente calcolati i benefici di tipo tecnico, ambientale ed energetico. È stato predisposto un documento illustrativo per l'uso del file.

- Modelli idraulici sviluppati attraverso il software open-source EPA SWMM dei vari casi analizzati con le differenti strategie implementate. È stato predisposto un documento che illustra il funzionamento del codice e i parametri da inserire per la modellazione idraulica e sono stati forniti tutti i file necessari alla modellazione. Il codice di calcolo EPA SWMM completo sia di file sorgente che compilati è liberamente scaricabile dal sito <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Nell'ambito del piano dei rischi erano stati evidenziati due aspetti di seguito riportati. In entrambi i casi si sono verificati parzialmente, ed in entrambi i casi tali aspetti sono stati risolti in modo soddisfacente rispetto al raggiungimento dei risultati attesi.

Si riportano di seguito i rischi che erano stati messi in evidenza e come sono stati affrontati e risolti.

- Per validare le metodologie e gli algoritmi necessari a controllare il funzionamento dei sistemi di svuotamento degli invasi multiscopo risulta utile poter raccogliere informazioni, dati e modalità di gestione di invasi reali, ovvero casi di studio nella città di Bologna nella quale sono disponibili serie pluviometriche del passato di lunghezza trentennale e che consentirebbero di testare le procedure proposte. La mancanza di casi di studio reali nella città di Bologna potrebbe essere una criticità da affrontare e risolvere.

La soluzione della criticità descritta si è verificata solo parzialmente, ovvero un caso di studio reale e realizzato da alcuni anni è stato individuato e studiato dove gli edifici sono destinati ad uffici. Un secondo caso è stato individuato in fase realizzativa, dove si disponeva del progetto di dettaglio con le dimensioni e le caratteristiche degli invasi ma non era ancora completamente realizzato e funzionante. Le caratteristiche di tipo residenziale dell'immobile e i dati disponibili hanno comunque consentito di renderlo come caso esemplificativo e significativo per lo studio.

- Per verificare l'affidabilità delle previsioni meteo necessarie a gestire i dispositivi di svuotamento degli invasi multiscopo è utile poter disporre di dati di previsioni meteo da confrontare con quanto poi effettivamente verificatosi. La mancanza di previsioni meteo su periodi sufficientemente lunghi, tali da includere diverse stagioni, può rappresentare una criticità rispetto alla verifica dell'affidabilità delle procedure proposte.

La soluzione della criticità descritta è stata affrontata durante la fase di raccolta dati e di analisi scientifica di progetto. Infatti, diversamente da quanto ipotizzato inizialmente al posto delle previsioni meteo, difficili da trovare per il passato, si è optato di utilizzare i bollettini delle allerte meteo prodotte da ARPAE Emilia-Romagna disponibili per 6 anni. Questo ha consentito di applicare le procedure e gli algoritmi individuati in modo soddisfacente.

6 Sintesi delle attività svolte

Dopo l'analisi dello stato dell'arte su sistemi di laminazione, di recupero e riuso e di early warning, sono stati individuati due casi di studio nel Comune di Bologna, per i quali sono state implementate diverse strategie di gestione degli invasi di laminazione come invasi multiscopo. I casi sono stati oggetto di modellazione idraulica che ha permesso di individuare degli indicatori progettuali e prestazionali per valutare l'efficacia del sistema. Il sistema di early warning si basa sui bollettini di allerta meteo emessi da ARPAE Emilia-Romagna, disponibili per il periodo 2018-2023. In conclusione, gli scenari e le strategie gestionali adottate hanno consentito di evidenziarne l'efficacia in relazione alla riduzione del consumo di acqua potabile e di valutare sia gli aspetti ambientali che energetici delle soluzioni tecniche e gestionali che potranno essere implementate. Si sono quindi sviluppati fogli excel e file di EPA SWMM idonei per le valutazioni sopra descritte.

7 Dettaglio delle attività svolte

La prima parte di attività ha riguardato l'analisi dello stato dell'arte sui sistemi di laminazione, di recupero e riuso e di early warning. Sono stati individuati due casi di studio nel Comune di Bologna per i quali sono state implementate diverse strategie di gestione degli invasi di laminazione come invasi multiscopo.

Per i casi di studio si sono analizzate diverse modalità gestionali al fine di utilizzare gli invasi di laminazione come invasi multiscopo, ovvero, oltre ad assolvere la funzione di sicurezza idraulica, anche consentire l'accumulo e il riuso delle acque meteoriche per scopi non potabili. Per consentire la doppia funzione è necessario prevedere un sistema di early warning che svuoti l'invaso, in previsione di eventi piovosi critici. Al posto delle previsioni meteo, di complessa gestione e di difficile reperibilità per il passato, sono stati utilizzati i bollettini delle allerte meteo emessi da ARPAE Emilia-Romagna, presenti a partire da maggio 2017. Si riporta a titolo esemplificativo un bollettino pubblicato sul sito: <https://allertameteo.regione.emilia-romagna.it/archivio-meteo> per la previsione di temporali e piene dei fiumi per il Comune di Bologna.

