

Appendice: analisi economica delle soluzioni proposte nelle linee di attività LA 5.1 e LA 5.4 (2019)¹

Nella presente appendice si procede ad una valutazione economica di massima dell'applicazione di NBS e RTC alle reti di raccolta delle acque di scarico. Tale valutazione prosegue e completa le analisi effettuate nelle LA5.1 e LA5.4, riportate nei report RdS/PAR2019/081 [1] e RdS/PAR2019/072 [2], relative alle soluzioni proposte per il bacino del Fossolo. Si riportano sinteticamente i casi analizzati:

- **Scenario 0: rete reale.**
- **Scenario 1: implementazione della rete con un sistema RTC.** La rete è stata implementata con un sistema RTC locale al fine di ottimizzare la capacità di invaso della rete di drenaggio utilizzando sette paratoie gestite da algoritmi PID in funzione del livello a monte della paratoia stessa.
- **Scenario 2: introduzione delle coperture verdi (con e senza sistema RTC).** È stato ipotizzato l'inserimento di coperture verdi estensive in sostituzione alle coperture tradizionali presenti nell'area per un totale di circa 8.2 ha.
- **Scenario 3: aumento della permeabilità (con e senza sistema RTC).** Al fine di simulare l'inserimento di soluzioni verdi diffuse, quali fasce filtro e pavimentazioni o aree permeabili, per la mitigazione dei deflussi immessi in rete, è stata incrementata del 100% la permeabilità dei sottobacini dell'area oggetto di studio escludendo le coperture, per un'estensione di circa 16.46 ha.
- **Scenario 4: aumento della permeabilità introducendo le coperture verdi (con e senza sistema RTC).** Al fine di simulare l'inserimento di soluzioni verdi diffuse, quali fasce filtro e pavimentazioni o aree permeabili, per la mitigazione dei deflussi immessi in rete, è stata incrementata la permeabilità dei sottobacini dell'area oggetto di studio escludendo le coperture per le quali è stato utilizzato il modulo LID come descritto per lo Scenario 2.
- **Scenario 5: aumento della permeabilità del 15% delle aree impermeabili (con e senza sistema RTC).** Al fine di simulare l'inserimento di soluzioni verdi diffuse, quali fasce filtro e pavimentazioni o aree permeabili, per la mitigazione dei deflussi immessi in rete, è stata incrementata la permeabilità dei sottobacini dell'area oggetto di studio del 15%, escludendo le coperture, per un'estensione pari a circa 2.47 ha.
- **Scenario 6: introduzione di impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche per scopi non potabili (con e senza sistema RTC).** È stato ipotizzato l'inserimento di 7 macro invasi, collocati a monte delle paratoie mobili nel caso di rete con RTC, dotati di un sistema di sollevamento per simulare il prelievo degli utenti e di un troppo pieno che reimmette in rete l'acqua in eccesso. Questi impianti sono stati dimensionati secondo normativa UNI/TS 11445 e mirano al recupero dell'acqua meteorica necessaria per soddisfare la richiesta idrica non potabile per gli scarichi dei wc di circa il 60% degli utenti residenti.
- **Scenario 7: introduzione di invasi distribuiti lungo la rete (con e senza RTC).** È stato ipotizzato l'inserimento di 6 invasi fuori linea in differenti punti della rete, alimentati attraverso l'inserimento di una soglia laterale e dimensionati per invasare:
 - **Scenario 7.a:** 10 m³/ha, per un volume complessivo di 450 m³;
 - **Scenario 7.b:** 50 m³/ha, per un volume complessivo di 2245,5 m³.

Le vasche rimettono in rete il volume invasato attraverso una pompa con portata costante in uscita pari a 3 l/(s·ha) al fine di garantire una portata inferiore a cinque volte la portata media nera.

¹ Si ringraziano per il contributo alla presente valutazione M. Maglionico e M. Altobelli (DICAM Università di Bologna)

Sono stati valutati i costi relativi alla realizzazione di ogni singola opera, stimando i prezzi al metro quadrato per la fornitura e la posa in opera delle singole tecnologie ipotizzate.

