



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

# Indicatori di prestazione tecnico-economici per valutare l' idoneità e l'efficacia delle tecnologie verdi a servizio dei sistemi di drenaggio urbano

Maglionico M., Altobelli M., Evangelisti M.



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE  
CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

## INDICATORI DI PRESTAZIONE TECNICO-ECONOMICI PER VALUTARE L'EFFICACIA DELLE TECNOLOGIE VERDI A SERVIZIO DEI SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO

M. Altobelli, M. Evangelisti, M. Maglionico (UNIBO)

Dicembre2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: N. 1 - Tecnologie

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

Work package: 5 - Efficientamento energetico degli impianti di depurazione municipale e del trattamento delle acque reflue in ambito industriale

Linea di attività: LA5.3 - Sviluppo di strumenti e prototipi per l'efficientamento di impianti di depurazione

Responsabile del Progetto: Miriam Benedetti

Responsabile del Work package: Davide Mattioli

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione tra ENEA e Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università degli Studi di Bologna "Alma Mater Studiorum" per una attività di ricerca dal titolo: *"Efficientamento energetico ed ottimizzazione funzionale dei sistemi di drenaggio urbano"*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Davide Mattioli

Responsabile scientifico DICAM: Prof. Marco Maglionico

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 STATO DELL'ARTE SULL'IMPLEMENTAZIONE DELLE SOLUZIONI DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE.....	6
3 DISAMINA DEI PUNTI DI FORZA/LIMITI DELLE DIFFERENTI SOLUZIONI PER IL DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE E ANALISI DEI COSTI.....	9
3.1 SISTEMI DI BIORITENZIONE E RAIN GARDEN.....	9
3.2 CANALI INERBITI.....	11
3.3 BACINI INONDABILI.....	12
3.4 BACINI DI DETENZIONE.....	13
3.5 POZZI PERDENTI O DI INFILTRAZIONE E TRINCEE DRENANTI.....	14
3.6 PAVIMENTAZIONI PERMEABILI O DRENANTI.....	16
3.7 TETTI VERDI.....	17
3.8 SISTEMI PER IL RECUPERO E IL RIUSO DELLE ACQUE METEORICHE.....	19
3.9 SOLUZIONI GRIGIE O END OF PIPE SOLUTIONS.....	20
4 BENEFICI E CO-BENEFICI DELLE SOLUZIONI PER IL DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE E CRITERI DI SCELTA.....	22
4.1 BENEFICI E CO-BENEFICI.....	22
4.2 CRITERI DI SCELTA PER L'IMPLEMENTAZIONE DI SOLUZIONI DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE.....	23
4.2.1 Fase 1 - Adeguatezza.....	24
4.2.2 Fase 2 – Analisi dei benefici.....	25
4.2.3 Fase 3 – Analisi dei costi.....	27
4.2.4 Fase 4 – Normalizzazione dei punteggi.....	28
5 INDICATORI URBANISTICI (IU) E INDICATORI DI PRESTAZIONE (PI) PER LA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE.....	30
6 PRODOTTO FINALE PER LA COMPARAZIONE DELLE POSSIBILI SOLUZIONI.....	33
7 CONCLUSIONI.....	37
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	39
9 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	41
10 CURRICULUM DEL GRUPPO DI LAVORO.....	42

## Sommario

I temi sviluppati nel presente documento, come da accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, riguardano lo sviluppo di indicatori tecnico-economici per valutare l'applicabilità delle soluzioni verdi nei sistemi di drenaggio urbano. Partendo da una disamina dei punti di forza delle differenti soluzioni verdi e tradizionali e da un'analisi dei loro differenti costi, sono stati valutati degli indicatori di prestazione da applicare ai sistemi di drenaggio urbano tali da consentire ai diversi attori coinvolti quali pianificatori, gestori e progettisti, di individuare la soluzione più idonea per gestire le acque meteoriche tenendo conto degli aspetti tecnici ed economici. Gli indicatori proposti nella presente attività sono finalizzati a comparare tecnicamente ed economicamente le soluzioni che possono essere adottate nei sistemi di drenaggio per limitare l'impatto sui depuratori e sui corpi idrici ricettori da un punto di vista quali-quantitativo.

L'attività ha portato allo sviluppo di un foglio di calcolo in grado di consentire la comparazione tra le possibili soluzioni alternative e permettere, al gestore/pianificatore/progettista, di individuare la soluzione tecnicamente ed economicamente più idonea.

## 1 Introduzione

I temi sviluppati, come dall'accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM) dell'Università di Bologna, riguardano la predisposizione di Indicatori di Prestazione delle soluzioni verdi e tradizionali al servizio dei sistemi di drenaggio urbano al fine di limitare l'impatto sui depuratori e sui corpi idrici ricettori.

Lo scopo principale dell'attività è quello di individuare e calcolare idonei Indicatori di Prestazione (*Performance Indicators - PI*) da applicare ai sistemi di drenaggio urbano per consentire ai diversi attori coinvolti quali: pianificatori, gestori, progettisti, ecc. di individuare la soluzione più idonea per gestire le acque meteoriche tenendo conto sia degli aspetti tecnici che economici.

Come previsto dall'attività di ricerca si analizzeranno i punti di forza delle possibili soluzioni verdi e tradizionali e allo stesso tempo si riporterà una valutazione economica delle stesse anche in relazione alla loro capacità di ridurre i volumi di acque meteoriche e di inquinanti inviati al ricettore al fine di determinare gli indicatori di prestazione.

## 2 Stato dell'arte sull'implementazione delle soluzioni di drenaggio urbano sostenibile

La necessità di trasformare i sistemi di drenaggio urbano verso una maggiore efficienza, includendo l'utilizzo degli spazi verdi per una gestione integrata del sistema, è ormai riconosciuta a livello internazionale, al fine di far fronte ai sempre più crescenti problemi legati ai cambiamenti climatici e alla crescita dell'urbanizzazione.

A differenza dell'approccio tradizionale, a cui ad un problema spesso corrisponde una sola soluzione, l'approccio basato sulle tecnologie verdi (definite con diversi acronimi quali NBS, SudS, LID, BMP) mette a disposizione un più ampio spettro di soluzioni: non esiste, quindi, una sola soluzione tecnica ottimale. A seconda delle caratteristiche sito-specifiche e in funzione degli obiettivi da perseguire, le tecnologie NBS rappresentano un più ampio pacchetto di soluzioni con cui progettare, grazie ad un approccio multidisciplinare che vede non solo diverse figure professionali ma anche differenti portatori di interesse coinvolti (cittadini, amministrazioni, associazioni, gestori) [1].

L'ambiente urbano vive una serie di dinamiche che lo rendono multidisciplinare e multiscalare, in modo da poter affrontare tutte le problematiche di natura socio-economica a cui è sottoposto. Il cittadino è chiamato a partecipare attivamente alla vita quotidiana dell'ambiente urbano e, pertanto, le sue decisioni vengono prese in considerazione durante l'elaborazione delle NBS in quanto ogni singolo individuo presenta interessi ed esigenze diverse; il miglior risultato si ottiene tenendo conto delle diverse esigenze di tutti gli stakeholders partecipanti. Deve dunque nascere una sinergia tra le diverse parti che compongono il nucleo urbano affinché le potenzialità e l'utilizzo delle NBS possano tradursi nel maggior beneficio possibile.

Un altro aspetto fondamentale riguarda gli strumenti politici, in grado di favorire l'attuazione di determinate soluzioni di drenaggio urbano sostenibile. Gli strumenti per implementare le NBS inerenti la sfera urbana si possono articolare in 4 categorie [2]:

- Strumenti informativi;
- Strategie di stimolo alla cooperazione;
- Strumenti di pianificazione verde;
- Previsione di incentivi.

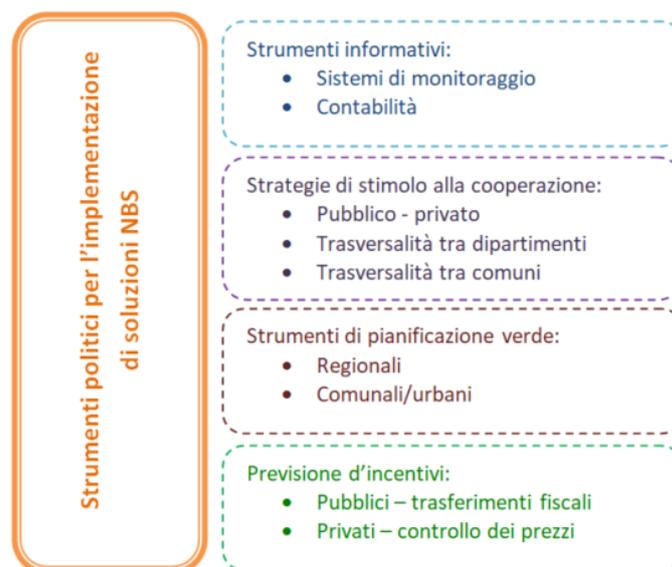


Figura 1. Schematizzazione degli strumenti politici per favorire l'implementazione delle soluzioni NBS.

Gli strumenti politici per l'attuazione della NBS in ambiente urbano sono molteplici e toccano quasi ogni singola area politica nel contesto urbano. Gli strumenti politici coprono una gamma che va da strumenti piuttosto deboli ma di base come i sistemi informativi, come il monitoraggio e la contabilità, oltre a strumenti di comando e controllo, come la pianificazione comunale del verde, fino a strumenti economici che

stabiliscono incentivi tramite prezzi o meccanismi di quantità. Questa classificazione può essere estesa nella direzione degli strumenti che favoriscono la cooperazione, dato che le NBS spesso richiedono un lavoro di squadra interdipartimentale o il sostegno di altri governi allo stesso livello o a livelli superiori.

La pianificazione delle infrastrutture verdi richiede informazioni, per esempio, su benefici e costi di particolari progetti o alternative di progetti. Pertanto, i servizi ecosistemici forniti dalla NBS e il capitale naturale che si accumula investendo in infrastrutture verdi devono essere monitorati e tradotti in sistemi contabili.

Le soluzioni NBS sono ben analizzate e studiate, invece non esiste una valutazione coerente e completa dei servizi ecosistemici nelle aree urbane. Ad esempio gli effetti di riduzione delle “isole di calore”, che aumentano la resilienza urbana nei confronti dei cambiamenti climatici, possono contribuire a ridurre i fattori di stress che derivano dal surriscaldamento e che portano a gravi danni alla salute, i parchi urbani e il loro uso ricreativo possono ridurre lo stress e influenzare positivamente la concentrazione e le prestazioni, la produzione di cibo nel giardinaggio urbano aumenta la consapevolezza per i prodotti locali e regionali e per una dieta sana. Tutti i servizi ecosistemici delle NBS appena riportati, normalmente non sono stati valutati né presi in considerazione nel processo decisionale urbano, anche se il loro valore è sempre più riconosciuto (per quanto riguarda l'aumento dei prezzi delle abitazioni attraverso la vicinanza a spazi verdi urbani) [2]. Una decisione politica e amministrativa informata riguardo quali progetti dare priorità e implementare richiede un'adeguata valutazione e una solida base informativa. Quindi, quando si parla di monitoraggio, si fa riferimento al funzionamento delle NBS e ai servizi (ecosistemici) che forniscono e attraverso l'inclusione dei sistemi di contabilità si può rendere conto del valore e del ritorno degli investimenti in infrastrutture verdi.

I piani di sviluppo urbano e gli approcci di zonizzazione sono strumenti essenziali per il processo decisionale urbano e quindi l'integrazione delle NBS nelle rispettive procedure.

Da un punto di vista strettamente economico invece si nota una distinzione netta tra attore pubblico e privato riguardo all'implementazione delle NBS. Nel primo caso si può attuare una politica di trasferimenti fiscali che si basano meramente su criteri ecologici; nel secondo invece l'attenzione si sposta su quelli che sono i meccanismi di controllo sui prezzi.

Quando si parla di “cooperazione” si fa riferimento alla necessità di promuovere sinergie, infatti, per l'implementazione delle soluzioni NBS, è particolarmente importante che gli spazi verdi urbani non ricevano solo il sostegno dal rispettivo dipartimento comunale che è direttamente responsabile, ma anche da altri dipartimenti comunali che beneficiano di queste NBS. Così la creazione di procedure di pianificazione e di decisione interdipartimentali di pianificazione e procedure decisionali trasversali all'interno di una strategia di soluzioni verdi di un singolo comune può migliorare le prestazioni complessive e la velocità di implementazione.

La natura stessa delle NBS si basa su un continuo miglioramento: il costante studio permette di individuare le migliori proposte sulla base di diversi fattori quali tempo, spazio e ubicazione in funzione anche di un'analisi costi-benefici; la coesistenza di più infrastrutture all'interno della realtà urbana permette di avere un quadro più ampio di carattere sociale e ambientale in continua crescita da monitorare con costanza al fine di garantire un continuo miglioramento e per arrivare all'attuazione dell'intervento migliore in ogni singolo caso specifico.

Importante, quindi, l'aspetto di divulgazione e la partecipazione continua e attiva da parte di tutti gli stakeholders in modo da poter garantire la durata nel tempo e soprattutto la conoscenza di cosa sta avvenendo all'interno del tessuto urbano.

La sinergia degli attori coinvolti e lo sviluppo tecnologico e scientifico possono dunque portare all'aumento della resilienza del tessuto urbano al fine di combattere il cambiamento climatico e tutti gli altri problemi di inquinamento per raggiungere una realtà urbana sostenibile [3].

Riuscire, quindi, a comprendere, analizzare ed identificare i vantaggi e i punti critici delle soluzioni di drenaggio urbano sostenibile permette di individuare le modalità con cui agire per sfruttare al meglio le potenzialità che queste tecnologie offrono.

Nonostante la realizzazione di NBS sia strettamente correlata al contesto in cui ci si trova, è volontà di tutte le parti coinvolte, dai cittadini all'amministrazione, quella di unificare e identificare linee guida che regolino la pianificazione, la valutazione e il conseguente monitoraggio delle azioni svolte.

L'utilizzo di linee guida può aiutare a perfezionare nel tempo la metodologia d'intervento, permettendo di valutare le diverse tipologie di impatto che una soluzione può avere in un ambito rispetto ad un altro con i conseguenti benefici (sociali, ambientali e economici), tenendo conto, in termini di fattibilità, di avere la possibilità di valutare aspetti quali solidità e sostenibilità di un determinato progetto. Il livello di efficienza di una soluzione NBS viene valutato in base alla capacità di gestire un determinato problema, entro il campo d'azione in cui operano, a differenti scale.

In affiancamento alle linee guida, l'individuazione di indici di prestazione e di un modello semplificato a supporto dell'iter decisionale, può favorire una maggiore implementazione di tali soluzioni e, allo stesso tempo, garantire la scelta della soluzione più idonea ed efficiente sia dal punto di vista tecnico che dal punto di vista economico.