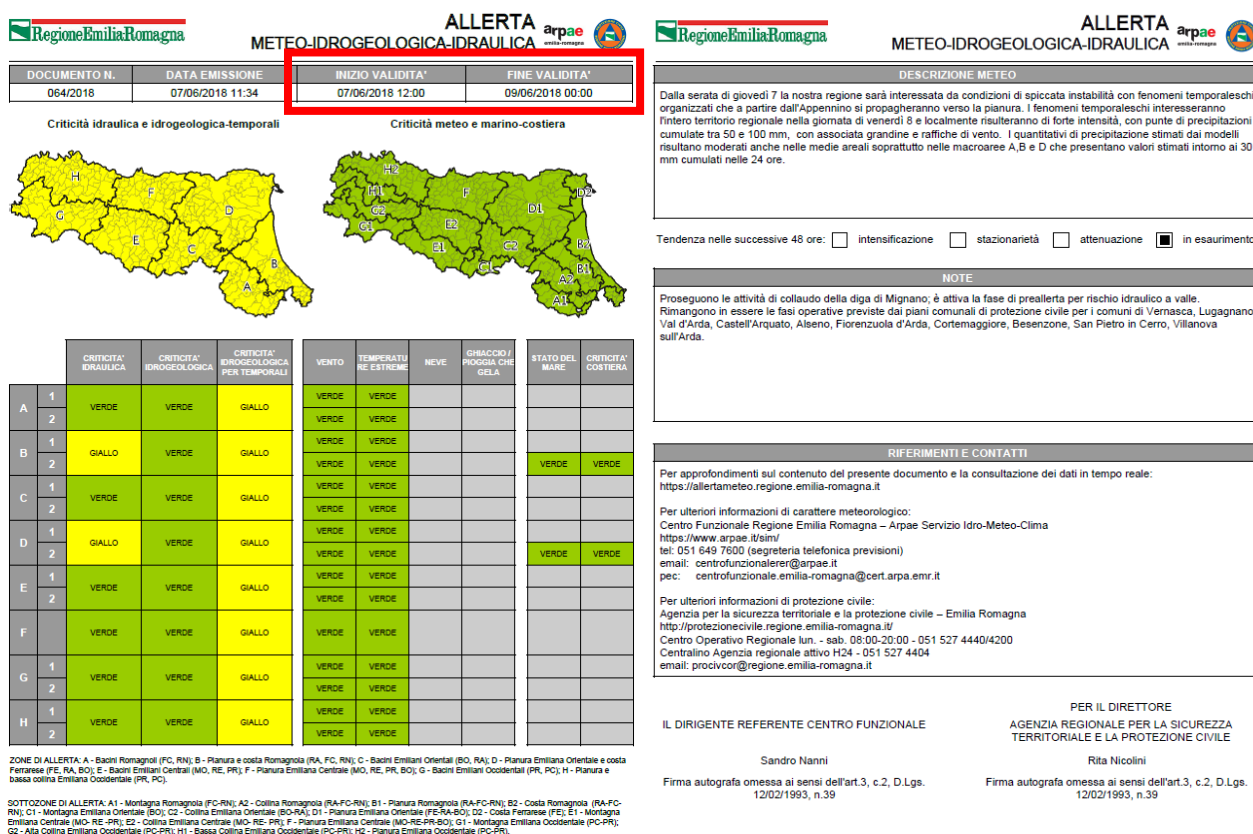


Figura 1 – Allerta meteo idrogeologica – idraulica tratta dal sito di ARPAE Emilia-Romagna

In generale le allerte prodotte dalle ARPA regionali o dalla Protezione Civile sono di facile reperibilità e di dominio pubblico oramai in tutta Italia.

I casi di studio individuati verranno identificati con le lettere A e B. L'esempio A fa riferimento a un complesso di edifici di tipo terziario, destinato a uffici e presenta un invaso di laminazione di volume di 700 m³ che raccoglie l'acqua da una superficie di circa 1.37 ettari. Si prevedono due

modalità di riuso: la prima per la sola alimentazione delle cassette dei WC, per 8 ore al giorno per 5 giorni lavorativi, mentre nella seconda si aggiunge il riutilizzo per l'irrigazione delle aree verdi nel periodo estivo.

L'esempio B riguarda un lotto residenziale, in corso di realizzazione, con due vasche: una per il recupero e riuso a scopo irriguo, di volume di 21 m³, che raccoglie l'acqua dalla copertura, e una vasca di laminazione, di volume di 144 m³, che raccoglie anche l'acqua dai piazzali, di superficie complessiva drenata pari a circa 0.21 ettari.

È stata quindi effettuata, con il software open-source EPA-SWMM, una simulazione idraulica in continuo, nello scenario reale, sulla base delle precipitazioni nel periodo 2018-2023 e sono stati confrontati i volumi più significativi accumulati nella vasca di laminazione con la presenza o meno di un'allerta meteo emessa per tale giorno. Nell'immagine sottostante si riporta il grafico dei volumi in vasca per il caso di studio A.

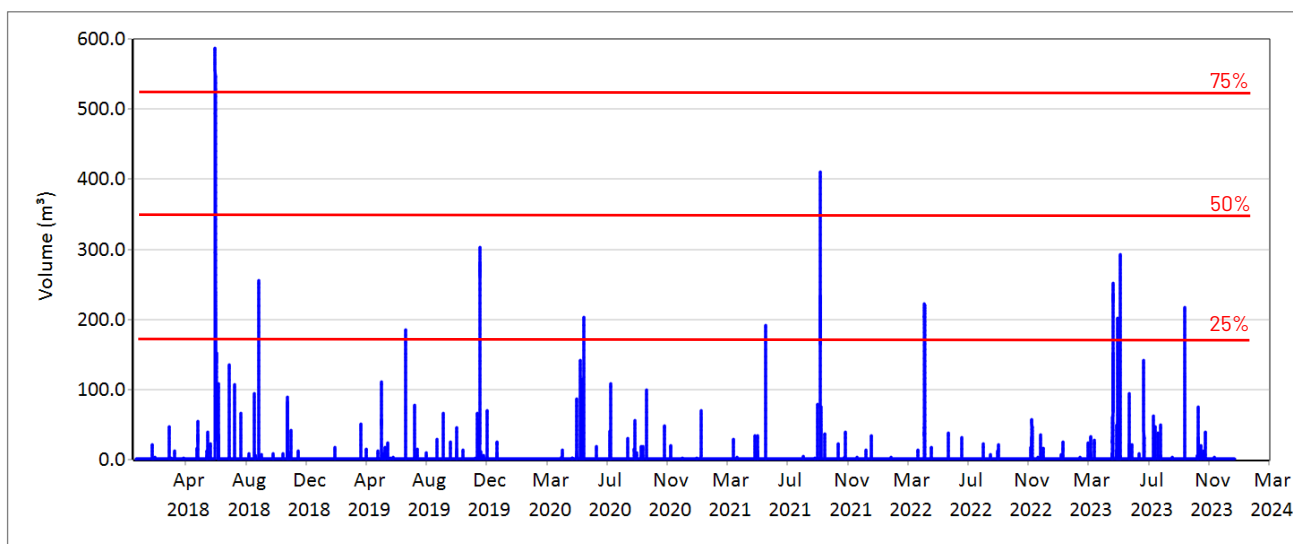


Figura 2 - Volumi di acqua presenti nella vasca di laminazione del caso di studio A nella condizione attuale

I bollettini di allerta meteo mancavano solo in tre casi di tutti gli eventi che avevano superato il 25% di riempimento della vasca e comunque inferiore al 50%. Si ritiene, quindi, affidabile l'utilizzo delle allerte per gestire lo svuotamento della vasca, ovvero in grado di garantire la sicurezza idraulica dell'area. Infatti, il presupposto fondamentale per utilizzare in modo efficace un invaso con la funzione sia di laminazione che di recupero e riuso è quello di riuscire a massimizzare l'accumulo di acqua disponibile, pur garantendo la sicurezza idraulica, che rimane la sua funzione primaria.