Partendo da uno studio di Dirckx et al. del 2011 [3], sono stati valutati i costi per la realizzazione di un sistema di controllo in tempo reale (RTC) locale con paratoia mobile. Secondo quanto riportato in letteratura, si può stimare il costo per ogni singolo controllo locale, comprensivo di paratoia, sistema di sicurezza, generatore e unità di controllo, per una cifra pari a 35.000 €.

Uno studio realizzato nell’ambito del progetto Life S.O.S. 4 Life – Save Our Soil for Life, condotto tra il 2016 e il 2019 [4], riporta una stima dei costi relativi alla realizzazione delle principali soluzioni NBS. All’interno delle linee guida redatte nel corso del progetto, sono riportate le migliori pratiche per limitare, mitigare e compensare l’impermeabilizzazione dei suoli. È stato, quindi, possibile effettuare una stima dei costi relativi all’installazione di tetti verdi di tipo estensivo, valutati con un costo al m² che varia da un minimo di 70€ ad un massimo di 150 €. Le soluzioni per l’aumento della permeabilità del suolo sono svariate, analizzando i costi delle differenti tecnologie si è arrivati ad un costo medio pari a circa 95 €/m², considerando la possibilità di realizzare pavimentazioni drenanti, con un costo medio di 80 €/m², o soluzioni di bioritenzione, con un costo medio di 110 €/m².

Per identificare il costo per la realizzazione di impianti per il recupero e il riuso delle acque meteoriche è stata considerata la crescita non lineare del prezzo in funzione della dimensione crescente del volume del serbatoio, analizzando i valori di mercato dei serbatoi; allo stesso modo sono stati valutati i costi per l’installazione dell’impianto, realizzando così una curva, la cui equazione permette di valutare il costo di realizzazione dell’opera. Si riporta a seguire il grafico e l’equazione che vincola i costi al volume dell’invaso.

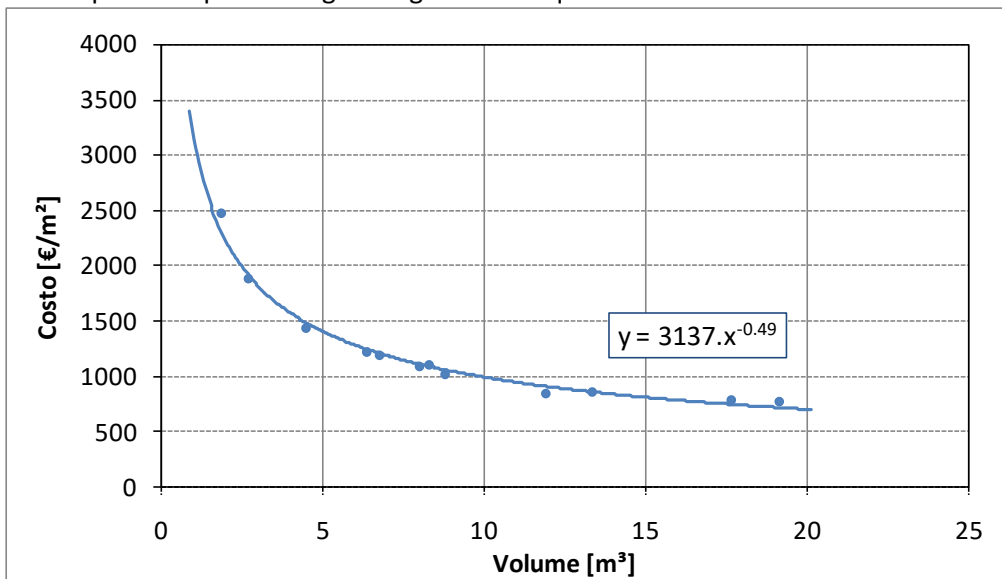


Figura 1 – Andamento del costo di realizzazione di un impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche al variare del volume del serbatoio.

Il costo complessivo dell’opera sarà dato da:

$$Costo = (3137 \cdot V^{-0.49}) \cdot V$$

dove V rappresenta il volume del serbatoio di accumulo.

Nella modellazione dello scenario 6 era stato ipotizzato l’inserimento di 6.450 m³ di vaso al servizio di 5.816 abitanti, schematizzati nel modello attraverso 7 macro-serbatoi; per analizzare il costo dell’opera è stato considerato di realizzare un vaso ogni 16 persone ottenendo così 364 serbatoi da circa 18 m³.