### 3 Disamina dei punti di forza/limiti delle differenti soluzioni per il drenaggio urbano sostenibile e analisi dei costi

I sistemi idraulici urbani stanno dimostrando la loro inadeguatezza a fronte delle criticità innescate dagli effetti dei cambiamenti climatici. All'aggravarsi dei fenomeni atmosferici estremi, la gestione dei deflussi superficiali sta diventando sempre più problematica all'interno dei sistemi urbani che negli anni hanno visto un incremento delle superfici impermeabili a scapito dei suoli permeabili e vegetati. Numerosi studi hanno dimostrato l'incremento di eventi estremi e di allagamenti [4], dato l'incremento dell'urbanizzazione [5] assume quindi un ruolo fondamentale la gestione delle acque meteoriche per limitare i fenomeni di allagamento urbano e di sversamenti delle reti fognarie [6].

Le tecnologie verdi, spesso indicate con gli acronimi di Nature Based Solutions (NBS), Best Management Practices (BMP), Sustainable Urban Drainage (SUD) o Low Impact Development (LID), sono tecnologie che vengono installate in modo diffuso sull'area urbanizzata e che consentono di limitare l'apporto delle acque meteoriche alle reti fognarie riducendo in tal modo l'impatto che tali acque hanno sui sistemi depurativi e sui sistemi idrici ricettori. Queste soluzioni consentono pertanto di incrementare la sostenibilità e la resilienza delle aree urbanizzate nei confronti degli eventi meteorici, anche estremi. Attraverso le tecnologie verdi si favorisce quindi l'infiltrazione, l'evapotraspirazione o il riutilizzo dei volumi di pioggia che cadono sulle aree urbane. La scelta di adottare tecnologie verdi o soluzioni tradizionali, le cosiddette *End Of Pipe Solutions* quali ad esempio le vasche di laminazione, deve nascere da valutazioni tecnico/economiche di dettaglio al fine di implementare la soluzione più idonea.

In questa sezione si riportano in modo sintetico le principali tecnologie disponibili, analizzandone i punti di forza, ossia i benefici attesi dalla loro installazione, e i limiti di applicabilità. Allo stesso tempo saranno analizzati i costi di ciascuna tecnologia considerando i costi strutturali dell'opera e quelli necessari per realizzarla. In alcuni casi, i costi dell'opera variano in modo non lineare alla dimensione della stessa, un esempio sono i sistemi per il recupero e il riuso delle acque meteoriche dove il costo dell'invaso di accumulo cresce in maniera non lineare all'aumentare delle dimensioni della cisterna. Allo stesso tempo gli aspetti manutentivi rappresentano un costo da tenere in considerazione al fine di garantire il corretto funzionamento nel tempo dell'opera.

#### 3.1 Sistemi di bioritenzione e Rain Garden

I sistemi di bioritenzione tra cui i "giardini della pioggia" si presentano come depressioni vegetate del terreno, simili ad aiuole ma con una loro funzione tecnica-idraulica importante nel gestire e controllare l'acqua meteorica. Questa tecnologia verde permette la filtrazione e/o l'infiltrazione delle acque meteoriche, adattandosi a diversi contesti quali: riqualificazione urbana, parcheggi, strade e aree residenziali [7]. I Giardini della pioggia sono dimensionati con tempi di drenaggio non superiori a 24-36 ore in modo da garantire un tempo di residenza adeguato alla rimozione degli inquinanti evitando, allo stesso tempo, un eccessivo ristagno di acqua [8].

I principali vantaggi sono:

- Adattabili a diversi contesti;
- Possono essere filtranti e/o ad infiltrazione;
- Versatili in termini di forma;
- Possono essere previsti in integrazione con altre soluzioni NBS;
- Valore estetico;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso;
- Se prevedono l'infiltrazione, favoriscono la ricarica della falda.

Per la progettazione bisogna garantire almeno 3 metri dalle fondazioni degli edifici e bisogna tenere conto della tipologia del terreno che dovrà avere un'adeguata permeabilità.

I limiti di questa soluzione NBS sono:

- Sono associati a superfici impermeabili di modesta entità;
- Se prevedono l'infiltrazione, la falda deve trovarsi a più di un metro dal letto filtrante per favorire un buon livello di abbattimento degli inquinanti [9].

I Rain Garden permettono di mitigare ma non di risolvere le criticità idrauliche connesse ad eventi intensi, anche in presenza di sistemi ad infiltrazione è necessario prevedere una tubazione di "troppo pieno" diretta verso la rete fognaria.

L'area del Rain Garden è pari a circa il 6-15% della superficie di captazione [10] le dimensioni consigliate sono pari a circa 180-300 cm di ampiezza per una lunghezza di circa 300-450 cm, l'altezza massima della depressione è pari a circa 15-30 cm [11]. Tipicamente i sistemi di bioritenzione hanno una superficie pari al 2-4% dell'area di captazione impermeabile [12].

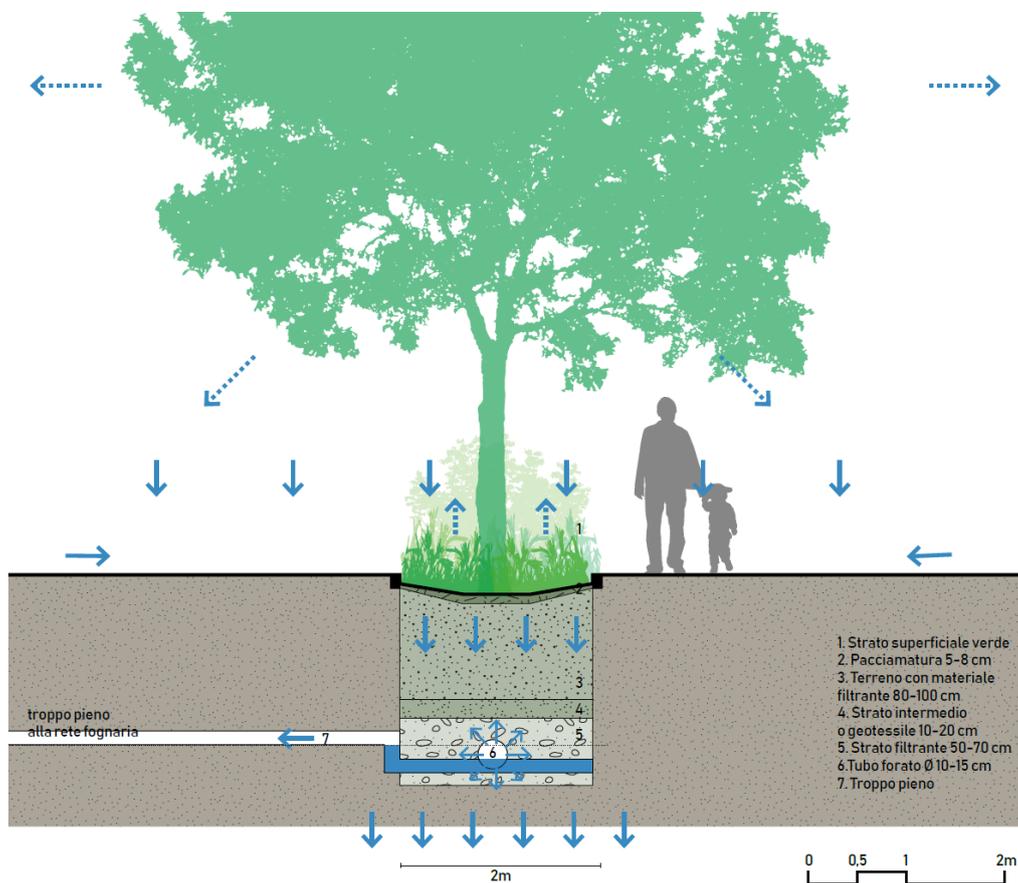


Figura 2. Sezione tipo di sistema di bioritenzione [9].

La manutenzione ordinaria con cadenza trimestrale prevede la raccolta dei rifiuti, controllo dello stato di salute delle piante e pulizia da eventuali piante infestanti, annualmente si procede al controllo e pulizia degli strati filtranti; la manutenzione straordinaria prevede la sostituzione dello strato filtrante se sottoposto a intasamento (tipicamente dopo 20 anni).

Per la realizzazione dello scavo (di altezza pari ad 1 m) e dello strato filtrante (sezione larga un metro e profonda 0.5 m) il costo varia indicativamente da un minimo di 50 €/m<sup>2</sup> ad un massimo di 70 €/m<sup>2</sup>; il costo complessivo dei sistemi di bioritenzione varia sensibilmente in funzione del tipo di piante utilizzate [9]:

- Sistema di bioritenzione con finitura in erba o piante: 120÷150 €/m<sup>2</sup>;

- Sistema di bioritenzione che comprende la realizzazione di percorsi semi strutturati e la finitura in erba o piante: 150÷200 €/m<sup>2</sup>;
- Sistema di bioritenzione con alberi: 300÷800 €/m<sup>2</sup>.

### 3.2 Canali inerbiti

Sono canali a cielo aperto vegetati e poco profondi ma con sezione più ampia rispetto a normali fossati; hanno la funzione di collettare le acque meteoriche, attenuando il deflusso superficiale grazie alla lenta infiltrazione nel terreno ed eseguire una fitodepurazione mediante la presenza delle piante.

Le sponde devono avere la minor pendenza possibile in modo da favorire il pretrattamento delle acque massimizzando la superficie di infiltrazione; la pendenza massima è di 1 su 3 mentre quella consigliata è minore di 1 su 4 [9].

I principali vantaggi sono:

- Adattabilità a contesti come strade sub-urbane, aree residenziali non troppo densamente realizzate e superfici poco pendenti (inferiore al 5%);
- Valore estetico;
- Supporto della biodiversità;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Intercettazione ed evapotraspirazione;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso;
- Se prevedono l'infiltrazione favoriscono il ricarico della falda.

Per la progettazione bisogna garantire almeno 3 metri di distanza dalle fondazioni degli edifici e bisogna tenere conto della tipologia del terreno che dovrà avere un'adeguata permeabilità [8], tipicamente la superficie di raccolta non supera i 40'000 m<sup>2</sup> [8].

Il limite di questa soluzione NBS, se prevede l'infiltrazione, è che la falda deve trovarsi a più di un metro dal letto filtrante per favorire un buon livello di abbattimento degli inquinanti [9,12].

Se il miglioramento della qualità delle acque viene ottenuto prevalentemente attraverso lo scorrimento superficiale, il tempo di percorrenza del flusso d'acqua nel canale deve essere di almeno 9 minuti con una velocità massima di 0.3 m/s e l'altezza del flusso non deve superare in media l'altezza dell'erba [12]. Se l'infiltrazione non dovesse essere possibile si può prevedere l'inserimento di uno strato impermeabilizzante sotto al sistema. La tubazione di troppo pieno è sempre raccomandabile per garantire la gestione di eventi atmosferici di entità superiore alla capacità del sistema.

La manutenzione deve essere periodica al fine di mantenere il canale privo di residui e per controllare l'uniformità del manto erboso.

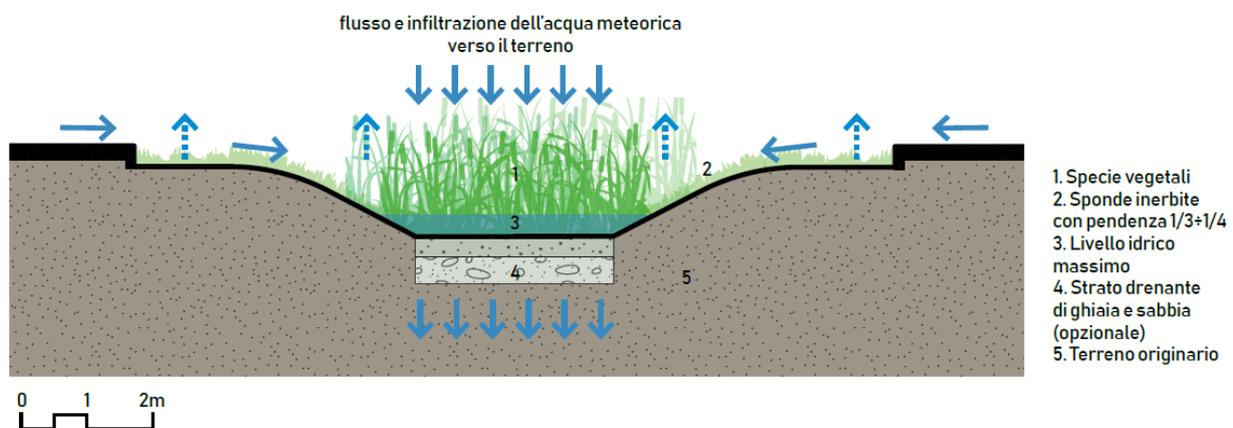


Figura 3. Sezione tipo di canale inerbito [9].

La manutenzione ordinaria con cadenza mensile prevede la raccolta dei rifiuti, lo sfalcio della vegetazione, l'ispezione del canale per prevenire l'instaurarsi di fenomeni erosivi; la manutenzione straordinaria prevede la messa a dimora di nuove piante nelle aree a ridotta crescita vegetale.

Per la realizzazione dello scavo e dello strato filtrante (altezza 50 cm) il costo è indicativamente pari a 50÷55 €/m<sup>2</sup>; il costo è pari a circa 70÷75 €/m<sup>2</sup> compresa la finitura vegetata [9].

### 3.3 Bacini inondabili

I bacini inondabili sono spazi pubblici che in caso di piogge intense hanno la funzione di invasare temporaneamente le acque meteoriche e di favorirne l'infiltrazione nel sottosuolo permettendo la sedimentazione dei solidi sospesi. Sono soluzioni adottate per il drenaggio di aree estese e vengono dimensionati per far fronte ad eventi con tempo di ritorno maggiore o uguale a 10 anni prevedendo un tempo di svuotamento non superiore alle 24-48 ore al fine di renderli fruibili per eventi meteorici successivi evitando al contempo lo sviluppo di zanzare e di odori molesti [9].

Il bacino viene realizzato su fondo permeabile (non più del 30% di argilla) considerando la presenza di pendenze inferiori al 15% [11], e una distanza di 6 m dagli edifici di monte e di 30 metri dagli edifici di valle [13]. I versanti laterali devono avere pendenza inferiore al 20% mentre la differenza di quota tra ingresso e uscita deve essere compresa tra 0.3 e 1 metro [11].

I principali vantaggi sono:

- Adattabilità all'ambiente urbano in aree non dense e non ad alta frequentazione pedonale;
- Valore estetico;
- Versatilità di forma e dimensioni;
- Supporto della biodiversità;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Intercettazione ed evapotraspirazione;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso;
- Favoriscono il ricarica della falda.

Il limite di questa soluzione NBS, se prevede l'infiltrazione, è che la falda deve trovarsi a più di un metro dal letto filtrante per favorire un buon livello di abbattimento degli inquinanti [9,12].