A tale scopo sono stati studiati vari accorgimenti, utilizzati poi nell'attività di modellazione:

1. azionamento dello svuotamento preventivo dell'invaso in caso di precipitazione prevista mediante l'utilizzo dei bollettini di allerta di ARPAE Emilia-Romagna;
2. azionamento dello scarico dell'invaso di laminazione non fino al completo svuotamento dello stesso, come avverrebbe nel caso di utilizzo della vasca per la sola laminazione, ma solo a partire e fino al raggiungimento di una portata

predefinita nella condotta in ingresso alla vasca corrispondente ad una pioggia di modesta entità;

3. azionamento dello scarico dell'invaso di laminazione a partire e fino al raggiungimento di un certo volume residuo di acqua in vasca corrispondente ad una percentuale prefissata del volume di laminazione (sono state considerati tre percentuali corrispondenti al 10, 20, 30% del volume complessivo);
4. nel caso in cui sia disponibile anche un invaso dedicato al recupero e riuso per l'irrigazione, nei mesi invernali durante i quali non è previsto tale utilizzo, è possibile prevedere un sistema di reintegro che invia l'acqua all'invaso di laminazione.

Per i due esempi reali studiati sono stati simulati 6 scenari, che presentano varie combinazioni delle strategie di gestione sopra descritte, come riportato nella tabella sottostante.

	Strategia utilizzata	Tipologia Riuso	Volume dedicato [%]
Caso A1	1	wc	/
Caso A2	1 + 2	wc	/
Caso A3	1 + 2 +3	wc	10
Caso A4	1 + 2 +3	wc + irrigazione	10
Caso A5	1 + 2 +3	wc + irrigazione	20
Caso A6	1 + 2 +3	wc + irrigazione	30
Caso B1	1	wc	/
Caso B2	1 + 4	wc	/
Caso B3	1 + 2 +4	wc	/
Caso B4	1 + 2 +3 + 4	wc	10
Caso B5	1 + 2 +3 + 4	wc	20
Caso B6	1 + 2 +3 + 4	wc	30

Tabella 1 - Riassunto dei 6 scenari simulati per i due esempi A e B

Nei grafici sottostanti si riportano i risultati ottenuti in termini di efficienza e volume di acqua recuperato per i vari scenari modellati. L'efficienza indica il rapporto tra l'acqua non potabile riutilizzata rispetto all'acqua potabile che sarebbe stata necessaria per la medesima funzione.

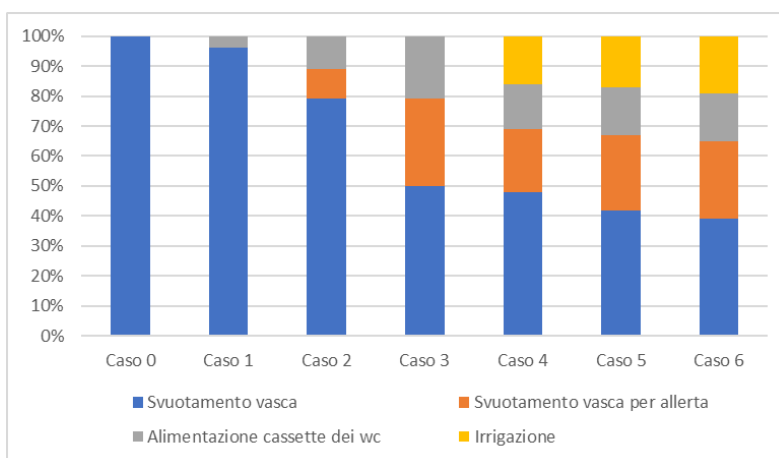


Figura 3 -Percentuale dei volumi di acqua relativi ai vari scarichi nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso EPA SWMM per i 7 scenari e per il caso di studio A

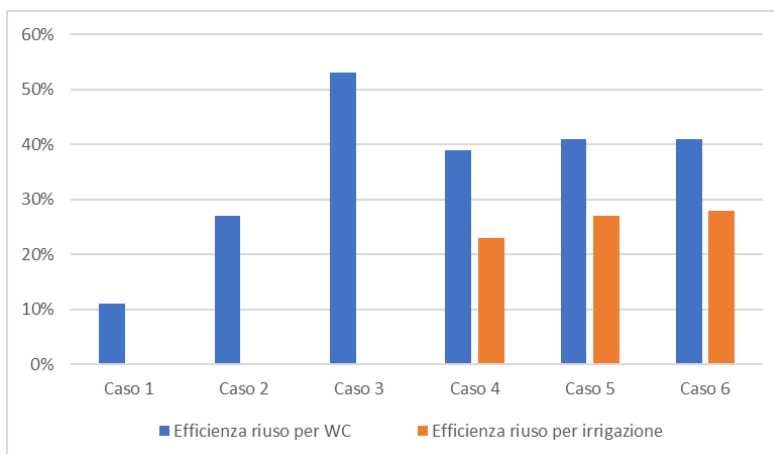


Figura 4 - Efficienza del riuso per i 7 scenari del caso di studio A nel periodo 2018-2023