Per identificare il costo per la realizzazione di invasi, attraverso l'uso di scatolari in calcestruzzo, è stata considerata la crescita non lineare del prezzo in funzione della dimensione crescente della sezione dello scatolare, analizzando i valori di mercato; allo stesso modo sono stati valutati i costi per l'installazione dell'impianto, realizzando così una ulteriore curva, la cui equazione permette di valutare il costo di installazione. Si riportano, a seguire, i grafici e le equazioni che vincolano i costi al variare della sezione dello scatolare. I costi che si ottengono sono espressi in €/m e pertanto, per identificare il costo dell'opera, bisognerà definire la lunghezza complessiva degli scatolari affiancati, che determinano il volume complessivo di invaso.

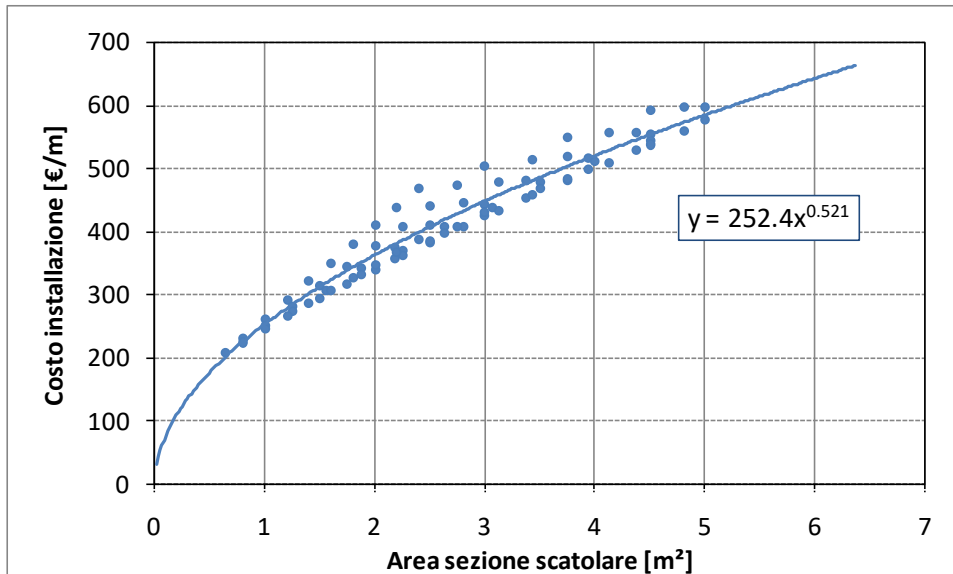


Figura 2 -Andamento del costo di realizzazione di un invaso scatolare data l'area della sua sezione.

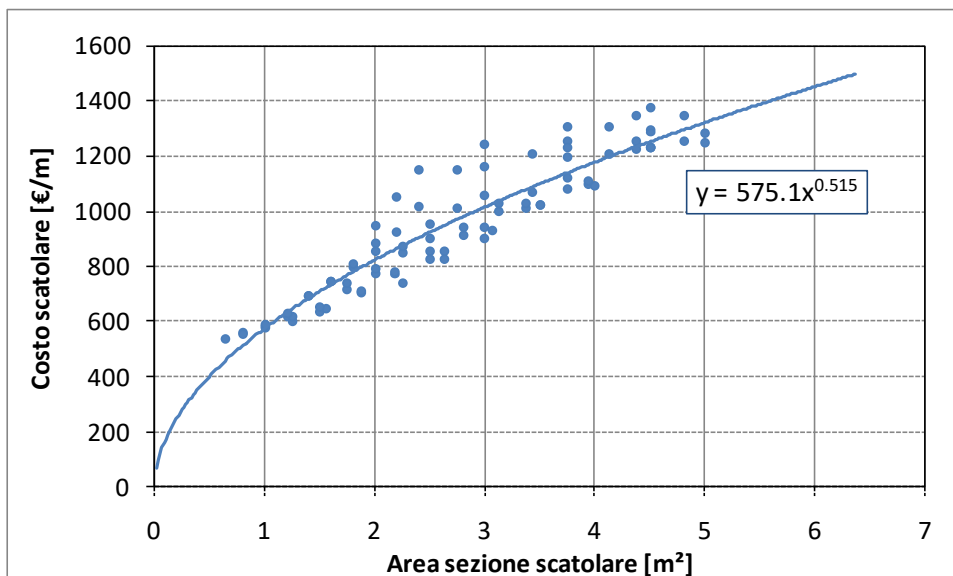


Figura 3 -Andamento del costo dello scatolare data l'area della sua sezione.