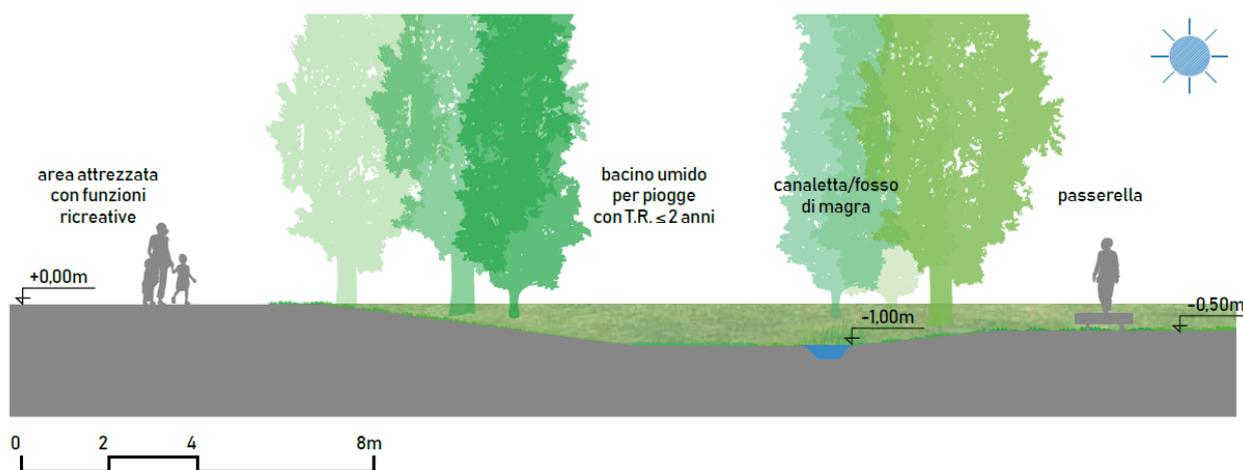
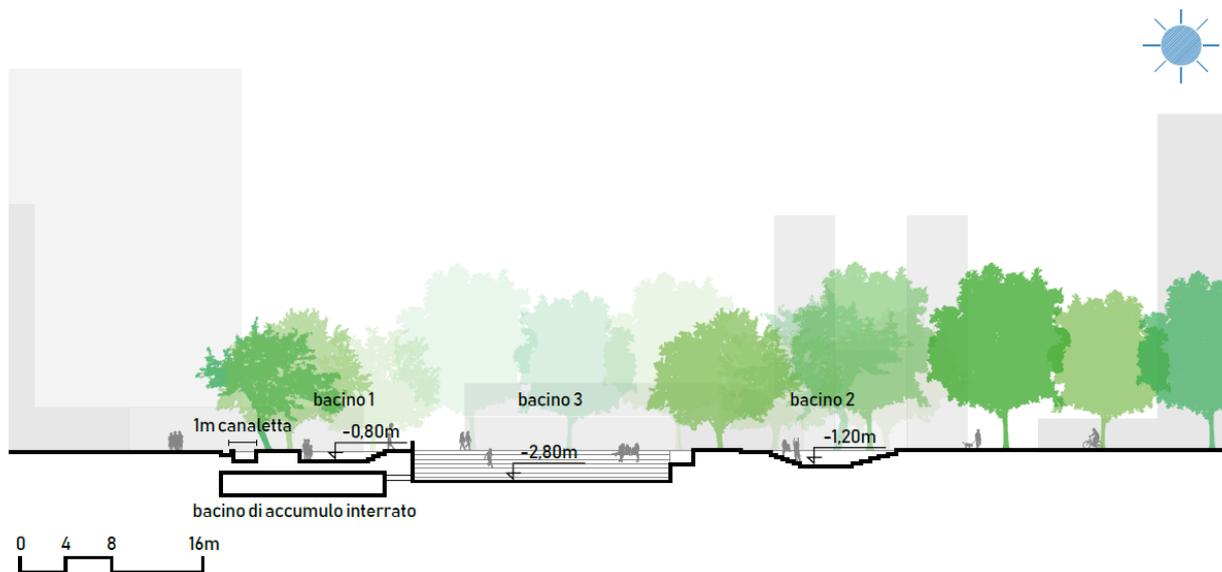


Figura 4. Sezione tipo di bacino inondabile [9].

Possono essere realizzate anche delle piazze inondabili, utilizzando degli spazi urbani fruibili in tempo secco, che si allagano in caso di precipitazioni intense. Sono realizzate con pavimentazioni minerali posate in modo da garantire la parziale permeabilità. In questo caso è necessario prevedere una o più tubazioni di troppo pieno.



**Figura 5. Sezione tipo di piazza inondabile [9].**

È importante garantire l'accessibilità all'area al personale e ai mezzi per la manutenzione. La manutenzione ordinaria e straordinaria riguarda principalmente i manufatti di carico e di scarico a seguito di eventi particolarmente intensi, vengono previste attività di sfalcio del prato, ispezione e pulizia dei manufatti.

I costi indicativi per la realizzazione dei bacini inondabili vegetato prevedono la realizzazione dello scavo con profondità inferiore ad 1 metro e finitura a prato per un costo pari a circa 20÷25 €/m<sup>2</sup>, la de-pavimentazione della superficie se minerale per un costo di circa 10÷20 €/m<sup>2</sup>, la messa a dimora di piante per un costo di 5÷30 €/m<sup>2</sup>. Il costo per la realizzazione di un bacino inondabile vegetato è pari a circa 35÷75 €/m<sup>2</sup>; l'eventuale realizzazione di percorsi pedonali per un costo di circa 300÷600 €/ml. Il costo per la realizzazione di piazze inondabili è di circa 400÷500 €/m<sup>2</sup> [9].

### 3.4 Bacini di detenzione

I bacini di detenzione sono bacini con uno o più specchi d'acqua permanenti che permettono di invasare e fitodepurare le acque meteoriche. I bacini di detenzione presentano una grande varietà di vegetazione acquatica, emergente e sommersa, lungo le sponde e nelle zone umide, queste favoriscono i processi fitodepurativi. Sono utilizzati per drenare e trattare aree sia limitate sia estese (anche maggiori di 10 ettari) [9] e si integrano bene sia in contesti residenziali sia industriali o commerciali.

Viene mantenuto un livello d'acqua minimo permanente mediante la posa di una membrana impermeabilizzante e di un geocomposito bentonitico, il volume di espansione viene interessato durante l'evento di pioggia garantendo una laminazione delle portate.

I principali vantaggi sono:

- Valore estetico;
- Versatilità di forma e dimensioni;
- Supporto della biodiversità;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Intercettazione ed evapotraspirazione;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso.

Il bacino viene caricato da una o più canalizzazioni a monte, i punti di immissione devono essere protetti con materiale idoneo creando un'area di protezione per evitare l'erosione mentre le sponde inerbite e vegetate hanno scarpate con pendenza 1:3 / 1:4. Lo svuotamento del volume che garantisce un contributo di laminazione, ovvero del volume di acqua al di sopra del livello permanente, avviene in un periodo che non deve superare le 24-48 ore per renderlo disponibile per un possibile successivo evento meteorico e si attua attraverso una condotta di scarico verso il corpo idrico recettore (fognatura, corpo idrico superficiale, ecc.)

dotato di bocca tarata per limitare la portata in uscita. È comunque previsto uno scarico di troppo pieno di emergenza nel caso di eventi intensi, posto ad una quota superiore all'evento di progetto [9].

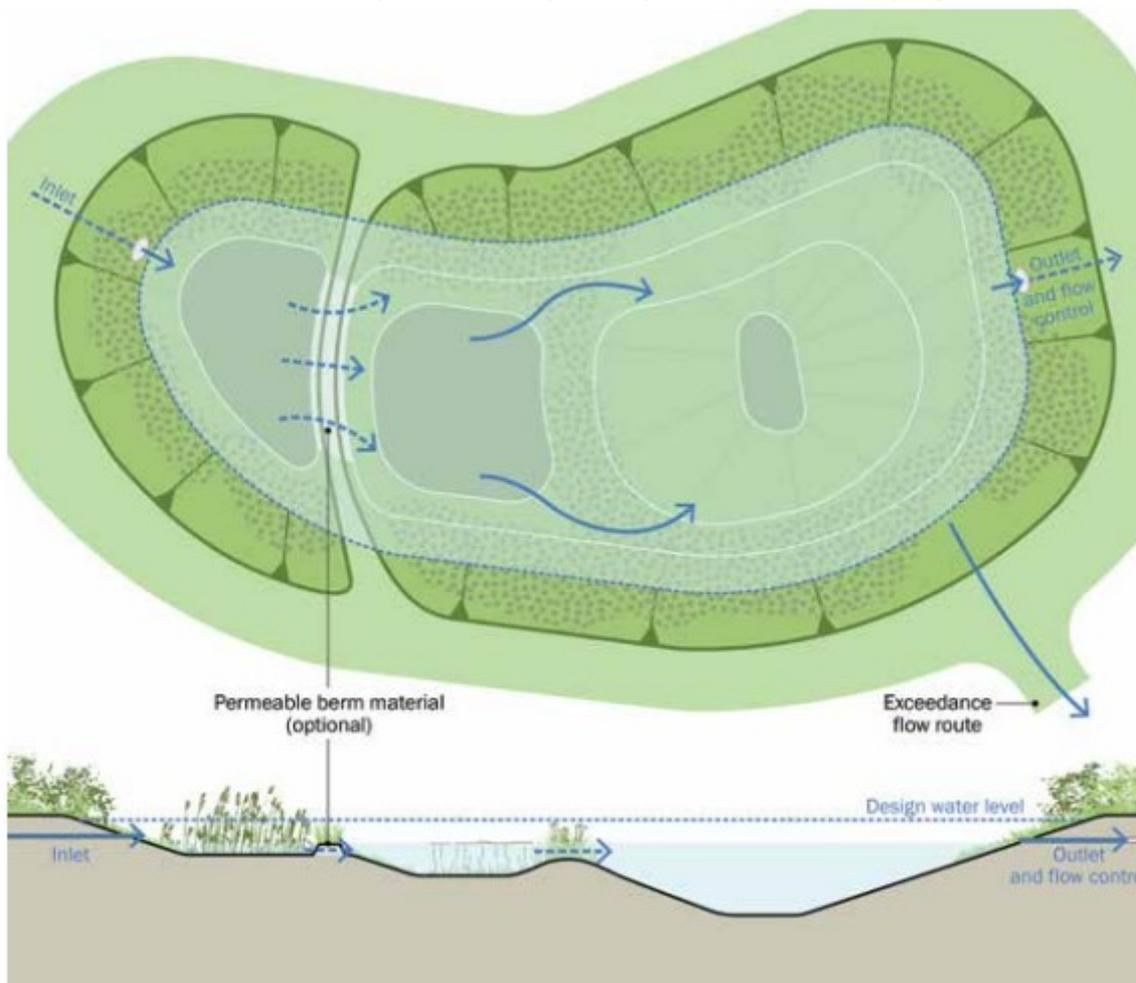


Figura 6. Pianta e profilo tipo di bacino di detenzione [12].

È importante garantire l'accessibilità all'area al personale e ai mezzi per la manutenzione. La manutenzione ordinaria riguarda principalmente i manufatti di regolazione idraulica e delle sponde e l'attività di taglio delle piante e rimozione di quelle morte. La manutenzione straordinaria prevede la rimozione dei sedimenti e la stabilizzazione delle sponde. I costi di manutenzione sono medio-bassi.

I costi indicativi per la realizzazione dei bacini di detenzione prevedono la realizzazione dello scavo con profondità di 1.5 m e realizzazione di parti in ghiaia per un costo pari a circa 60÷80 €/m<sup>2</sup>, la depavimentazione della superficie se minerale per un costo di circa 10÷20 €/m<sup>2</sup>, la messa a dimora di piante per un costo di 25÷30 €/m<sup>2</sup> e la realizzazione dell'impermeabilizzazione del fondo con membrana o geocomposito bentonitico per un costo di 10÷15 €/m<sup>2</sup>. Il costo per la realizzazione di un bacino di detenzione è pari a circa 105÷145 €/m<sup>2</sup>; l'eventuale realizzazione di percorsi pedonali per un costo di circa 300÷600 €/ml [9].

### 3.5 Pozzi perdenti o di infiltrazione e trincee drenanti

I pozzi ad infiltrazione e le trincee drenanti favoriscono l'infiltrazione delle acque meteoriche nel terreno; nel primo caso si tratta di elementi puntuali mentre le trincee sono elementi lineari.

I pozzi vengono utilizzati quando si deve drenare l'acqua di una limitata superficie di captazione, come le trincee drenanti sono interventi a micro-scala.

I pozzi sono caratterizzati da anelli filtranti di diametro pari a circa 1-2 metri in cui viene convogliata ed immagazzinata l'acqua meteorica prima di infiltrarsi lentamente nel sottosuolo; hanno profondità comprese tra 2 e 5 metri e lungo il perimetro degli anelli viene steso un geotessile per evitare l'intasamento dato dal materiale fine.

Le trincee filtranti hanno profondità più contenute rispetto ai pozzi essendo elementi lineari, circa 1-2 metri per una larghezza variabile da 0.5 a 2 m, e presentano una tubazione fessurata sul fondo al fine di distribuire l'acqua meteorica lungo lo sviluppo della trincea favorendo il deflusso verso il ricettore delle acque in eccesso.

I principali vantaggi di queste soluzioni NBS sono:

- Favorire l'infiltrazione in falda;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Intercettazione ed evapotraspirazione;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso.

I limiti di queste soluzioni NBS sono che il terreno deve avere una permeabilità maggiore di  $10^{-5}$  m/s, che la falda deve trovarsi a più di un metro dal letto filtrante per favorire un buon livello di abbattimento degli inquinanti [9,12] e sono solitamente associati a superfici impermeabili di modesta entità [9].

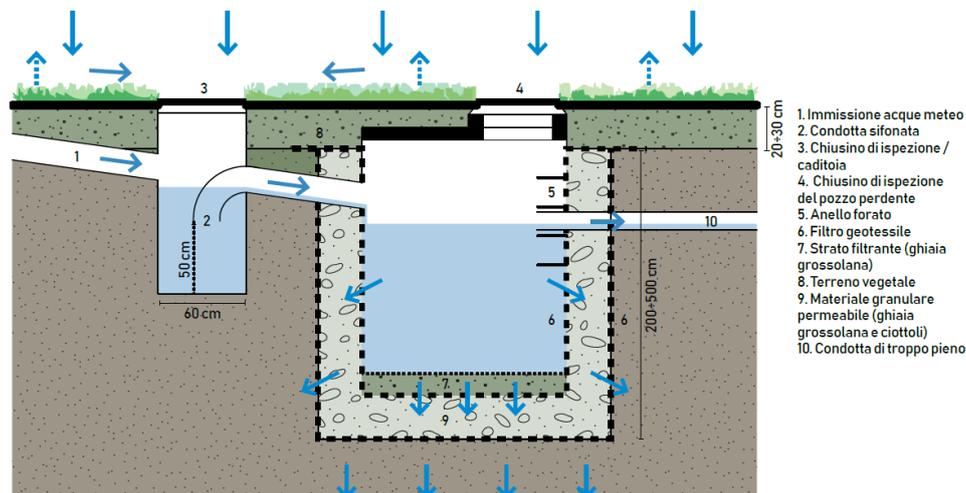


Figura 7. Sezione tipo di pozzo perdente [9].