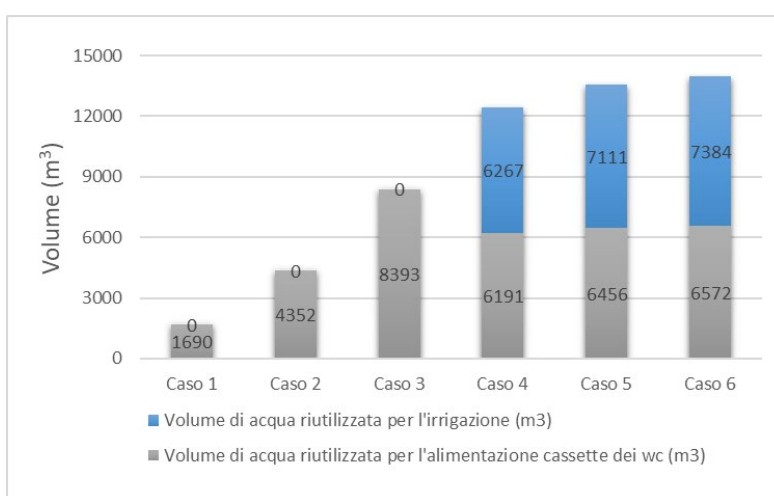


Figura 5 - Volumi di acqua riutilizzati per i 7 scenari del caso di studio A nel periodo 2018-2023

Dal confronto fra i vari scenari si può notare come, all'aumentare delle strategie utilizzate e della percentuale di volume di laminazione dedicato al riuso, aumentino sia le efficienze complessive che i volumi di acqua riutilizzati, che si traduce in benefici sia di tipo ambientale che energetico.

In modo sintetico si riportano anche i risultati per il caso di studio B, relativi all'edificio residenziale.

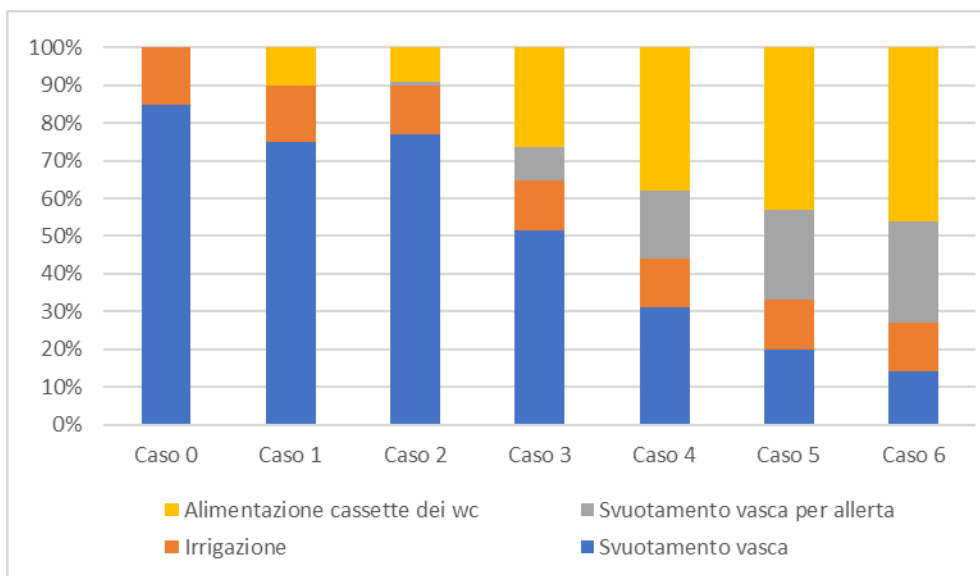


Figura 6 – Percentuale dei volumi di acqua relativi ai vari scarichi nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso EPA SWMM per i 7 scenari e per il caso di studio B

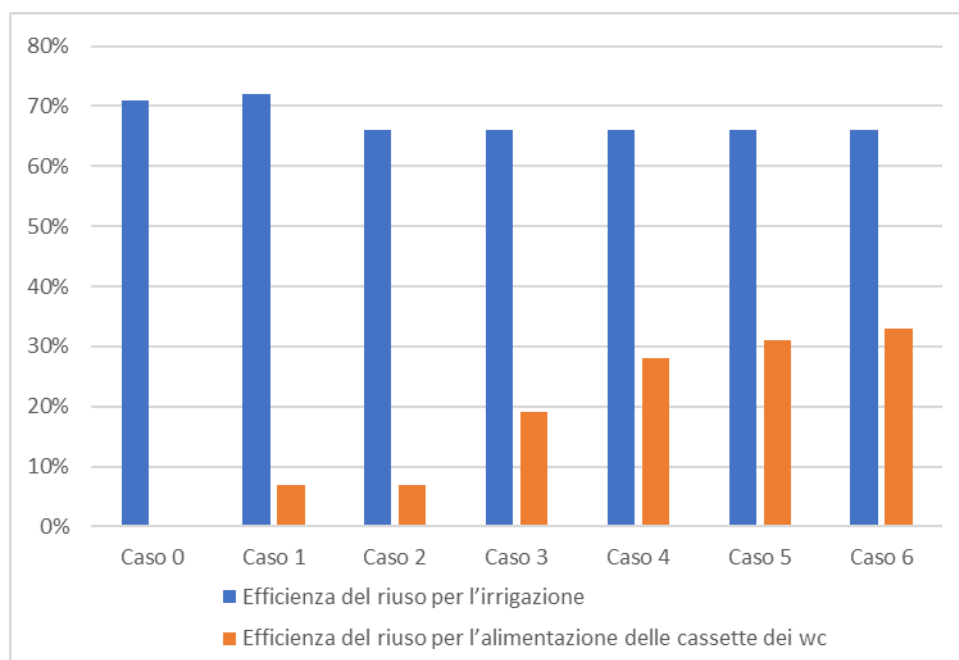


Figura 7 – Efficienza del riuso per i 7 scenari nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso EPA SWMM per il caso di studio B