Il costo complessivo sarà dato da:

$$Costo = (252.4 \cdot A^{0.521} + 575.1 \cdot A^{0.515}) \cdot L$$

dove A rappresenta l'area della sezione dello scatolare e L la lunghezza complessiva dell'opera.

Nel caso dello scenario 7.a e 7.b sono stati ipotizzati 6 invasi con dimensioni, nel primo caso di 75 m³ cadauno, nel secondo scenario di volume pari a circa 375 m³ cadauno; sono stati scelti degli scatolari con sezione di dimensioni 2 x 2 metri.

Data l'analisi relativa alla riduzione di massa di solidi sospesi (TSS) e di volume inviato al ricettore per l'anno analizzato, al variare delle soluzioni implementate, è stata effettuata un'analisi costi-benefici tenendo conto di quanto appena esposto in funzione dell'estensione della tecnologia e dell'implementazione dei sistemi RTC.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva degli scenari analizzati, riportando la riduzione di massa di solidi sospesi e di volume inviati al ricettore rispetto al caso reale.

Tabella 1 – sintesi delle riduzioni dei volumi e della massa dei solidi sospesi inviati al ricettore per gli scenari analizzati

Id.	Caso	Volume inviato al ricettore [m ³ /anno]	Riduzione di volume rispetto al reale [m ³ /anno]	Massa TSS inviata al ricettore [kg]	Riduzione di TSS [kg]
<i>Scenario 0</i>	Reale	39.251		4.100	
<i>Scenario 1</i>	RTC	26.566	12.685	1.959	2.141
<i>Scenario 2</i>	Tetti verdi	21.716	17.535	2.592	1.508
<i>Scenario 2 + RTC</i>	Tetti verdi + RTC	13.234	26.017	1.153	2.947
<i>Scenario 3</i>	Aumento 100% permeabilità	4.324	34.927	1.474	2.626
<i>Scenario 3 + RTC</i>	Aumento 100% permeabilità + RTC	1.626	37.625	395	3.705
<i>Scenario 4</i>	Aumento 100% permeabilità + tetti verdi	1.604	37.647	312	3.788
<i>Scenario 4 + RTC</i>	Aumento 100% permeabilità + tetti verdi + RTC	521	38.730	88	4.012
<i>Scenario 5</i>	Aumento 15% permeabilità	16.304	22.947	3.258	842
<i>Scenario 5 + RTC</i>	Aumento 15% permeabilità + RTC	8.537	30.714	987	3.113
<i>Scenario 6</i>	Sistemi per il recupero e il riuso	6.102	33.149	962	3.138
<i>Scenario 6 + RTC</i>	Sistemi per il recupero e il riuso + RTC	3.130	36.121	248	3.852
<i>Scenario 7a</i>	Invasi da 10 m ³ /ha	17.723	21.528	1.846	2.254
<i>Scenario 7a + RTC</i>	Invasi da 10 m ³ /ha + RTC	670	38.581	62	4.038
<i>Scenario 7b</i>	Invasi da 50 m ³ /ha	15.557	23.694	1.812	2.288
<i>Scenario 7b + RTC</i>	Invasi da 50 m ³ /ha + RTC	670	38.581	62	4.038

Dato quanto riportato nella tabella soprastante, si presenta l'analisi dei costi effettuata, per gli scenari analizzati, sulla base delle valutazioni economiche espresse in precedenza.

Tabella 2 – sintesi dei costi derivanti dall'installazione delle opere previste in ogni scenario.