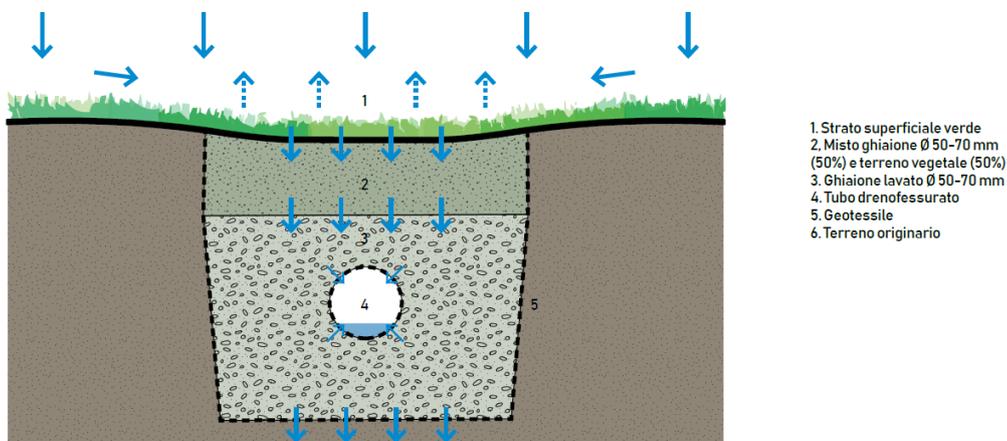


Figura 8. Sezione tipo di trincea drenante [9].

La manutenzione ordinaria dei pozzi perdenti e delle trincee drenanti deve prevedere la rimozione dei sedimenti e la verifica nel tempo della permeabilità; la manutenzione straordinaria deve prevedere la verifica

dell'assenza di radici nello strato drenante, l'espurgo del pozzo o delle tubazioni drenofessurate della trincea e la pulizia, o la sostituzione se intasato, del geotessile e dello strato filtrante superficiale.

Il costo per singolo pozzo perdente di diametro pari a 2 m e profondità 2.5 m è di 1500-2000 €; il costo per la realizzazione di una trincea drenante di sezione pari a 1 m<sup>2</sup> è di circa 80-100 €/ml [9].

### 3.6 Pavimentazioni permeabili o drenanti

Le pavimentazioni permeabili possono essere realizzate con materiale impermeabile e permettere il drenaggio attraverso opportuni spazi vuoti o fughe, oppure possono essere realizzate in materiale poroso e quindi permeabile (pavimentazioni drenanti).

Queste pavimentazioni sono utilizzate per drenare e infiltrare l'acqua meteorica che cade direttamente sulla superficie interessata; si adattano a differenti contesti urbani, e, oltre ai vantaggi idraulici, provvedono a limitare l'effetto isola di calore. La possibilità di infiltrare l'acqua meteorica nel sottosuolo dipende dalla tipologia ed entità del traffico veicolare previsto, e quindi del carico inquinante atteso.

I principali vantaggi sono:

- Versatilità di forma e dimensione;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Riduzione effetto isola di calore;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso.

Con il tempo la capacità di infiltrazione di queste pavimentazioni tende a ridursi, limitandosi a garantire una sorta di laminazione superficiale. Esistono tre tipologie di pavimentazioni permeabili: a completa infiltrazione (Tipo A), ad infiltrazione parziale (Tipo B) o senza infiltrazione (Tipo C).

I sistemi che non prevedono l'infiltrazione possono essere utilizzati quando si vuole raccogliere l'acqua meteorica per riutilizzarla oppure se la falda si trova a meno di un metro dal fondo del sistema infiltrante per cui si rischierebbe la contaminazione con acque inquinate [12].

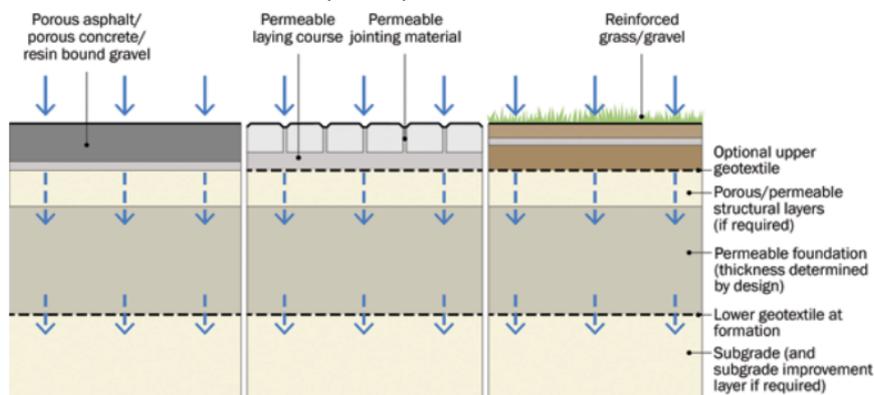


Figura 9. Sezioni tipo di pavimentazioni permeabili ad infiltrazione totale – Tipo A [12].

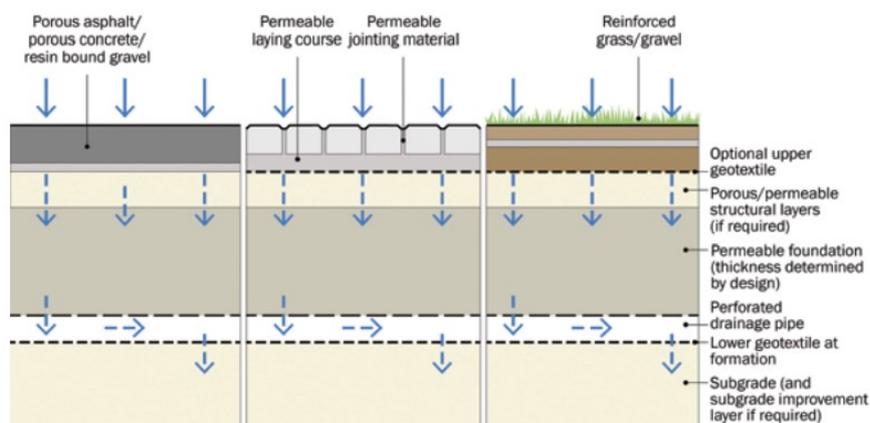


Figura 10. Sezioni tipo di pavimentazioni permeabili ad infiltrazione parziale – Tipo B [12].

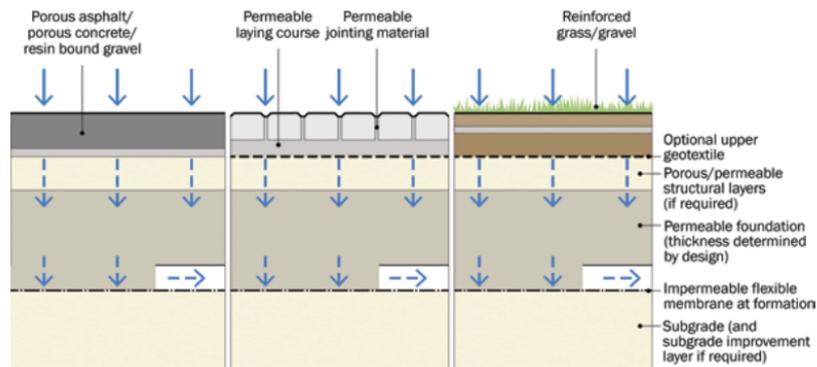


Figura 11. Sezioni tipo di pavimentazioni permeabili prive di infiltrazione – Tipo C [12].

Si riporta nella tabella a seguire un'indicazione per la scelta della tipologia di pavimentazione permeabile.

Tabella 1. Indicazione per la scelta della tipologia di pavimentazione permeabile [12].

Caratteristiche del suolo		Tipo A Infiltrazione totale	Tipo B Infiltrazione parziale	Tipo C Senza infiltrazione
Coefficiente di permeabilità $k$ [m/s]	$1 \times 10^{-6} \div 1 \times 10^{-3}$	si	si	si
	$1 \times 10^{-8} \div 1 \times 10^{-6}$	no	si	si
	$1 \times 10^{-10} \div 1 \times 10^{-8}$	no	no	si
Distanza tra falda e fondo del sistema filtrante inferiore ad 1 metro		no	no	si
Presenza di inquinanti (strade con traffico pesante, zone industriali,...)		no	no	si

In corrispondenza di aree pedonali o ciclopedonali possono essere adottate pavimentazioni in prato, cubetti e masselli porosi o terra stabilizzata; per le strade di accesso e per i parcheggi possono essere adottate pavimentazioni in prato, cubetti e masselli porosi, grigliati plastici o in calcestruzzo; in caso di piazzali o strade con modesto traffico sono consigliate pavimentazioni in cubetti o in asfalti drenanti o calcestruzzi drenanti, mentre per strade trafficate sono preferibili pavimentazioni in asfalti drenanti o calcestruzzi drenanti [9].

La manutenzione ordinaria consiste in un controllo mensile dello stato della pavimentazione, la verifica che non vi siano delle aree di ristagno e la pulizia da sedimenti o detriti; la manutenzione straordinaria o occasionale prevede il ripristino delle aree di ristagno, la sostituzione del materiale di chiusura dei vuoti e degli elementi danneggiati [9].

Il costo di realizzazione dipende dalla tipologia di pavimentazione, nello specifico [9]:

- Prati: 10 €/m<sup>2</sup>;
- Ghiaia rinverdita: 40-50 €/m<sup>2</sup>;
- Grigliati plastici inerbite: 70-80 €/m<sup>2</sup>;
- Sterrati o terra solida: 30-50 €/m<sup>2</sup>;
- Grigliati in calcestruzzo inerbite: 70-80 €/m<sup>2</sup>;
- Cubetti o masselli con fughe inerbite o riempite in materiale drenante: 80-100 €/m<sup>2</sup>;
- Masselli porosi: 80-100 €/m<sup>2</sup>;
- Asfalti o calcestruzzi drenanti: 70-€/m<sup>2</sup>.

### 3.7 Tetti verdi

I tetti verdi sono superfici di verde pensile realizzate sulle coperture degli edifici, composte da una complessa stratigrafia comprensiva di uno strato colturale, variabile da 2 a 15 cm per le coperture estensive e da 15 a 100 cm per le intensive, un elemento filtrante per garantire un adeguato funzionamento idraulico del sistema, un elemento drenante, un elemento antiradice e uno di tenuta a protezione della struttura sottostante [12].

I principali vantaggi sono:

- Adattabilità a differenti contesti e a coperture di edifici di natura diversa;
- Valore estetico e fruibilità;
- Versatilità di forma e dimensione;
- Supporto alla biodiversità;
- Intercettazione ed evapotraspirazione;
- Trattamento qualitativo delle acque;
- Isolamento termico dell'edificio;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso.

I limiti di questa soluzione NBS nascono dalla necessità di verificare la capacità strutturale dell'edificio di far fronte ai sovraccarichi determinati dalla presenza della copertura verde: una copertura estensiva pesa circa 60-150 kg/m<sup>2</sup>, il peso di una copertura intensiva è superiore a 300 kg/m<sup>2</sup>.

I tetti verdi garantiscono una riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso principalmente nel periodo estivo, nel periodo invernale il loro contributo a minimizzare portate e volumi si riduce poiché il substrato rimane saturo per buona parte del periodo.

Il dimensionamento della copertura verde tiene conto della capacità portante della struttura sottostante, dello spazio disponibile, della necessità di manutenzione per la scelta delle piante da mettere a dimora, del budget in relazione alle prestazioni ottenibili. Per evitare il ristagno di acqua, la copertura dovrà avere una pendenza minima dell'1-3% [8]. Lungo la fascia perimetrale della copertura verde è opportuno prevedere uno strato di ghiaia al fine di facilitare l'accesso e la manutenzione della copertura e allo stesso tempo garantire una protezione da eventuali incendi.

I tetti verdi estensivi richiedono un basso impegno manutentivo, a differenza delle coperture intensive.

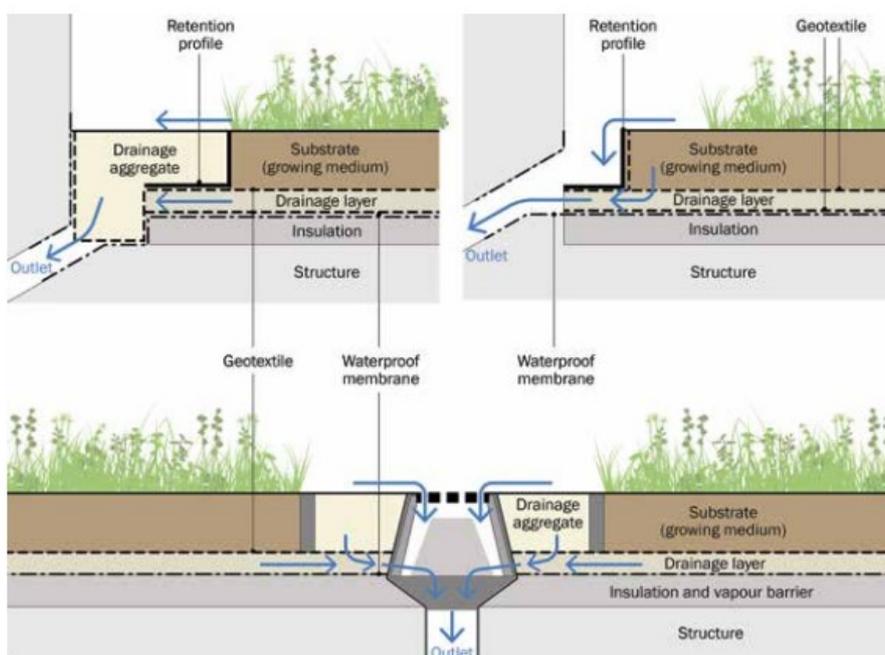


Figura 12. Esempi di sezioni di coperture verdi [12].

La manutenzione varia in funzione della tipologia di copertura verde, se intensivo o estensivo. Nel caso di tetti verdi intensivi la manutenzione ordinaria prevede lo sfalcio delle superfici inerbite con frequenza settimanale, il diserbo del letto vegetale pre e post semina, l'ispezione annuale, o a seguito di eventi intesi, di tutti gli elementi che compongono la copertura per valutare lo stato del substrato e delle membrane e la pulizia dei punti di scarico. Le coperture verdi estensive richiedono meno manutenzione in quanto prevedono la rimozione di rifiuti e delle piante invasive, la verifica dell'integrità e la pulizia degli elementi che compongono il tetto e dei punti di scarico [9]. La manutenzione delle coperture estensive ha costi ridotti e si

concentrano principalmente in fase di costruzione; i costi di manutenzione dei tetti intensivi hanno costi più elevati data la natura delle piante messe a dimora.

I costi di realizzazione sono, indicativamente, pari a 70-150 €/m<sup>2</sup> per i tetti estensivi e di 100-200 €/m<sup>2</sup> per i tetti intensivi [9].