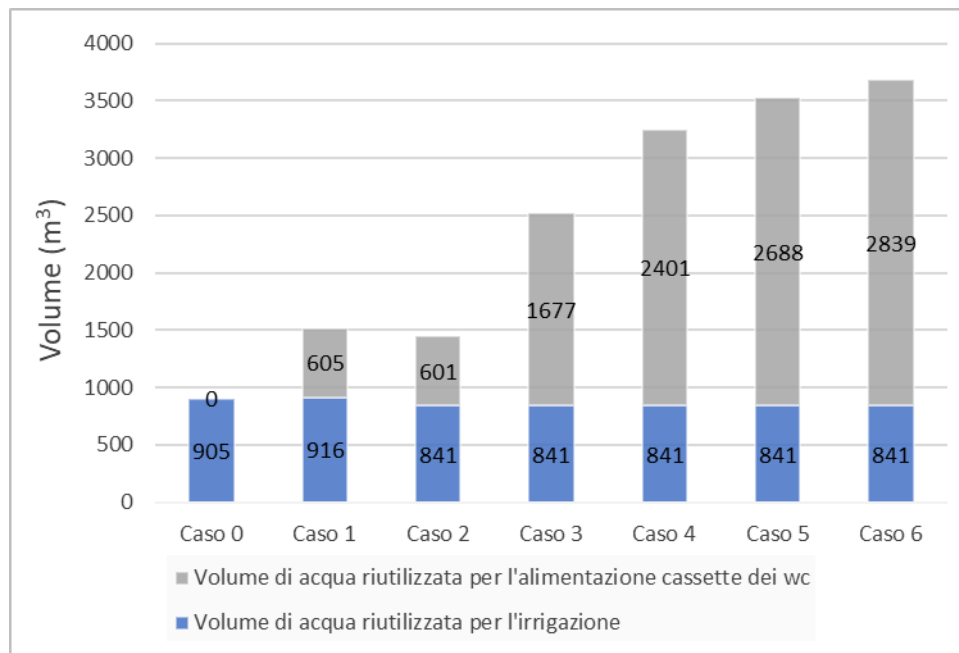


Figura 8 - Volumi di acqua riutilizzati per i 7 scenari nel periodo 2018-2023, derivanti dalle simulazioni attraverso EPA SWMM per il caso di studio B

Per confrontare tra loro i 7 scenari e quantificare l'efficacia dell'utilizzo multiscopo dell'invaso di laminazione, sono stati individuati 5 indicatori:

- Volume recuperabile - V_R : è dato dal rapporto tra volume di acqua meteorica recuperabile e il volume di acqua necessario calcolato secondo la norma UNI 11445; tale indicatore mette in relazione l'estensione dell'area di captazione, le sue caratteristiche, la piovosità del sito e il conseguente volume di acque meteorica recuperabile e la richiesta d'acqua per scopi non potabili da soddisfare.
- Volume specifico - V_s : è dato dal rapporto tra la percentuale del volume di laminazione esistente (più l'eventuale volume di invaso destinato al recupero e riuso se già presente) e il volume da destinare al recupero e il riuso delle acque meteoriche calcolato secondo la norma UNI 11445; tale indicatore permette di valutare l'efficacia di sfruttare l'invaso di laminazione come invaso multiscopo.
- Efficienza - E : è dato dal rapporto tra l'acqua meteorica effettivamente recuperata e riutilizzata per scopi non potabili rispetto alla richiesta totale di acqua di riuso.
- Indicatore Energetico - I_E : è dato dal rapporto tra il consumo energetico dovuto all'utilizzo delle pompe per il sistema di recupero e riuso e di scarico, rispetto al consumo in condizioni tradizionali sommato al consumo energetico dovuto all'approvvigionamento di acqua potabile (da fonte ARERA) in assenza di riuso; tale indicatore permette di stimare l'efficienza del sistema dal punto di vista energetico.
- Indicatore Ambientale - I_A : rappresenta la riduzione del volume di acqua meteorica inviato al ricettore o comunque al sistema fognario di valle ed è dato dal rapporto tra la differenza dell'acqua immessa in fognatura nel caso del solo invaso di laminazione e quella scaricata con sistema di recupero e riuso rispetto a quella immessa nel caso con solo invaso di laminazione. Questo indicatore evidenzia sia l'impatto idraulico delle acque meteoriche, sia l'impatto ambientale nel caso nel caso di scarico in una fognatura

mista legato alla miscelazione di tali acque con quelle reflue e la loro successiva immissione nell'ambiente naturale attraverso gli scaricatori di piena.

È stato assegnato un punteggio ad ogni indicatore con un valore da 1 a 3 in funzione del risultato ottenuto; si considera un punteggio "extra score" di 1 punto se esiste già un sistema di recupero. Il punteggio totale varierà quindi tra un minimo di 5 fino ad un valore massimo di 16 punti per le soluzioni più performanti. Si possono considerare interventi poco efficaci quelli con punteggi tra 5 e 7, sistemi di recupero mediamente efficaci quelli con punteggi tra 8 e 11 e soluzioni molto efficienti quelle con score superiore a 12. Nella Figura sottostante si riportano i punteggi per ogni scenario, da cui si può vedere che i migliori sono: A3, A5, A6, B5 e B6.

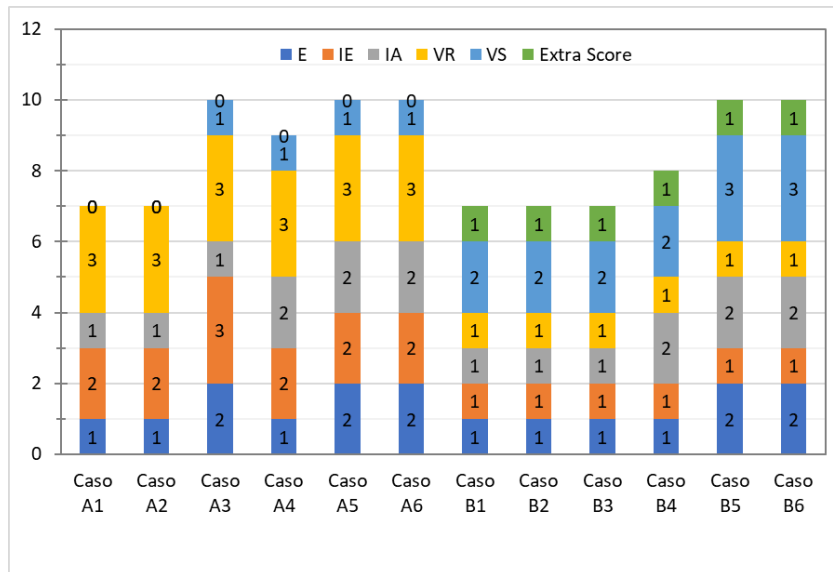


Figura 9 - Indicatori ottenuti per i vari casi simulati

È stata quindi svolta un'analisi di sensitività sul caso di studio B6. Sono state effettuate delle simulazioni riducendo il numero di abitanti equivalenti da 99 a 50 e successivamente a 25; è stata poi incrementata la superficie di captazione prima raddoppiandola e poi quadruplicandola, rispetto al valore reale. Nei grafici sottostanti si riportano i valori ottenuti dagli indicatori.