Id.	Caso	Costo tecnologia [€]	Costo RTC [€]	Costo totale opera [€]	Costo riduzione volume [€/m ³]	Costo riduzione massa TSS [€/kg]
<i>Scenario 0</i>	Reale	-	-	-	-	-
<i>Scenario 1</i>	RTC	0	245.000	245.000	19	114
<i>Scenario 2</i>	Tetti verdi	9.020.000	0	9.020.000	514	5.981
<i>Scenario 2 + RTC</i>	Tetti verdi + RTC	9.020.000	245.000	9.265.000	356	3.144
<i>Scenario 3</i>	Aumento 100% permeabilità	15.637.000	0	15.637.000	448	5.955
<i>Scenario 3 + RTC</i>	Aumento 100% permeabilità + RTC	15.637.000	245.000	15.882.000	422	4.287
<i>Scenario 4</i>	Aumento 100% permeabilità + tetti verdi	24.657.000	0	24.657.000	655	6.509
<i>Scenario 4 + RTC</i>	Aumento 100% permeabilità + tetti verdi + RTC	24.657.000	245.000	24.902.000	643	6.207
<i>Scenario 5</i>	Aumento 15% permeabilità	2.345.550	0	2.345.550	102	2.786
<i>Scenario 5 + RTC</i>	Aumento 15% permeabilità + RTC	2.345.550	245.000	2.590.550	84	832
<i>Scenario 6</i>	Sistemi per il recupero e il riuso	4.986.604	0	4.986.604	150	1.589
<i>Scenario 6 + RTC</i>	Sistemi per il recupero e il riuso + RTC	4.986.604	245.000	5.231.604	145	1.358
<i>Scenario 7a</i>	Invasi da 10 m ³ /ha	190.584	0	190.584	9	85
<i>Scenario 7a + RTC</i>	Invasi da 10 m ³ /ha + RTC	190.584	245.000	435.584	11	108
<i>Scenario 7b</i>	Invasi da 50 m ³ /ha	952.920	0	952.920	40	416
<i>Scenario 7b + RTC</i>	Invasi da 50 m ³ /ha + RTC	952.920	245.000	1.197.920	31	297

Si sintetizzano i costi, appena riportati in Tabella 2, relativi alla realizzazione delle opere ipotizzate nei differenti scenari modellati, attraverso un grafico a barre.

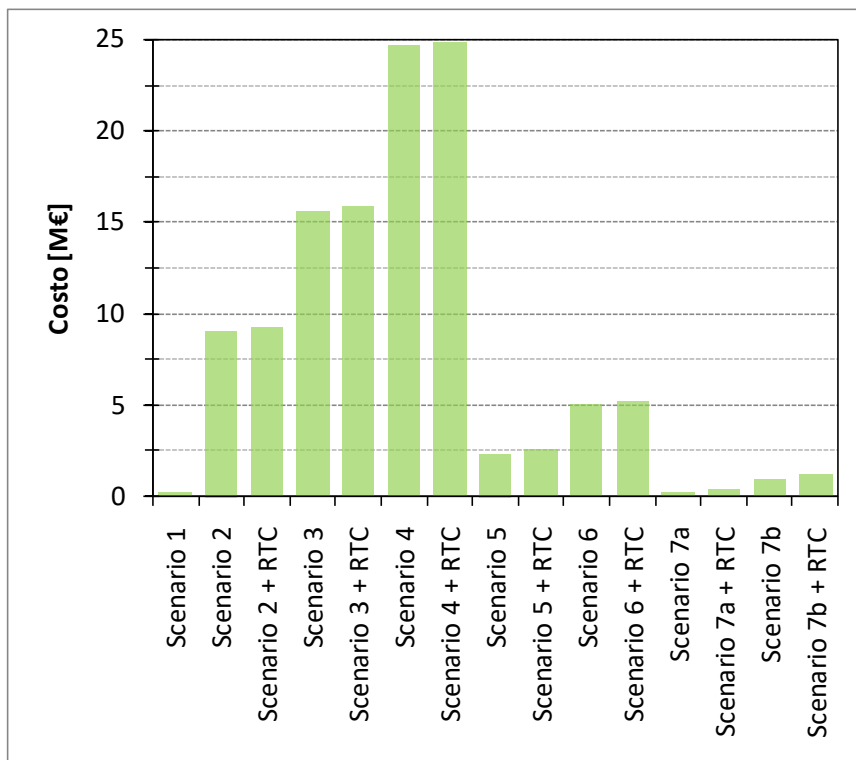


Figura 4 – Sintesi dei costi relativi alla realizzazione di ogni opera ipotizzata per ogni scenario modellato.