### 3.8 Sistemi per il recupero e il riuso delle acque meteoriche

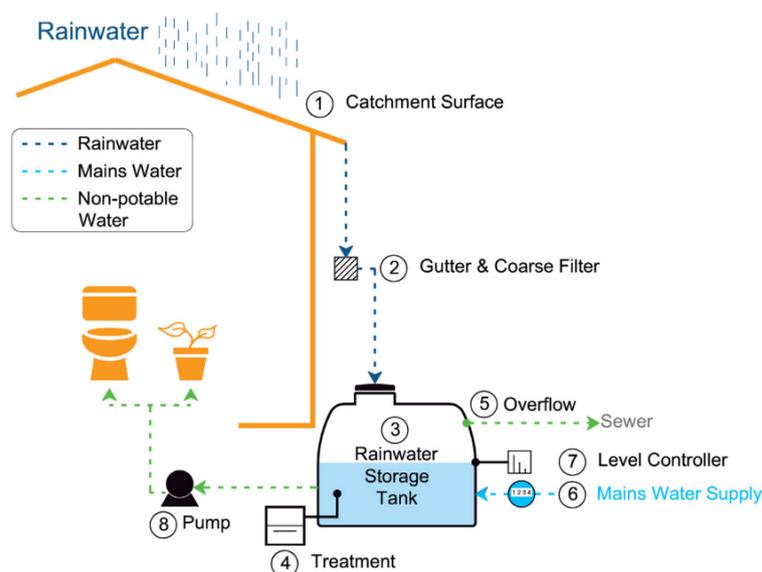
I sistemi per il recupero e il riuso delle acque meteoriche consistono in un sistema di stoccaggio e successivo rilancio delle acque per scopi non potabili in ambito residenziale o industriale. Le acque meteoriche cadute su una superficie impermeabile vengono convogliate ad una cisterna riducendo così i volumi immessi in rete. Le dimensioni e l'efficienza del sistema sono strettamente correlate alla pluviometria del sito e alla domanda di acqua non potabile richiesta.

I principali vantaggi sono:

- Si possono installare in contesti residenziali, industriali o commerciali per riutilizzare le acque a scopo non potabile;
- Riduzione del consumo di acqua potabile per scopi non potabili;
- Riduzione del picco di portata e dei volumi di deflusso.

Per il dimensionamento è necessario tenere conto dell'area di captazione, della pluviometria annuale del sito di installazione, della domanda d'acqua per scopi non potabili in accordo a quanto previsto dalla normativa tecnica UNI/TS 11445 [14].

Il loro limite di utilizzo nasce dal rapporto tra domanda d'acqua per scopi non potabili, superficie di captazione e pluviometria del sito: più la domanda è alta più dovrà essere ampia la superficie di captazione (in ambito residenziale si fa riferimento principalmente alle coperture degli edifici) più dovrà essere grande il serbatoio di accumulo in funzione della pluviometria del sito [15]. Le dimensioni del serbatoio incidono in maniera preponderante sul costo di installazione di questi sistemi, pertanto per garantire un buon livello di efficienza i costi rischiano di superare i benefici [16].



**Figura 13. Schema di un sistema per il recupero e il riuso delle acque meteoriche in ambito residenziale [17].**

La manutenzione ordinaria annuale prevede la pulizia del serbatoio da sedimenti, la verifica del funzionamento e la pulizia della pompa; ogni sei mesi è necessario pulire i filtri in ingresso al serbatoio [12]. 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 m<sup>3</sup> al volume dell'invaso.

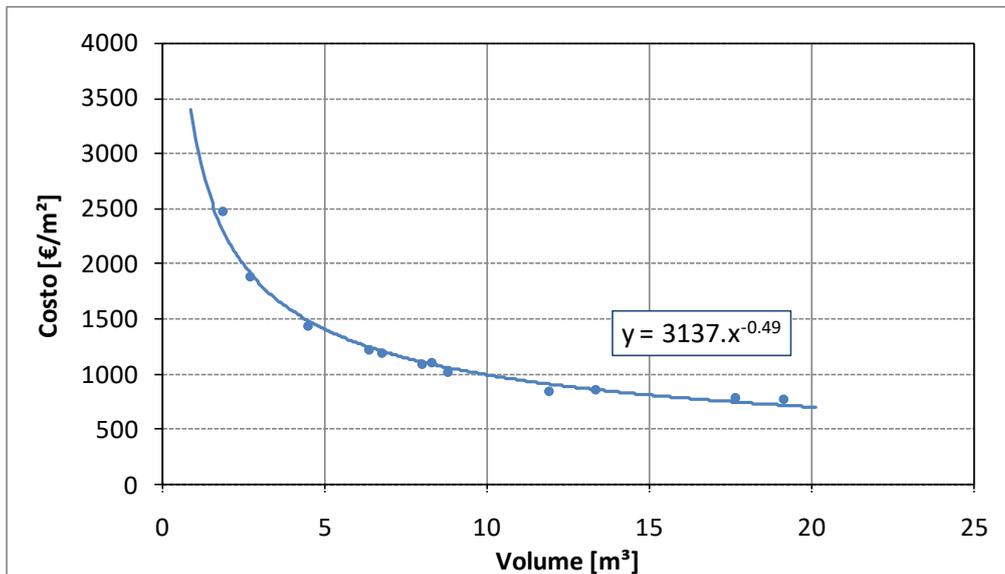


Figura 14. Andamento del costo di realizzazione di un impianto per il recupero e il riuso delle acque meteoriche al variare del volume del serbatoio.

Il costo dell'opera sarà dato da:

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

dove V rappresenta il volume del serbatoio di accumulo.

### 3.9 Soluzioni grigie o End of Pipe Solutions

Le soluzioni grigie o *End of Pipe Solutions* sono soluzioni progettuali tradizionali per la gestione delle acque meteoriche. Queste soluzioni prevedono di invasare parte dell'evento laminandone la portata in uscita per un valore pari a quello massimo ammissibile ossia pari alle condizioni pre-urbanizzazione. Le acque meteoriche vengono quindi trattenute per un periodo limitato e rilasciate in ambiente in modo controllato. Questa soluzione aiuta a prevenire i fenomeni di allagamento urbano facendo sì che il deflusso non ecceda la capacità di trasporto della rete esistente.

Queste soluzioni hanno il vantaggio di ridurre i deflussi e i volumi inviati al ricettore, limitando allo stesso tempo il carico di inquinanti reimmessi in ambiente; al contempo richiedono ampi spazi per la loro realizzazione poiché si tratta di soluzioni installate su vasta scala e quindi con grandi capacità di invaso.

La manutenzione prevede la pulizia dell'invaso dai sedimenti e del sistema di scarico.

Per identificare il costo per la realizzazione di invasi attraverso l'uso di scatolari in cls 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 pertanto per identificare il costo dell'opera bisognerà definire la lunghezza complessiva degli scatolari affiancati che determinano il volume complessivo di invaso.

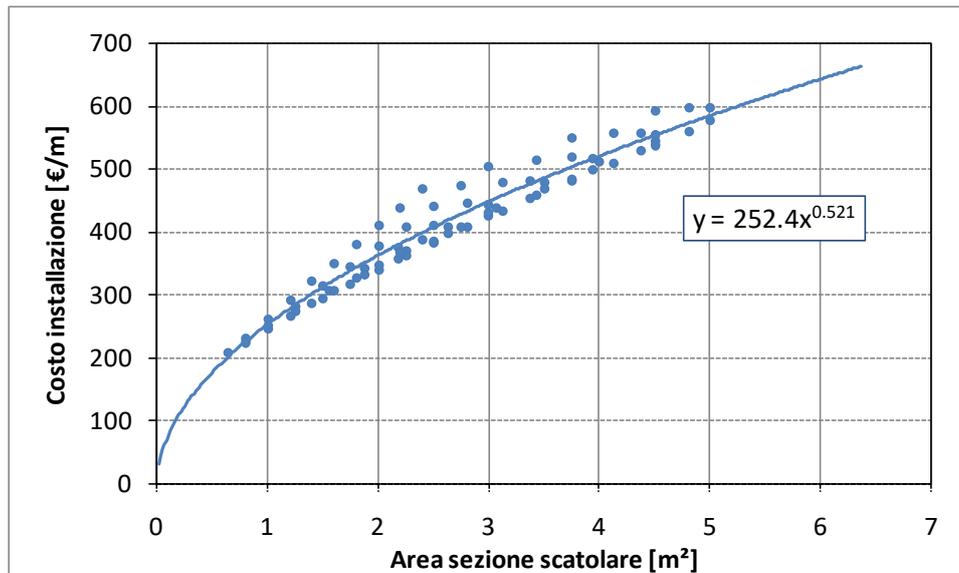


Figura 15. Andamento del costo di realizzazione di un involucro scatolare data l'area della sua sezione.

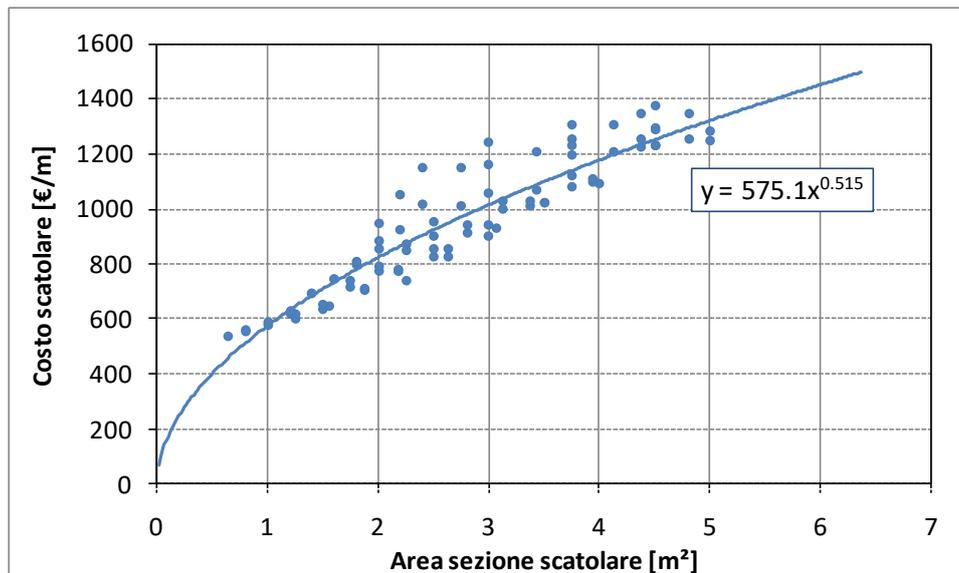


Figura 16. Andamento del costo dello scatolare data l'area della sua sezione.

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.

## 4 Benefici e co-benefici delle soluzioni per il drenaggio urbano sostenibile e criteri di scelta

### 4.1 Benefici e co-benefici

I vantaggi idrologici e legati al miglioramento della qualità delle acque meteoriche, connessi all'implementazione di soluzioni di drenaggio urbano sostenibile, sono integrati da vantaggi secondari, detti co-benefici, che giocano un ruolo nell'adattamento ai cambiamenti climatici e nella qualità degli spazi urbani. I benefici principali riguardano l'aspetto idraulico legato alla riduzione dei picchi di portata e dei volumi immessi in ambiente e allo stesso tempo al miglioramento della qualità delle acque inviate al ricettore dato dalla riduzione degli inquinanti. Altro beneficio connesso all'utilizzo di soluzioni verdi riguarda la ricarica della falda tramite l'implementazione di soluzioni che favoriscono l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo.

Allo stesso tempo, l'utilizzo di tali tecnologie permette la riduzione dell'effetto "isola di calore", aumenta la biodiversità che si rischia di ridurre con l'aumento dell'urbanizzazione, e aiuta a migliorare la qualità della vita in generale, restituendo spazi verdi in ambito urbano [19, 20]. Questi co-benefici sono noti come servizi o funzioni ecosistemiche [21-23] e fanno sì che l'implementazione delle soluzioni di drenaggio urbano sostenibile sia di maggiore interesse per le parti interessate, come i Comuni, i progettisti e al pubblico in generale, che li utilizzano come base per la loro politica di attuazione [24].

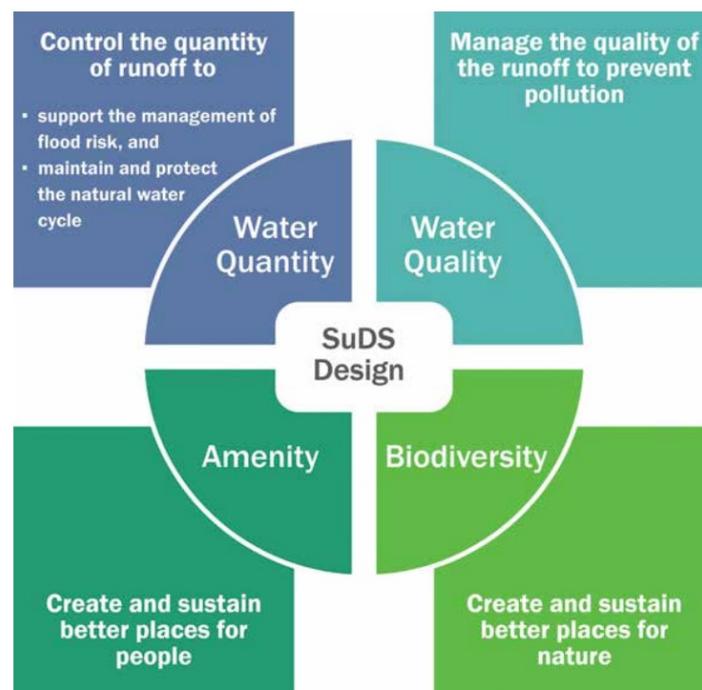


Figura 17. I quattro benefici connessi all'implementazione di soluzioni NBS [12].

Sono diversi i fattori che influenzano l'efficacia del verde urbano, ossia:

- L'impermeabilizzazione del suolo;
- L'organizzazione del tessuto urbano;
- La quantità di vegetazione;
- La tipologia di vegetazione.

Il combinarsi di questi quattro fattori in percentuali diverse, producono sempre risultati diversi ma comunque fondamentali in relazione all'ambiente e al benessere umano, infatti, avere a disposizione zone verdi e blu innesca una serie di meccanismi che portano il cittadino a essere più propenso a vivere determinate situazioni

quali l'attività fisica che porta come diretta conseguenza ad assumere uno stile vita più regolare in termini di prevenzione (malattie cardiovascolari, minore obesità e allungamento della vita) e di alimentazione (è dimostrato che chi conduce uno stile di vita più sano a livello fisico, rispecchia il tutto anche con un tipo di dieta più corretta e bilanciata). Altro aspetto fondamentale di questo contatto con la natura è il favorire, come diretta conseguenza, un livello di riposo mentale maggiore con livelli di stress inferiori.

L'utilizzo di soluzioni verdi o ibride permette quindi di aumentare la resilienza ai cambiamenti climatici delle città, riducendone la vulnerabilità [23] e al contempo migliorare il benessere del cittadino.

Per attuare soluzioni di drenaggio urbano sostenibile è necessario capire i risultati da perseguire (benefici e co-benefici), valutando le caratteristiche del sito al fine di decidere l'infrastruttura da installare che meglio si adatta: si parla quindi di un processo decisionale "multi criterio" che tiene conto degli aspetti ingegneristici-idraulici, paesaggistici, economici e sociali.

In quest'ottica si rende necessario definire un processo decisionale basato su Indicatori di Prestazione (*PI – Performance Indicators*) tale da mettere in relazione i differenti benefici ricercati con le soluzioni che meglio si adattano al contesto.