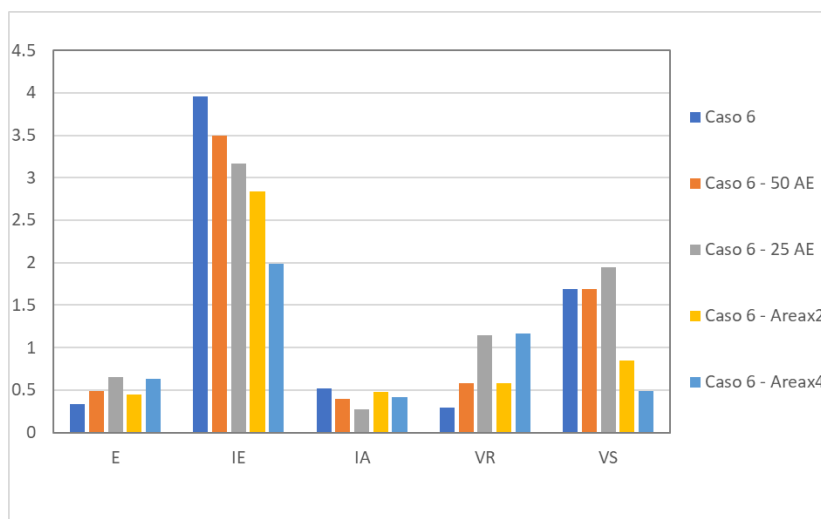


Figura 10 - Valore degli Indicatori numerici per ogni scenario simulato per l'analisi di sensitività riferita all'edificio del caso di studio B6

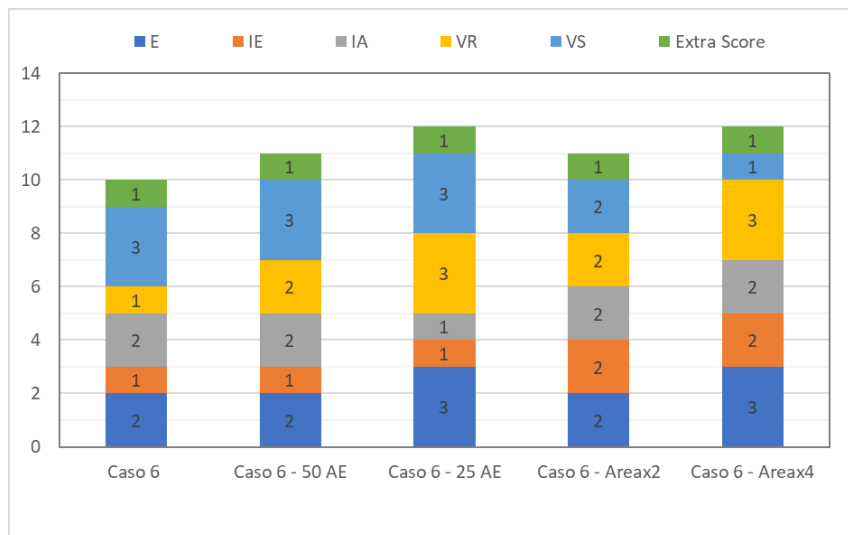


Figura 11 - Punteggio totale ottenuto per l'analisi di sensitività riferiti al caso di studio B6

La riduzione del numero di abitanti equivalenti o l'incremento della superficie di captazione determina un miglioramento dell'efficienza, causando però un peggioramento dell'indicatore ambientale legato all'aumento del volume di acqua indirizzata al ricettore. Allo stesso tempo nel caso della riduzione degli abitanti si ha un miglioramento dell'indicatore energetico dovuto alla riduzione delle ore di funzionamento della pompa del riuso, così come, aumentando l'area aumenta il volume di scarico e quindi le ore di funzionamento delle pompe di svuotamento della laminazione rispetto al consumo energetico per il riuso.

Per i casi di studio A e B, sono state fatte anche delle simulazioni basate sulla serie pluviometrica 1990-2023, senza allerta meteo, per verificare che le strategie adottate non aumentino i rischi idraulici in caso di malfunzionamento o assenza di segnali di allerta. I risultati mostrano che gli eventi critici per la vasca di laminazione restano quelli del caso 0 (funzionamento reale), evidenziando che le scelte sono prudentiali e non comportano incrementi significativi di rischio idraulico.

Occorre poi considerare che il dimensionamento dei sistemi di recupero e riuso che raccolgono le acque meteoriche si basa essenzialmente sulle precipitazioni medie annue del passato che hanno caratterizzato la località di interesse, oltre al tempo secco medio che influenza la dimensione volume del serbatoio di accumulo.

Per tale ragione si è anche cercato di studiare serie pluviometriche future generate da modelli climatici. In particolare, sono state analizzate le serie pluviometriche generate da CMCC e disponibili sul sito <https://dds.cmcc.it/>.

Il dataset originale contiene le altezze di precipitazione a scala oraria in corrispondenza della città di Bologna, per il periodo di riferimento 2040 - 2070. La proiezione climatica è stata sviluppata con una risoluzione di 2.2 km mediante un downscaling climatico del modello globale CMCC-CM, adottando lo scenario RCP 8.5. Lo scenario RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway 8.5) è lo scenario climatico più critico sviluppato per i rapporti dell'IPCC

(Intergovernmental Panel on Climate Change) per prevedere come potrebbero evolversi il clima e le emissioni di gas serra nel futuro. In particolare, è lo scenario che ipotizza un aumento delle emissioni di gas serra ai ritmi attuali ovvero senza significative attività di mitigazione.

Tale serie pluviometrica trentennale è stata comparata con la serie pluviometrica trentennale della città di Bologna per il periodo 1990-2023 rispetto alla serie pluviometrica generata da CMCC sul periodo futuro 2040-2070 con l'obiettivo di confrontarne la precipitazione annua e il tempo secco medio annuo.