Osservando la Figura 4, si evidenzia un trend dei costi molto elevato per la realizzazione delle soluzioni NBS; ciononostante bisogna tenere conto che tali soluzioni si presentano con estensioni molto elevate, prevedendo la sostituzione di tutte le coperture tradizionali con coperture verdi, o la realizzazione di sistemi in grado di aumentare la permeabilità dell'intera area impermeabile presente nel comparto.

È necessario porre a confronto le riduzioni di volume di acque fognarie e di TSS inviati al ricettore, rispetto al costo di realizzazione di tali tecnologie, andando quindi a sviluppare un'analisi costi-benefici di massima.

Per fare ciò, è stato considerato il costo relativo alla riduzione di 1 m³ di acque fognarie, o di 1 kg di solidi sospesi, per ogni soluzione indagata.

Si riporta nelle figure a seguire la comparazione tra la riduzione di volume, o di TSS, inviati al ricettore, espresse in percentuale, e il relativo costo unitario di ogni singola soluzione.

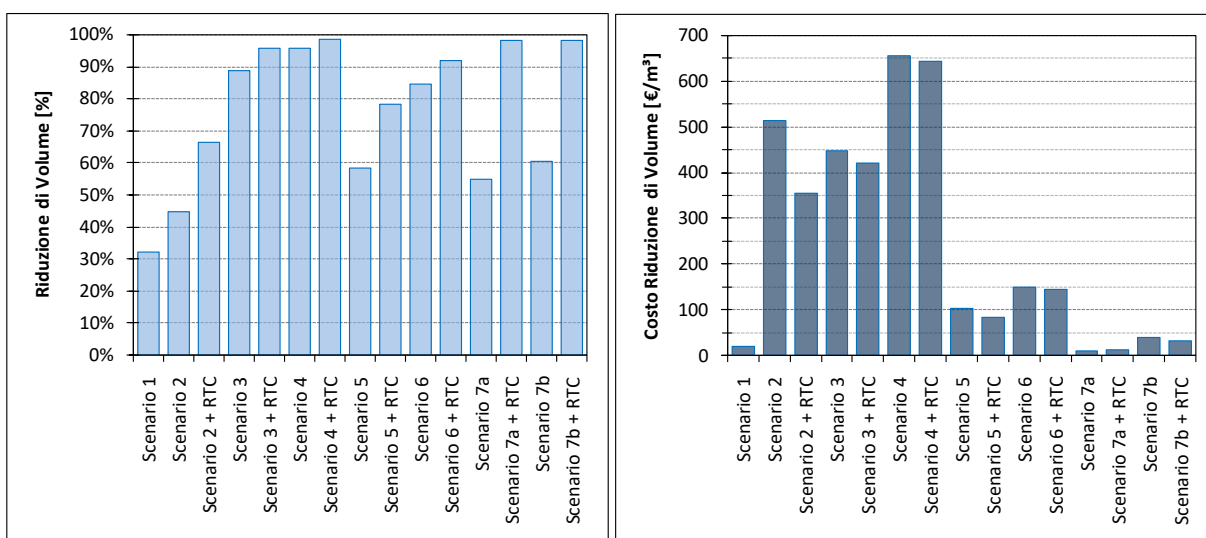


Figura 5 – Comparazione dei costi relativi alla riduzione di volume inviato al ricettore rispetto alla medesima riduzione percentuale per gli scenari analizzati.