L'analisi economica gioca un ruolo fondamentale sul processo decisionale poiché può dimostrare che l'investimento in una soluzione di drenaggio urbano sostenibile può essere economicamente efficiente. L'analisi costi-benefici è una valutazione economica dei benefici attesi dall'implementazione di una determinata soluzione progettuale, al fine di confrontare differenti soluzioni progettuali. Resta il fatto che i benefici secondari, legati alla qualità della vita e al miglioramento della biodiversità, non sono "monetabilizzabili".

## 4.2 Criteri di scelta per l'implementazione di soluzioni di drenaggio urbano sostenibile

Compiere uno studio di fattibilità permette di analizzare, all'inizio di un processo decisionale, differenti soluzioni alternative, includendo anche quelle che potrebbero apparire troppo complesse o costose. Si tratta di un'analisi preliminare in grado di ampliare il raggio di azione dei possibili interventi, evidenziandone i punti di forza e i limiti. In questo modo si ottengono due importanti risultati: si riescono a scartare le soluzioni meno vantaggiose attraverso un procedimento trasparente e focalizzato sugli obiettivi e, allo stesso tempo confrontando diverse soluzioni, possono emergere esigenze o obiettivi secondari che potevano non essere stati preventivati.

Data la complessità della scelta dovuta alla varietà di soluzioni e di situazioni possibili, un'analisi multi criterio permette di raggiungere una visione di sintesi, evidenziando i vantaggi e gli svantaggi dell'implementazione delle varie tecnologie prese in esame.

L'approccio multi criterio ha trovato ampia applicazione nei temi di sostenibilità ambientale dato l'elevato numero di variabili coinvolte [25-28]. Quando si parla di analisi multi criterio a supporto del processo decisionale, si intende una schematizzazione del problema in cui si identificano le soluzioni alternative applicabili e un insieme di criteri di valutazione che ne analizzano l'effetto secondo differenti punti di vista. Questo approccio permetterà ai decisori di selezionare l'opzione più sostenibile tra le varie alternative.

In risposta ai cambiamenti climatici, i criteri da valutare per determinare l'efficienza di una soluzione sostenibile sono:

- Adeguatezza: valutare le caratteristiche del sito valutando la fattibilità di installare o meno una determinata tecnologia sostenibile;
- Benefici idraulici: la necessità di ridurre il rischio di allagamento intercettando e gestendo le acque meteoriche al fine di ridurre i volumi e i picchi di portata (invarianza idraulica e idrologica);
- Qualità delle acque: la necessità di ridurre il carico inquinante contenuto nelle acque meteoriche e inviato ai corpi idrici ricettori;
- Aspetti paesaggistici e sociali: incremento della biodiversità attraverso l'utilizzo di soluzioni verdi, favorire gli interventi di riqualificazione urbana progettando in modo da creare degli spazi verdi fruibili, alleviando al contempo gli effetti "isola di calore";

- Aspetto economico: effettuare un'analisi dei costi di realizzazione e manutenzione può favorire il processo decisionale.

Da questi criteri di scelta ne deriva un'analisi costi-benefici che permette quindi di comparare le differenti soluzioni adottabili.

#### 4.2.1 Fase 1 - Adeguatezza

Il primo step per la selezione della tecnologia da implementare nasce da una disamina delle caratteristiche del sito al fine di valutare, tra le differenti soluzioni NBS, quali possono essere implementate e quali scartate per inadeguatezza, effettuando così una prima scrematura [25].

In questa fase vengono analizzate:

1. Caratteristiche del sito:
  - a. Uso del suolo → si valuta la destinazione d'uso del sito oggetto della progettazione. Le categorie di uso del suolo si sintetizzano in: Residenziale (R), Commerciale (C), Industriale (I), Trasporti (T), Strade e piazze (S), Spazi Verdi (V).
  - b. Inquinanti → si valuta la presenza di inquinanti e la loro intensità in funzione della destinazione d'uso.
  - c. Richieste normative specifiche → si valutano gli aspetti normativi per l'implementazione della tecnologia NBS come la distanza dalla falda, dalle strade o dagli edifici.
2. Caratteristiche del suolo: si valutano le caratteristiche del suolo in termini di permeabilità secondo la classificazione SCS-CN:
  - a. Tipologia A → bassa capacità di deflusso, suoli ad alta infiltrabilità anche se completamente saturi (ghiaie profonde o sabbie) – notevole conducibilità idrica;
  - b. Tipologia B → suoli con moderata filtrabilità se saturi (tessitura medio-grossolana) – conducibilità idrica media;
  - c. Tipologia C → suoli con bassa infiltrabilità se saturi, uno strato impedisce la percolazione verticale (tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità) – conducibilità idrica bassa;
  - d. Tipologia D → capacità di deflusso elevata, suoli con infiltrabilità ridottissima se in condizioni di saturazione, suoli con strato argilloso superficiale o suoli poco profondi su substrato impermeabile – conducibilità idrica estremamente bassa.
3. Caratteristiche della falda: si valuta la profondità della falda date le limitazioni imposte per l'installazione di soluzioni che prevedono l'infiltrazione delle acque meteoriche.
4. Topografia: si valuta la pendenza poiché influenza l'installazione di determinate tecnologie NBS;
5. Caratteristiche dell'area di captazione: coefficiente di deflusso, estensione della superficie di captazione per determinare il dimensionamento della soluzione da implementare;
6. Spazio disponibile: si valuta la superficie disponibile per l'installazione della tecnologia NBS.

**Tabella 2. Sintesi delle caratteristiche di "adattabilità" delle differenti soluzioni NBS considerate.**

NBS	Sito			Suolo	Falda	Topografia	Area di captazione		Spazio richiesto
	Uso suolo	Inquinanti	Richieste specifiche				Area	% imperm.	
<i>Bioritenzione</i>	R-C-S-V	+	distanza da: • strade < 30 m • fiumi > 30 m • edifici > 3 m	A-D	>1 m	<15%	< 1 ha	0-80%	+
<i>Canali inerbiti</i>	R-C-S-T-V	++	distanza da: • strade < 30 m • edifici > 3 m	A-D	>1 m	0-5%	< 2 ha	>0%	++
<i>Bacini inondabili</i>	R-C-S-V	++	distanza da: • strade < 30 m • edifici monte > 6 m • edifici valle > 30 m	A-B	>1 m	<15%	1-4 ha	>0%	+++
<i>Bacini di detenzione</i>	R-C-S-V	++	distanza da: • fiumi > 30 m	A-D	>1 m	<10%	> 6 ha	>0%	+++

NBS	Sito			Suolo	Falda	Topografia	Area di captazione		Spazio richiesto
	Uso suolo	Inquinanti	Richieste specifiche				Area	% imperm.	
<i>Pozzi perdenti</i>	R-C-S-Y-T	++	distanza da: • fiumi > 30 m • edifici > 3 m	A-B	>1 m	<15%	< 1ha	>0%	+
<i>Trincee drenanti</i>	R-C-S-Y-T	++	distanza da: • fiumi > 30 m • edifici > 3 m	A-B	>1 m	<15%	< 2ha	>0%	++
<i>Pavimentazioni permeabili</i>	R-C-S	+	/	A-B	>1 m	<1%	< 2 ha	>0%	/
<i>Tetti verdi</i>	R-C-I	+	/	/	/	1-5%	/	/	/
<i>Sistemi recupero e riuso</i>	R-C-I	+	/	/	/	/	/	/	++
<i>Invasi</i>	R-C-I	++	/	/	/	/	/	/	+++

+: basso/piccolo; ++: medio; +++: alto/grande

La scala di applicazione, in stretta relazione allo spazio disponibile per l'implementazione delle tecnologie NBS, prevede la suddivisione in tre macro-categorie: edificio, strada, quartiere. Si riporta nella tabella a seguire una suddivisione delle varie tecnologie proposte in funzione della scala di applicazione.

**Tabella 3. Sintesi delle scale di applicazione di ogni soluzione NBS indagata.**

NBS	Scala di applicazione		
	Edificio	Strada	Quartiere
<i>Bioritenzione</i>	si	si	si
<i>Canali inerbiti</i>	no	si	no
<i>Bacini inondabili</i>	no	no	si
<i>Bacini di detenzione</i>	no	no	si
<i>Pozzi perdenti</i>	si	si	no
<i>Trincee drenanti</i>	si	si	no
<i>Pavimentazioni permeabili</i>	si	si	si
<i>Tetti verdi</i>	si	no	no
<i>Sistemi recupero e riuso</i>	si	no	no
<i>Invasi</i>	no	si	si

In Tabella 2 sono riportate le caratteristiche di "adattabilità" delle differenti soluzioni NBS indagate [25]; l'analisi in questa prima fase permette di individuare le tecnologie da indagare nelle fasi successive di fattibilità.

#### 4.2.2 Fase 2 – Analisi dei benefici

Dopo una prima analisi di fattibilità si analizzano le tecnologie identificate come idonee, valutandone i benefici idraulici e i co-benefici.

I benefici idraulici sono di tipo *quantitativo* e *qualitativo*, nello specifico:

- Riduzione in termini quantitativi delle acque meteoriche inviate al ricettore: ogni tecnologia ha delle caratteristiche intrinseche, date dai propri meccanismi di funzionamento, che influiscono su:
  - Riduzione di volume
  - Riduzione del picco di portata
- Riduzione in termini qualitativi delle acque inviate al ricettore: si parla di una riduzione del carico inquinante contenuto nelle acque meteoriche e inviate al corpo idrico ricettore. Ogni tecnologia ha caratteristiche tali da avere un effetto sul processo di rimozione degli inquinanti (sedimentazione, filtrazione, evapotraspirazione, fitodepurazione).

L'infiltrazione ma anche la detenzione, l'adsorbimento, l'evapotraspirazione e la laminazione hanno un effetto sulla riduzione del volume immesso in rete o inviato al ricettore; la detenzione, l'infiltrazione e la laminazione sono le principali proprietà delle tecnologie NBS che favoriscono la riduzione del picco di portata.

I co-benefici, invece, riguardano:

- Il recupero e il riuso delle acque meteoriche per scopi non potabili;
- I benefici ambientali come la riduzione dell'effetto "isola di calore", l'aumento della biodiversità, la ricarica della falda;
- I benefici sociali ossia l'impatto sulla società dato dall'implementazione di soluzioni verdi;
- L'impatto sui sistemi di depurazione.

Per valutare i benefici idraulici derivanti dall'implementazione di una specifica tecnologia, bisogna valutare quali sono le proprietà di ciascuna soluzione indagata e quantificarne l'effetto quanti-qualitativo. È stata realizzata una matrice delle proprietà dove per ognuna è stato attribuito un punteggio da 0 a 3 (0 nessun effetto, 3 massimo effetto) per gli effetti ritenuti fondamentali per garantire un beneficio idraulico [25].

**Tabella 4. Punteggio riferito alle varie proprietà delle differenti soluzioni NBS per ogni beneficio idraulico ricercato.**

Proprietà	Effetto sulla riduzione di volume	Effetto sulla riduzione di picco di portata	Effetto sulla riduzione di solidi sospesi
Detenzione	2	3	1.5
Infiltrazione	3	2	2.5
Sedimentazione	0	0	3
Filtrazione	0	0	3
Degradazione microbiologica	0	0	1
Adsorbimento	1	1	2
Evapotraspirazione	1	1	0
Laminazione	1	3	0

Definiti i punteggi per ogni proprietà assimilabile alle differenti soluzioni NBS in relazione ai benefici idraulici attesi, si procede analizzando le medesime proprietà di ogni tecnologia attribuendole un punteggio da 0, non efficiente, a 3, elevata efficienza [25].

**Tabella 5. Punteggio delle differenti soluzioni NBS per ogni proprietà indagata.**

NBS	Proprietà							
	Detenzione	Infiltrazione	Sedimentazione	Filtrazione	Degradazione microbiologica	Adsorbimento	Evapotraspirazione	Laminazione
Bioritenzione	2	2	2	2	2.5	2	1.5	2
Canali inerbiti	2	2	1.5	2	2.5	2.5	1.5	2
Bacini inondabili	2	3	3	2.5	2	3	2	1.5
Bacini di detenzione	3	1.5	3	1	2	1.5	2	2
Pozzi perdenti	1.5	3	1.5	2.5	2	2.5	1	1
Trincee drenanti	1.5	3	1.5	2.5	2.5	3	1	2
Paviment. permeabili	1.5	3	1.5	2.5	1.5	3	1	1.5
Tetti verdi	2.5	1.5	1.5	2	2	2.5	1.5	3
Recupero e riuso	3	1	2	1.5	1	1	1	3
Invasi	3	1	2	1	1	1	1	3

Definita la Tabella 4 e la Tabella 5, è possibile quantificare il beneficio idraulico atteso per ogni tecnologia indagata come il prodotto tra queste due matrici, ottenendo così una terza tabella che lega la singola tecnologia NBS con il beneficio idraulico (Tabella 7).

**Tabella 6. Punteggio dei benefici idraulici attesi per ogni tecnologia NBS.**

NBS	Benefici Idraulici		
	Quantitativi		Qualitativi
	Riduzione del volume	Riduzione del picco di portata	Riduzione dei solidi sospesi
Bioritenzione	15.5	19.5	26.5
Canali inerbiti	16	20	26
Bacini inondabili	19.5	21.5	35
Bacini di detenzione	16	21.5	25.25
Pozzi perdenti	16.5	17	28.75
Trincee drenanti	18	20.5	30.25
Pavimentazioni permeabili	17.5	19	29.25
Tetti verdi	16.5	23.5	25
Recupero e riuso	14	22	20.5
Invasi	14	22	19

Definiti i benefici idraulici associati alle differenti soluzioni di drenaggio urbano sostenibile, si procede dando un punteggio da 0 a 3 ai co-benefici attesi da ogni soluzione NBS.

**Tabella 7. Punteggio dei co-benefici attesi per ogni tecnologia NBS.**

NBS	Co-benefici			
	Riutilizzo acque	Benefici ambientali	Benefici sociali/estetici	Benefici depuratore
Bioritenzione	1	2	3	2
Canali inerbiti	1	2	2	2
Bacini inondabili	1	2	2	3
Bacini di detenzione	2	3	3	3
Pozzi perdenti	0	1	1	3
Trincee drenanti	0	1	1	3
Pavimentazioni permeabili	2	1	2	3
Tetti verdi	2	3	3	2
Recupero e riuso	3	2	2	1.5
Invasi	3	2	2	1.5

Quantificati i benefici per ogni soluzione di drenaggio urbano sostenibile, bisogna introdurre l'aspetto economico per poi procedere ad una normalizzazione dei valori che permetterà la comparazione tra le differenti soluzioni.

#### 4.2.3 Fase 3 – Analisi dei costi

L'analisi economica deve tenere conto sia dei costi di realizzazione dell'opera, sia dei costi di manutenzione. Un altro aspetto da considerare, non monetizzabile ma di rilievo per la scelta della soluzione da adottare, riguarda la capacità di una determinata tecnologia di mantenere le prestazioni inalterate nel tempo. Dopo un'analisi della letteratura scientifica [25,29-31] in merito ai costi di realizzazione e manutenzione delle differenti tecnologie è stata realizzata una tabella che attribuisce un punteggio da 1 a 5 ad ogni soluzione di drenaggio urbano sostenibile.