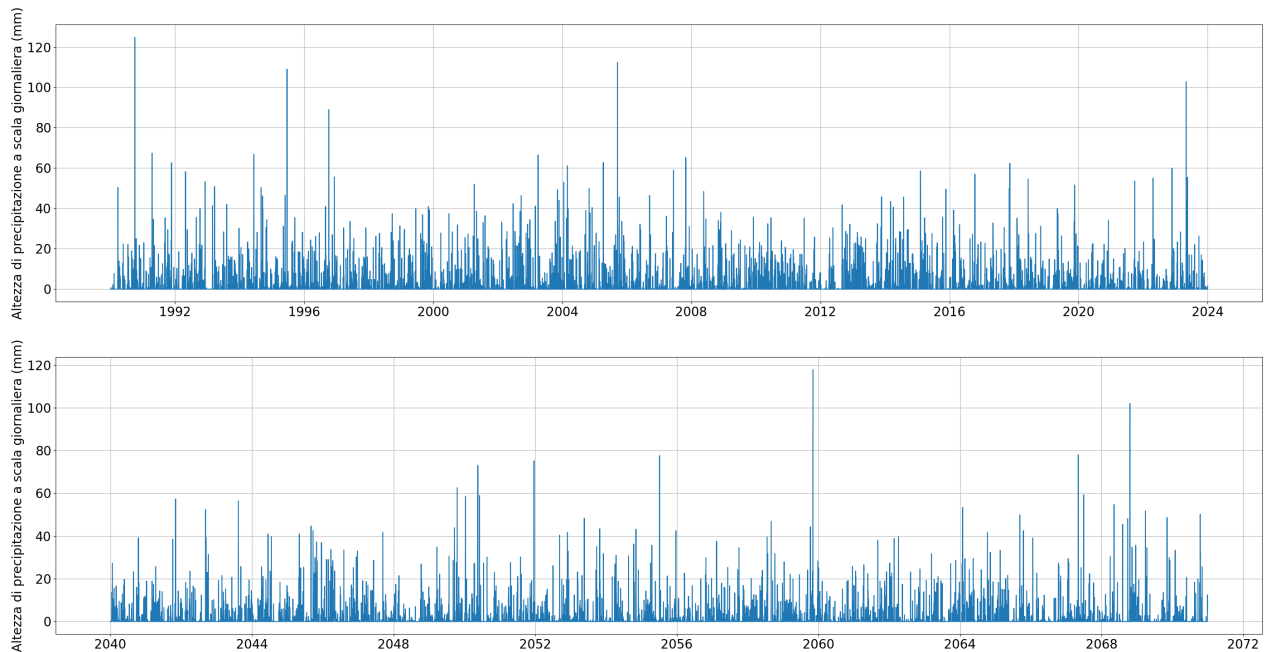


Figura 12 - Precipitazione a scala giornaliera sui due periodi di riferimento

I dati possono essere scaricati, tramite una libreria Python, dal sito di CMCC precedentemente citato, in formato ".nc" (NetCDF - Network Common Data Form), e successivamente elaborato sempre in Python, tramite apposita libreria.

Il grafico successivo mostra le funzioni di distribuzione di probabilità delle cumulate di precipitazione annuale per i periodi di riferimento. Se si considera il 50% di probabilità, il periodo futuro mostra, mediamente, a Bologna, una precipitazione annuale cumulata di circa 580 mm. Per la stessa probabilità, nel periodo storico osservato, 1990-2023, la precipitazione cumulata annuale è circa 730 mm. Ovvero la precipitazione cumulata annua sembra destinata a scendere di circa il 20%.

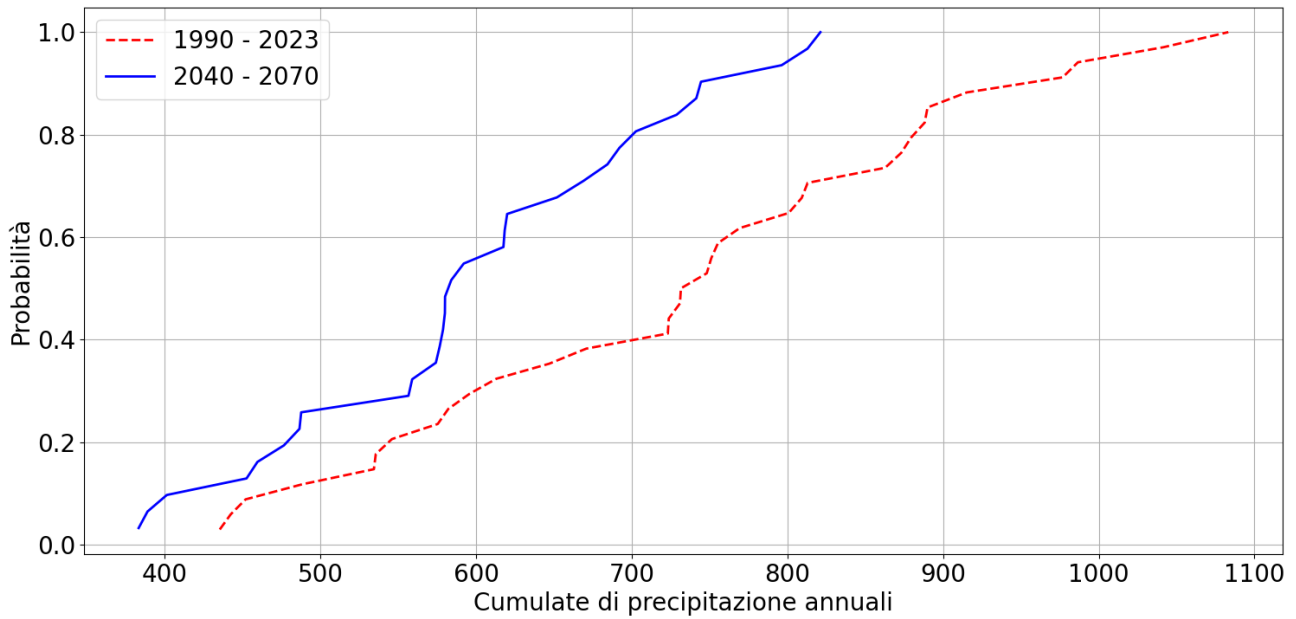


Figura 13 - Funzione di distribuzione di probabilità delle cumulate di precipitazione annuali

Analoga analisi è stata effettuata per valutare il tempo secco annuo medio che incide in modo proporzionale sul valore del volume del serbatoio di accumulo delle acque meteoriche. Il grafico successivo mostra le funzioni di distribuzione di probabilità del numero di giorni secchi annuali. Se si considera il 50% di probabilità, il periodo futuro mostra, mediamente, a Bologna, circa 330 giorni di tempo secco, contro i circa 323 giorni nel periodo storico osservato. Ciò corrisponde ad un incremento di giorni di tempo secco di circa il 2%.