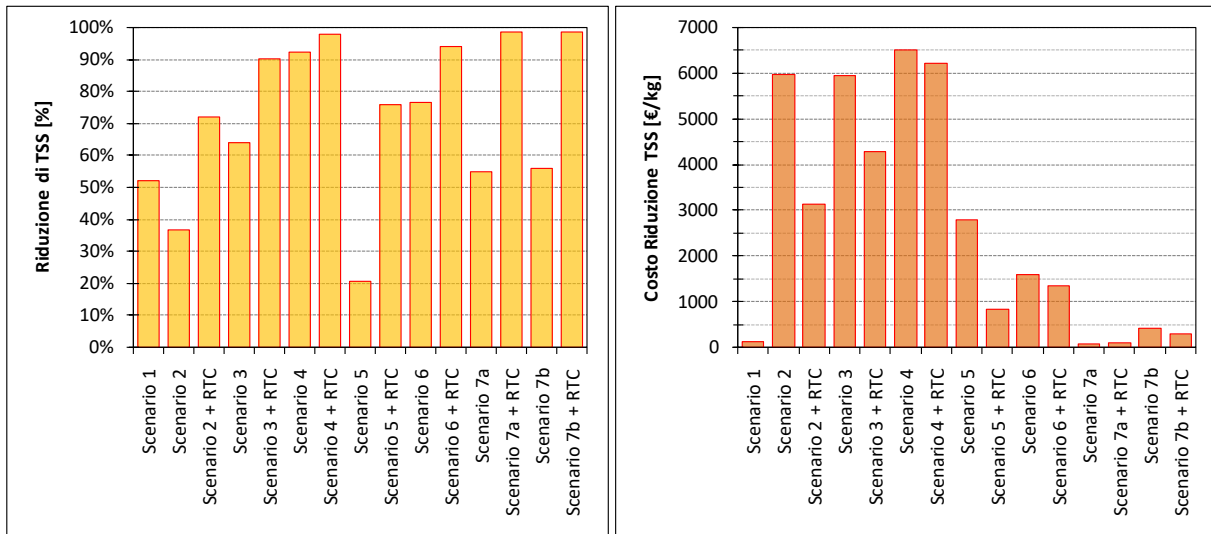


Figura 6 - Comparazione dei costi relativi alla riduzione di TSS inviati al ricettore rispetto alla medesima riduzione percentuale per gli scenari analizzati.

Si può osservare come, a fronte di un costo elevato di realizzazione per ridurre volumi e inquinanti inviati al ricettore, le soluzioni NBS presentino un'elevata capacità di gestire le acque meteoriche, garantendo un elevato beneficio ambientale e una significativa protezione passiva e riduzione della vulnerabilità del sistema urbano a fenomeni di allagamento. Oltre all'aspetto idraulico, vi sono numerosi benefici connessi all'introduzione di queste soluzioni verdi, non facilmente monetizzabili ma ugualmente molto rilevanti, noti come servizi o funzioni ecosistemiche. Si tratta, ad esempio, di aspetti legati alla conservazione e gestione della risorsa idrica (i.e. ricarica della falda, filtrazione delle acque drenanti), alla tutela ambientale e alla prevenzione e mitigazione degli effetti del riscaldamento globale (i.e. assorbimento di CO₂, creazione di aree verdi urbane protette, incremento della biodiversità), ai benefici per la salute e il benessere umano (i.e. realizzazione di spazi verdi fruibili dai cittadini, riduzione dell'effetto "isola di calore"). Sono proprio questi servizi e benefici ecosistemici a spingere l'implementazione delle soluzioni di tipo NBS da parte di enti regolatori e pianificatori del territorio. Dal punto di vista energetico, queste soluzioni (i.e. tetti verdi) permettono di incrementare l'efficienza energetica degli edifici, sia nei periodi invernali sia estivi, attraverso la schermatura delle radiazioni solari e ai processi di evapotraspirazione.

Ad esempio, secondo quanto riportato da Alves et al. (2019)[5], l'utilizzo di pavimentazioni permeabili o di tetti verdi può ridurre la temperatura massima estiva di circa 4°C che corrisponde ad un risparmio di energia delle abitazioni pari al 12% (circa il 3% per ogni grado di riduzione di temperatura).