**Tabella 8. Punteggio dei costi per ogni tecnologia NBS.**

Tecnologia NBS	Costi		Affidabilità delle prestazioni nel tempo
	Realizzazione	Manutenzione	
Bioritenzione	2.5	1	5
Canali inerbiti	4	3	5
Bacini inondabili	4	2	4
Bacini di detenzione	2	3.5	3

Tecnologia NBS	Costi		Affidabilità delle prestazioni nel tempo
	Realizzazione	Manutenzione	
Pozzi perdenti	2	2	1
Trincee drenanti	3	2	1
Pavimentazioni permeabili	3	4	3
Tetti verdi	2	4	4
Recupero e riuso	1	3	5
Invasi	1	3	5

È stato assegnato un punteggio più alto in caso di costi più contenuti, mentre il valore 1 indica un costo elevato; in termini di affidabilità nel tempo, ossia minor rischio che le prestazioni della tecnologia NBS diminuiscano nel tempo (ad esempio per intasamento delle soluzioni ad infiltrazione), con 5 si identificano le tecnologie più affidabili mentre con 1 quelle che presentano un maggior rischio di deterioramento. L'aspetto manutentivo assume un ruolo fondamentale per garantire l'affidabilità delle prestazioni nel tempo; nel capitolo precedente è riportata la tipologia di manutenzione per ogni soluzione indagata.

#### 4.2.4 Fase 4 – Normalizzazione dei punteggi

Al fine di comparare tra di loro le differenti tecnologie NBS per valutare la soluzione che meglio si adatta alle necessità del sito e in funzione dei benefici quanti-qualitativi ricercati, è opportuno procedere alla normalizzazione dei punteggi ottenuti, in modo da ricondursi ad una valutazione variabile da 0 a 1.

La normalizzazione si effettua considerando la seguente formula:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

Dove:

- $r_{ij}$ : è l'indice normalizzato per la tecnologia NBS  $i$ -esima rispetto all'indicatore  $j$ -esimo ossia le sottocategorie dei benefici idraulici, dei co-benefici e dei costi;
- $\min(x_{ij})$  e  $\max(x_{ij})$ : sono rispettivamente il punteggio minimo e quello massimo ottenuti per quel determinato indicatore  $j$ -esimo tra le  $i$  differenti soluzioni NBS.

Per le 10 soluzioni NBS analizzate sono stati considerati 10 indicatori suddivisi in tre categorie: benefici idraulici, co-benefici e costi. Si riportano nella tabella a seguire i risultati ottenuti dalla normalizzazione dei punteggi derivanti dalle tabelle esposte in precedenza. Il punteggio massimo ottenibile dalla singola tecnologia è pari a 10, più alto è il punteggio più efficiente è la soluzione dal punto di vista idraulico, sociale ed economico.

**Tabella 9. Punteggio degli indicatori normalizzati per ogni soluzione analizzata.**

Indicatori \ NBS	Bioritenzione	Canali inerbiti	Bacini inondabili	Bacini di detenzione	Pozzi perdenti	Trincee drenanti	Pavimentazioni permeabili	Tetti verdi	Recupero e riuso	Invasi
Riduzione di volume	0.27	0.36	1.00	0.36	0.45	0.73	0.64	0.45	0.00	0.00
Riduzione di picco di portata	0.38	0.46	0.69	0.69	0.00	0.54	0.31	1.00	0.77	0.77
Riduzione di solidi sospesi	0.47	0.44	1.00	0.39	0.61	0.70	0.64	0.38	0.09	0.00
Riutilizzo acque	0.33	0.33	0.33	0.67	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
Benefici ambientali	0.50	0.50	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.50
Benefici sociali/estetici	1.00	0.50	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.50
Benefici depuratore	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.00	0.00
Realizzazione	0.50	1.00	1.00	0.33	0.33	0.67	0.67	0.33	0.00	0.00

<i>Manutenzione</i>	0.00	0.67	0.33	0.83	0.33	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67
<i>Affidabilità nel tempo</i>	1.00	1.00	0.75	0.50	0.00	0.00	0.50	0.75	1.00	1.00
<b><i>Totale</i></b>	<b>4.79</b>	<b>5.60</b>	<b>7.11</b>	<b>6.78</b>	<b>2.73</b>	<b>3.97</b>	<b>5.92</b>	<b>6.91</b>	<b>4.53</b>	<b>4.44</b>

Il calcolo del punteggio complessivo di ogni soluzione analizzata si basa sullo studio della letteratura scientifica degli effetti e dei costi, focalizzando l'attenzione sulle proprietà delle singole tecnologie dal punto di vista idraulico ed economico. La comparazione derivante dai punteggi normalizzati, riportati in tabella, fornisce un'indicazione sia globale dell'efficienza della soluzione NBS, sia per ogni singolo indicatore, permettendo l'individuazione dei punti di forza di ognuna.

## 5 Indicatori urbanistici (IU) e Indicatori di prestazione (PI) per la progettazione dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile

Quanto riportato nel capitolo precedente, permette di identificare degli Indicatori Urbanistici – IU e degli Indicatori di Prestazione – PI da applicare nel processo decisionale per l’applicazione di soluzioni per il drenaggio urbano sostenibile. Questi indicatori sono finalizzati a semplificare il processo decisionale per l’individuazione della soluzione più idonea per gestire le acque meteoriche in ambito urbano. In quest’ottica, i principali attori coinvolti, quali pianificatori, progettisti, gestori, possono utilizzare gli indicatori IU e PI, sfruttando i punteggi appena evidenziati, per definire quale tecnologia implementare in un determinato sito. Data la complessità e la varietà delle soluzioni di drenaggio urbano sostenibile, è necessario definire una serie di indicatori in grado di catalogare le tecnologie implementabili in un determinato contesto valutandone le prestazioni in termini di beneficio idraulico, come funzione delle capacità meccaniche specifiche, e secondo altri aspetti secondari ma ugualmente importanti quali i benefici sociali ed ambientali e focalizzando l’attenzione anche sull’aspetto economico.

Gli *Indicatori Urbanistici* permettono di valutare quali tecnologie sono applicabili in un determinato contesto, in funzione delle caratteristiche specifiche del sito; si possono sintetizzare in:

- *Uso*: indicatore relativo alla destinazione d’uso (residenziale, commerciale, industriale, trasporti, strade e piazze, spazi verdi);
- *Inquinanti*: indicatore sul livello di inquinamento previsto, in funzione della destinazione d’uso e della presenza di strade o industrie nelle aree limitrofe;
- *Distanze*: indicatore che tiene conto di precise prescrizioni per l’implementazione di determinate soluzioni di drenaggio urbano sostenibile come la distanza dagli edifici, dalle strade o dai fiumi;
- *Infiltrazione*: indicatore che valuta le caratteristiche del suolo in termini di capacità d’infiltrazione per decidere se è possibile prevedere soluzioni ad infiltrazione;
- *Falda*: indicatore sul livello della falda superficiale al fine di valutare se è possibile implementare soluzioni ad infiltrazione senza rischiare contaminazioni della stessa, solitamente la falda superficiale non deve trovarsi ad una distanza inferiore di 1 metro dal piano di fondo della tecnologia NBS;
- *Topografia*: indicatore relativo alle pendenze del sito e di progetto;
- *Area di captazione*;
- *Scala d’intervento*.

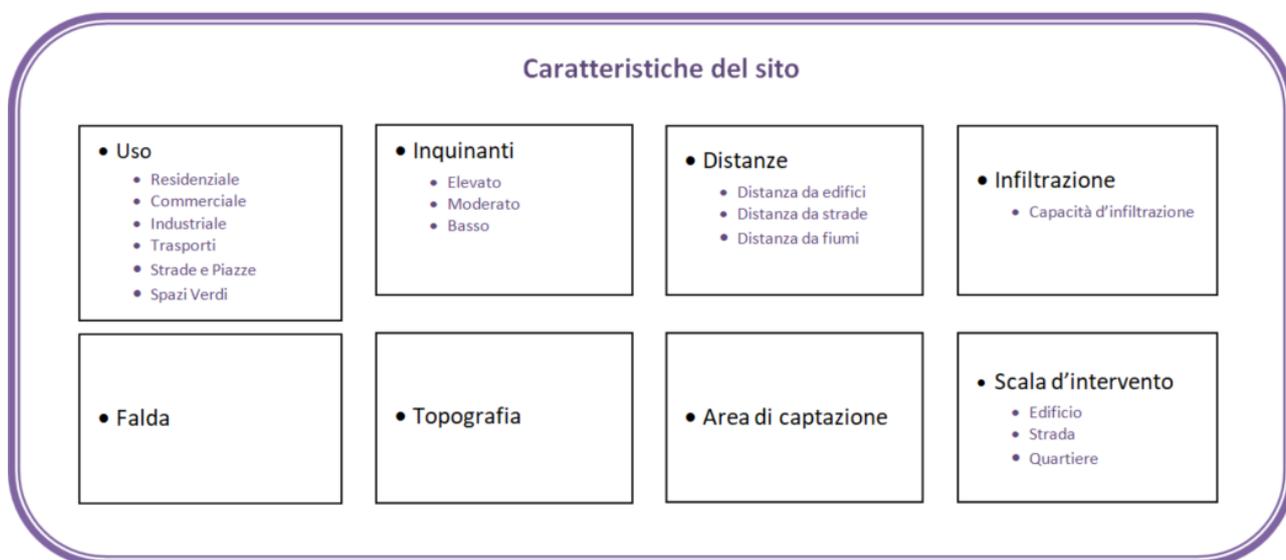


Figura 18. Schema degli Indicatori Urbanistici.

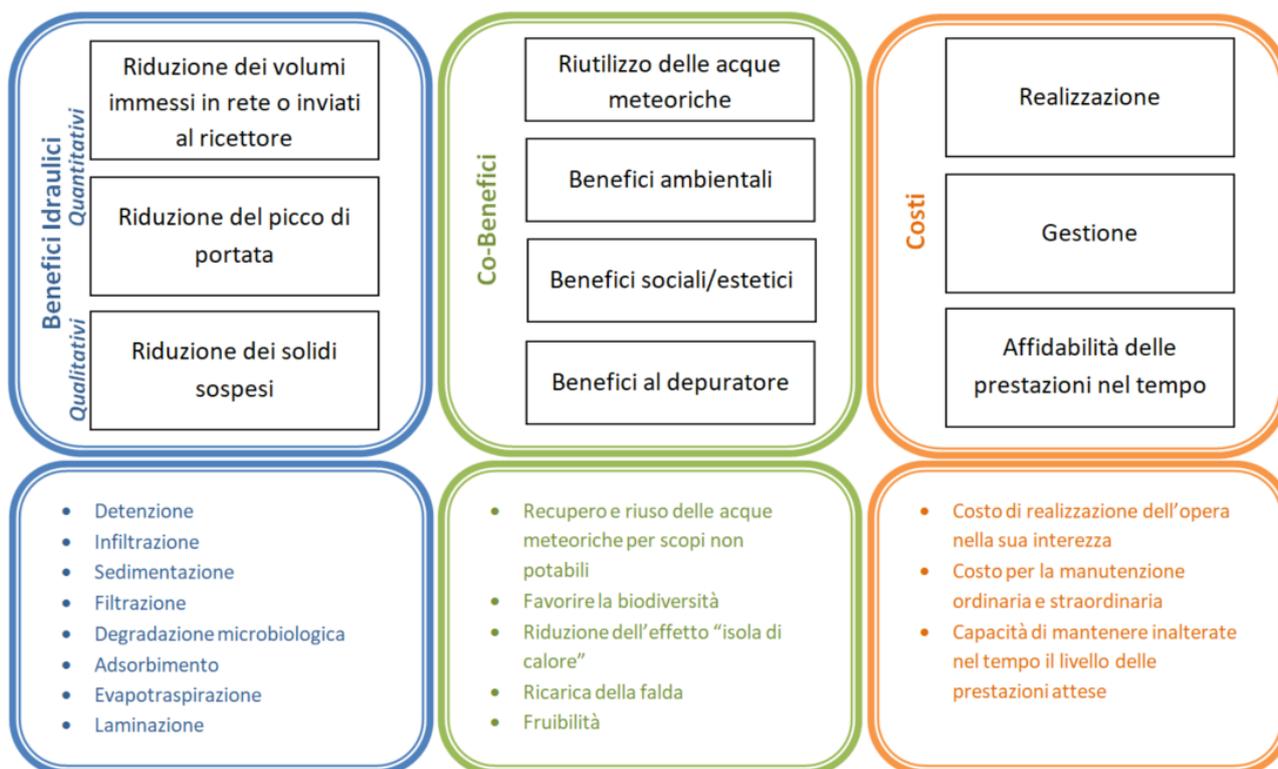


Figura 19. Schema degli Indicatori di Prestazione suddivisi per le differenti categorie.

Gli *Indicatori di Prestazione* si possono sintetizzare in:

- *Riduzione dei volumi* immessi in rete o inviati al ricettore: questo indicatore valuta le proprietà meccaniche della soluzione NBS in termini di capacità di infiltrazione, adsorbimento, detenzione, evapotraspirazione e laminazione;
- *Riduzione del picco di portata*: indicatore che tiene conto della capacità di una tecnologia di ridurre il picco di portata in ingresso alla rete o inviata al ricettore; si basa sulle proprietà meccaniche che influenzano maggiormente la capacità di ridurre il picco di portata (detenzione, la laminazione, l'infiltrazione, l'adsorbimento e l'evapotraspirazione);
- *Riduzione dei solidi sospesi*: indicatore di qualità. Attraverso i processi di sedimentazione, filtrazione, infiltrazione e adsorbimento si ha una riduzione degli inquinanti contenuti nelle acque meteoriche in termini di solidi sospesi;
- *Riutilizzo delle acque meteoriche*: Indicatore che valuta la possibilità di recuperare le acque meteoriche e riutilizzarle per scopi non potabili; permette una riduzione dei volumi immessi in rete e allo stesso tempo una riduzione dell'uso dell'acqua potabile per scopi che non necessitano una qualità così elevata;
- *Biodiversità*: indicatore che valuta la capacità di una determinata tecnologia di ricostruire nell'ambito urbano un miglior habitat naturale, favorendo la biodiversità, costituendo reti ecologiche di connessione;
- *Benefici ambientali*: indicatore che tiene conto della capacità di una soluzione NBS di contenere il consumo del suolo e allo stesso tempo mitigando gli effetti dei cambiamenti climatici, ne deriva un incremento delle aree verdi, riducendo l'effetto "isola di calore", migliorando la qualità dell'aria e favorendo la ricarica della falda;
- *Benefici sociali ed estetici*: indicatore sulla capacità di valorizzare e tutelare il territorio nelle sue caratteristiche ambientali e paesaggistiche favorevoli al benessere umano, si parla di rigenerazione urbana migliorandone le condizioni di vivibilità;
- *Benefici al depuratore*: indicatore relativo alla capacità di migliorare le prestazioni dell'impianto di depurazione riducendo i volumi di acque meteoriche che vi arrivano;
- *Costo di realizzazione dell'opera*;

- *Costo di gestione*: indicatore economico che tiene conto dei costi di manutenzione, ordinaria e straordinaria, valutato come rapporto percentuale rispetto al costo di realizzazione;
- *Affidabilità* delle prestazioni nel tempo: indicatore che valuta la capacità di mantenere un determinato livello prestazionale invariato nel tempo, prevedendo il rispetto dei piani manutentivi richiesti.