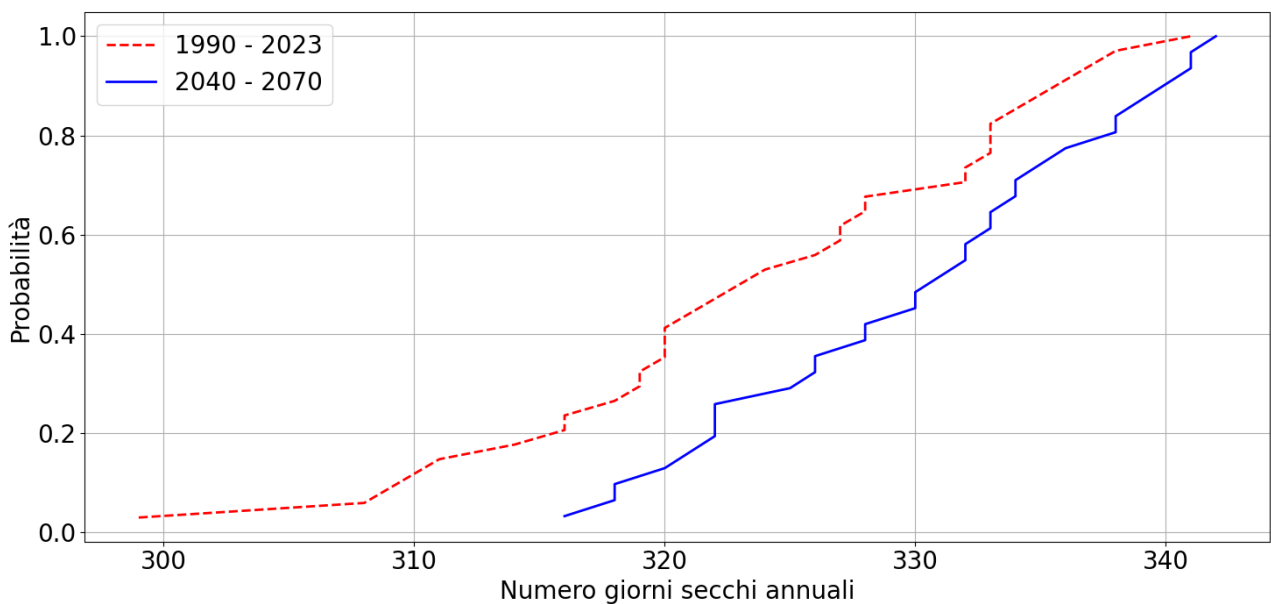


Figura 14 - Funzione di distribuzione di probabilità del numero di giorni secchi annui

Pertanto, se le proiezioni climatiche venissero confermate, il volume dei serbatoi di recupero e riuso potrebbe richiedere un incremento modesto, ovvero pari a circa il 2%, legato all'incremento dei periodi medi di tempo secco. Per quanto riguarda la riduzione delle precipitazioni annue di circa il 20% potrebbe non avere un impatto significati se le superfici di captazione consentono di accumulare volumi annui comparabili con gli usi.

In conclusione, alla luce delle valutazioni effettuate e delle logiche di gestione implementate, il sistema di allerta basato sui bollettini di ARPAE si può ritenere efficace riuscendo a preservare la sicurezza idraulica e allo stesso tempo garantire volumi di acqua nell'invaso per consentirne il riutilizzo confermando l'opportunità di promuovere l'utilizzo degli invasi con funzioni multiscopo.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

All'interno del progetto sono state impiegate due consulenze: la prima dell'Ing. Margherita Altobelli è stata necessaria per la realizzazione e la modellazione di parte degli scenari sviluppati per i due casi di studio attraverso il codice di calcolo EPA SWMM. Tale consulenza ha consentito di predisporre i modelli numerici dei casi di studio e degli scenari oggetto di modellazione attraverso le serie pluviometriche individuate per la città di Bologna. I modelli finali sviluppati per i casi di studio e i diversi scenari in EPA SWMM fanno quindi parte dei prodotti consegnati.

La seconda consulenza è stata sviluppata dall'Ing. Luca Baffoni che ha provveduto a sviluppare codici in Python idonei ad analizzare le lunghe serie pluviometriche sia reali che legate alle piogge future secondo i modelli climatici di CMCC oltre all'analisi dei risultati provenienti dalle simulazioni numeriche. Infatti, i dati possono essere scaricati dal sito di CMCC, in formato .nc (NetCDF - Network Common Data Form), e successivamente elaborati sempre in Python, tramite apposite librerie. Anche l'elaborazione statistica di tali serie pluviometriche per ricavare i parametri necessari alla loro caratterizzazione, in termini di piovosità e tempo secco, è stata ottenuta attraverso idonei codici sviluppati in Python.

9 Pubblicazioni scientifiche

Al momento non sono state realizzate pubblicazioni inerenti alla presente linea di ricerca in quanto ci si è dedicati a sviluppare il progetto. Ora, a progetto concluso si stanno sintetizzando i risultati conseguiti per trasformarli in paper scientifici che potranno essere sottomessi a riviste internazionali nazionali nei prossimi mesi.

Nel corso del 2024 è stata invece completata una pubblicazione assieme ad ENEA relativa a quanto fatto nel PTR precedente 2019-2021:

Mattioli, Davide; Sabia, Gianpaolo; Petta, Luigi; Altobelli, Margherita; Evangelisti, Margherita; Maglionico, Marco. A Modeling Analysis of Wastewater Heat Recovery Effects on Wastewater Treatment Plant Nitrification. *Water*, 2024, 16(8), 1074. <https://doi.org/10.3390/w16081074>

10 Eventi di disseminazione

Al momento non si è partecipato ad eventi di disseminazione in quanto ci si è dedicati a sviluppare il progetto. Ora, a progetto concluso, i risultati dello stesso potranno essere esposti sia a convegni nazionali che internazionali nel corso dei prossimi mesi.