In considerazione di tutti questi benefici, i regolamenti comunali, con un trend crescente negli ultimi anni, favoriscono l'implementazione di soluzioni NBS, in alcuni casi rendendo obbligatorio il recupero e il riuso delle acque meteoriche e grigie. Pertanto, per concludere quest'analisi, nell'ottica di una valutazione del potenziale applicativo di tali tecnologie, si riportano alcuni aspetti relativi alle modalità di impiego di tali soluzioni:

- Coperture verdi: l'implementazione diffusa di questa tecnologia risulta vincolata dalla capacità portante della struttura dell'edificio, pertanto risulta di più facile realizzazione su strutture di nuova costruzione.
- Incremento della permeabilità: sono molteplici le soluzioni NBS che favoriscono l'incremento della permeabilità (sistemi di bioritenzione, rain garden, canali inerbiti, bacini inondabili, trincee drenanti, pavimentazioni permeabili), ampliando notevolmente le possibilità di trovare una soluzione progettuale in grado di adattarsi ad uno specifico territorio urbanizzato. Escludendo le grandi infrastrutture viarie, tali tecnologie NBS trovano ampio spazio di applicazione anche su tessuti urbani già consolidati, favorendo così la de-pavimentazione nell'ottica di migliorare la qualità della vita e,

dal punto di vista idraulico, alleggerire la rete fognaria esistente che, a causa dell'incremento dei suoli impermeabilizzati e dei cambiamenti climatici, si trova in condizioni di forte stress con conseguente rischio di allagamento urbano.

- Sistemi per il recupero e il riuso delle acque meteoriche: sono soluzioni che, oltre a limitare l'apporto di acqua in fognatura, favoriscono la salvaguardia della risorsa idrica; nei regolamenti comunali è sempre più richiesta la realizzazione di tali impianti nei casi di ristrutturazione edilizia o di nuova costruzione. Data la necessità di realizzare una rete duale, l'applicazione di tale impianto all'interno di edifici esistenti risulta più limitata o quantomeno ridotta a solo una parte dei possibili riutilizzi per scopi non potabili. Per gli aspetti strutturali e per il dimensionamento di questi impianti si rimanda al Report RdS/PAR2018/038 [6].
- Invasi distribuiti o vasche di laminazione: sono solitamente invasi di grandi dimensioni che necessitano quindi di ampi spazi per la loro realizzazione. Sono soluzioni "tradizionali" che permettono di invasare temporaneamente i volumi di pioggia per reimmetterli in ambiente, o in rete, con una portata controllata tale da garantire il principio di invarianza idraulica.
- Sistemi di controllo in tempo reale - RTC: i sistemi RTC si inseriscono sulla rete fognaria, principalmente su quella esistente, al fine massimizzare la capacità di invaso della rete stessa; richiedono un'approfondita conoscenza della rete al fine di posizionare le paratoie in modo efficiente. Per poter applicare questa strategia, le attuali reti devono essere state costruite con criteri di conservazione nel tempo e che quindi risultino avere delle condotte più grandi di quanto sarebbe necessario. Per attuare una strategia del genere è sicuramente necessario monitorare in Real Time la rete e poter operare dinamicamente su essa per mantenere determinate condizioni ottimali o preferibili anche durante eventi meteorici. È quindi una tecnologia particolarmente sofisticata e vincolata alla struttura e alle dimensioni della rete stessa.

Bibliografia dell'appendice

- [1] M. Maglionico, M. Altobelli, and S. S. Cipolla, "Report RdS/PAR2019/081 - Nature Based Solution (NBS) e Real Time Control (RTC) a servizio dei sistemi di drenaggio urbano."
- [2] C. Cellamare *et al.*, "RdS/PTR2019/072 - Metodi per la caratterizzazione energetica degli impianti di depurazione e sviluppo di un sistema innovativo per l' autoprodotzione energetica."
- [3] "G. Dirckx, M. Schuetze, S. Kroll (2011). 'RTC versus static solutions to mitigate CSO's impact.' 12th International Conference on Urban Drainage - Porto Alegre, Brazil. doi: 10.13140/RG.2.1.1089.4564." .
- [4] "'Liberare il suolo. Linee guida per migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici negli interventi di rigenerazione urbana', Progetto SOS4Life Regione Emilia Romagna." .
- [5] A. Alves, B. Gersonius, Z. Kapelan, Z. Vojinovic, and A. Sanchez, "Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management," *J. Environ. Manage.*, vol. 239, pp. 244–254, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2019.03.036.
- [6] M. Maglionico, M. Altobelli, S. S. Cipolla, "Report RdS/PAR2018/038 - Applicabilità di Nature Based Solutions (NBS) in ambito urbano per la gestione delle acque meteoriche In integrazione con sistemi di real time control ed early warning."