Gli Indicatori Urbanistici indirizzano la scelta dal punto di vista sito-specifico, valutando l' idoneità delle soluzioni NBS ad adattarsi al contesto; ciò permette di scartare a priori le soluzioni che non si possono progettare in quella determinata area.

Gli Indicatori di Prestazione permettono di confrontare i benefici (idraulici, ambientali, sociali ed economici) derivanti dall'installazione delle differenti soluzioni adottabili.

Gli indicatori permettono di indirizzare le scelte progettuali verso la soluzione NBS tecnicamente ed economicamente più idonea, in grado di limitare l'impatto sia sul ricettore sia sui sistemi di depurazione.

## 6 Prodotto finale per la comparazione delle possibili soluzioni

È stato realizzato un foglio di calcolo (*comparazione NBS.xlsx*) per comparare le differenti tecnologie NBS in funzione degli indicatori Urbanistici e di Prestazione.

Il foglio di calcolo analizza in primo luogo i vincoli per l'installazione di una determinata soluzione in funzione delle caratteristiche del sito, identificando quali soluzioni sono adottabili; per le soluzioni adottabili riporta un punteggio per ogni indicatore di prestazione e una valutazione complessiva data dalla somma dei punteggi ottenuti riportando inoltre eventuali richieste di approfondimento nel caso di soluzioni ad infiltrazione.

Il foglio è suddiviso in più fogli:

- *“Indicatori”*: in questo foglio è richiesto di impostare i dati relativi agli indicatori urbanistici e di prestazione ossia le caratteristiche del sito e un peso da attribuire ad ogni indicatore, con un punteggio da 1, meno rilevante, a 3, molto rilevante;
- *“risultati”*: in questa sezione, per ogni tecnologia indagata, sono riportati i risultati ottenuti ossia se la soluzione non è adottabile o il punteggio ottenuto dalle soluzioni adottabili;
- *“tabella NBS”*: in questa sezione sono riportate le proprietà delle soluzioni indagate sottoforma di punteggi attribuiti ad ogni indicatore (come esposti in Tabella 9);
- *“caratteristiche sito-NBS”*: in questo foglio sono riportate le caratteristiche del sito richieste al fine di poter installare una determinata tecnologia NBS.

L'unico foglio da compilare per la comparazione delle tecnologie NBS è quello denominato *“Indicatori”*, la scelta avviene tramite dei menù a discesa dove sono già impostate le possibili risposte. Di seguito si analizzeranno le singole variabili al fine della corretta compilazione del foglio di calcolo:

- *Caratteristiche del sito*:
  - *Usa del suolo*: sono previste 6 categorie che influenzano il livello di inquinati che possono essere trasportati dalle acque meteoriche:
    - *Residenziale*: comparto ad uso prevalentemente abitativo;
    - *Commerciale*: riguarda gli uffici amministrativi, gli spazi commerciali, i distretti finanziari, gli spazi culturali o sportivi, le scuole, gli ospedali;
    - *Industriale*: relativo a tutte le forme di industria;
    - *Trasporti*: tratta i sistemi di trasporto urbano incluse le linee ferroviarie, le strade ad alta percorrenza, i porti, gli aeroporti, e relative strutture accessorie;
    - *Strade e Piazze*: riguarda le strade comunali o di collegamento, le piazze e i parcheggi;
    - *Spazi verdi*: riguarda gli spazi verdi pubblici, comunali, regionali, residenziali.
  - *Tipologia di suolo*: sono previste 4 tipologie di suolo che influenzano la capacità di infiltrare le acque nel terreno:
    - *Alta infiltrabilità – ghiaia*: sono suoli con coefficiente di deflusso basso con alta capacità di infiltrazione anche se bagnati ( $K_s > 10^{-2}$  m/s);
    - *Media in filtrabilità – sabbia*: sono suoli con capacità di infiltrazione moderata se bagnati ( $10^{-2} < K_s < 10^{-5}$  m/s);
    - *Bassa in filtrabilità – sabbia fine, argilla con limo e sabbia*: sono suoli con bassa capacità di infiltrazione se bagnati ( $10^{-5} < K_s < 10^{-9}$  m/s);
    - *In filtrabilità ridotta – argille omogenee*: sono suoli con capacità di infiltrazione estremamente bassa se bagnati, quasi impermeabili ( $10^{-9} < K_s < 10^{-11}$  m/s);
  - *Pendenza indicativa della superficie*: fa riferimento alla pendenza media, indicativamente stimata, dell'area di captazione delle acque meteoriche:
    - 0-1%;
    - 1-5%;
    - 5-10%;

- 10-15%;
  - >15%;
  - *Estensione dell'area di captazione*: identifica l'estensione del sottobacino che intercetta le acque meteoriche da inviare al sistema di drenaggio:
    - < 1 ettaro;
    - 1-2 ettari;
    - 2-4 ettari;
    - > 4 ettari;
  - *Spazio disponibile per l'implementazione di tecnologie NBS*: valuta quanto spazio è possibile dedicare all'installazione delle soluzioni per il drenaggio urbano all'interno dell'area di progetto:
    - *Ridotto*;
    - *Medio*;
    - *Grande*;
- *Rilevanza PI (Indicatori di Prestazione)*: in questa sezione sono riportati i 6 indicatori di prestazione, suddivisi nelle tre macro categorie, e per ognuno di essi si può attribuire un peso da 1 a 3:
  - *Benefici idraulici*: benefici relativi al controllo dei deflussi e degli inquinanti:
    - *Riduzione dei volumi*: relativo alla riduzione dei volumi immessi nella rete o inviati al corpo idrico ricettore (indicatore quantitativo);
    - *Riduzione del picco di portata*: relativo alla riduzione del picco di portata immesso in rete o al corpo idrico ricettore (indicatore quantitativo);
    - *Riduzione di solidi sospesi*: riguarda la riduzione della massa totale dei solidi sospesi contenuti nelle acque meteoriche (indicatore qualitativo);
  - *Co-Benefici*: benefici secondari (ambientali e sociali) correlati all'introduzione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile:
    - *Riutilizzo delle acque*: riguarda la possibilità di recuperare le acque meteoriche e riutilizzarle per scopi non potabili;
    - *Benefici ambientali*: i benefici attesi dall'introduzione delle tecnologie NBS non sono solo di tipo idraulico, questo indicatore tiene conto della capacità di ridurre l'effetto isola di calore, del potenziale miglioramento della qualità dell'aria e della capacità di favorire il ricarica della falda;
    - *Benefici sociali/estetici*: valorizza le caratteristiche ambientali e paesaggistiche del sito, favorevoli al benessere umano;
- *Scala di applicazione*: prevede tre opzioni che individuano la scala dell'intervento:
  - *Edificio*;
  - *Strada*;
  - *Quartiere*.
- *Rilevanza costo di realizzazione*: attribuisce un peso da 1 a 3 all'importanza dell'aspetto economico derivante dal costo per la realizzazione dell'opera;
- *Rilevanza costo di manutenzione*: attribuisce un peso da 1 a 3 all'importanza dell'aspetto economico derivante dal costo per la manutenzione ordinaria e straordinaria dell'opera.

	A	B	C	D
1	<b>CARATTERISTICHE DEL SITO</b>			
2	Uso del suolo	Commerciale		
3	Tipologia di suolo	Alta infiltrabilità - ghiaia		
4	Pendenza indicativa della superficie	0-1%		
5	Estensione dell'area di captazione	<1 ettaro		
6	Spazio disponibile per l'implementazione di tecnologie SudS	Grande		
7	<b>RILEVANZA PI (Indicatori di Prestazione)</b>			
8	<i>BENEFICI IDRAULICI</i>	Riduzione dei volumi		3
9		Riduzione del picco di portata		1
10		Riduzione di solidi sospesi		2
11	<i>CO-BENEFICI</i>	Riutilizzo delle acque		1
12		Benefici ambientali		2
13		Benefici sociali/estetici		3
14	<b>SCALA D'APPLICAZIONE</b>			
15	quartiere			
16	<b>RILEVANZA COSTO DI REALIZZAZIONE</b>			
17	3			
18	<b>RILEVANZA COSTO DI MANUTENZIONE</b>			
19	1			
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				

Figura 20. Estratto del foglio di calcolo per la comparazione delle soluzioni NBS; foglio "Indicatori" relativo alla definizione degli Indicatori Urbanistici e di Prestazione.

Il foglio di calcolo, nella sezione "risultati", restituisce una tabella dove per ogni soluzione indagata viene riportato se è adottabile e il relativo punteggio ottenuto rispetto agli indicatori di prestazione. Se la soluzione è adottabile, nei casi di tecnologie ad infiltrazione, compare un messaggio relativo agli eventuali approfondimenti da fare. Gli approfondimenti riguardano la distanza tra il pacchetto drenante e la falda superficiale, inoltre valuta il rispetto delle distanze previste dai fiumi, dalle fondazioni degli edifici limitrofi e dalle strade, secondo quanto indicato in letteratura [12].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		report soluzioni adottabili	Punteggio benefici idraulici	Punteggio co-benefici	Punteggio Costi	Punteggio totale	Eventuali ulteriori approfondimenti		
1									
2	Bioritenzione	adottabile	2.1	4.7	1.5	8.3	verificare che la distanza dalle strade sia inferiore a 30 metri, la distanza dalle fondazioni degli edifici sia di almeno 3 metri e che la distanza da corsi d'acqua superficiali sia superiore a 30 metri	verificare che la distanza tra il fondo del pacchetto drenante e la falda superficiale sia superiore a 1 metro	
3	Canali inerbiti	non adottabile	/	/	/	/			
4	Bacini inondabili	adottabile	5.7	3.8	3.3	12.9	verificare che la distanza dalle strade sia inferiore a 30 metri e che la distanza dalle fondazioni degli edifici sia di almeno 3 metri	verificare che la distanza tra il fondo del pacchetto drenante e la falda superficiale sia superiore a 1 metro	
5	Bacini di detenzione	adottabile	2.6	6.7	1.8	11.1	verificare che la distanza da corsi d'acqua superficiali sia superiore a 30 m	verificare che la distanza tra il fondo del pacchetto drenante e la falda superficiale sia superiore a 1 metro	
6	Pozzi perdenti	non adottabile	/	/	/	/			
7	Trincee drenanti	non adottabile	/	/	/	/			
8	Pavimentazioni permeabili	adottabile	3.5	3.2	3.0	9.7	verificare che la distanza dalle strade sia inferiore a 30 metri, la distanza dalle fondazioni degli edifici sia di almeno 3 metri e che la distanza da corsi d'acqua superficiali sia superiore a 30m	verificare che la distanza tra il fondo del pacchetto drenante e la falda superficiale sia superiore a 1 metro	
9	Tetti verdi	non adottabile	/	/	/	/			
10	Recupero e riuso	non adottabile	/	/	/	/			
11	Invasi	adottabile	0.8	3.5	0.7	4.9			
12									
13									
14									
15									
16									
17									

**Figura 21. Estratto del foglio di calcolo per la comparazione delle soluzioni NBS; foglio "Risultati" relativo ai punteggi ottenuti da ogni soluzione NBS.**

Come si può notare dalla Figura 21, in tabella viene evidenziato se la soluzione è "adottabile" o "non adottabile", le soluzioni non adottabili vengono evidenziate in rosso; vengono riportati i punteggi relativi alle macro categorie di Indicatori e il punteggio totale, evidenziato con colori differenti per visualizzare quali soluzioni hanno il punteggio più elevato e quindi risultano più affini a quanto ricercato; le ultime colonne sono quelle dedicate alle verifiche da effettuare per i casi ad infiltrazione.

## 7 Conclusioni

I sistemi di drenaggio urbano sostenibile consentono di limitare l'apporto delle acque meteoriche alle reti fognarie riducendo in tal modo l'impatto che tali acque hanno sui sistemi depurativi e sui sistemi idrici ricettori. Queste soluzioni consentono pertanto di incrementare la sostenibilità e la resilienza delle aree urbanizzate nei confronti degli eventi meteorici, anche estremi. Attraverso le tecnologie verdi si favorisce quindi l'infiltrazione, l'evapotraspirazione o il riutilizzo dei volumi di pioggia che cadono sulle aree urbane. La scelta di adottare tecnologie verdi o soluzioni tradizionali, le cosiddette *end of pipe solutions*, deve nascere da valutazioni tecnico/economiche di dettaglio al fine di selezionare tra le numerose possibilità quella più idonea.

L'utilizzo di soluzioni di drenaggio urbano sostenibile aggiunge, oltre ai benefici idraulici, notevoli vantaggi come il valore estetico e funzionale dal punto di vista sociale, permette inoltre la riduzione dell'effetto isola di calore e favorisce un miglioramento della qualità dell'aria. Queste soluzioni permettono di ridurre la frequenza e il volume delle acque inviate al ricettore riducendo così il carico inquinante immesso in ambiente, ciò si traduce anche in un beneficio per gli impianti di depurazione.

Ogni soluzione di drenaggio sostenibile ha delle caratteristiche proprie, che influiscono, in maniera più o meno significativa, in termini quantitativi e qualitativi, sulla gestione delle acque meteoriche. Nei capitoli precedenti sono state analizzate alcune delle soluzioni NBS, sia dal punto di vista realizzativo sia rispetto alle loro proprietà meccaniche nella gestione delle acque meteoriche.

Data la complessità della scelta dovuta alla varietà di soluzioni e di situazioni possibili, è stata sviluppata un'analisi multi criterio al fine di raggiungere una visione di sintesi, in grado di evidenziare i vantaggi e l'efficienza dell'implementazione delle varie tecnologie prese in esame.

L'approccio multi criterio ha trovato ampia applicazione nei temi di sostenibilità ambientale dato l'elevato numero di variabili coinvolte. L'analisi multi criterio a supporto del processo decisionale, permette quindi di schematizzare il problema e di identificare le soluzioni alternative applicabili attraverso un insieme di criteri di valutazione che ne analizzano l'effetto secondo differenti punti di vista. Questo approccio permetterà ai decisori di selezionare l'opzione più sostenibile tra le varie alternative.

In risposta ai cambiamenti climatici, i criteri da valutare per determinare l'efficienza di una soluzione sostenibile sono:

- Adeguatezza o idoneità: valutare le caratteristiche del sito valutando la fattibilità di installare o meno una determinata tecnologia sostenibile;
- Benefici idraulici: la necessità di ridurre il rischio di allagamento intercettando e gestendo le acque meteoriche al fine di ridurre i volumi e i picchi di portata (invarianza idraulica e idrologica);
- Qualità delle acque: la necessità di ridurre il carico inquinante contenuto nelle acque meteoriche e inviato ai corpi idrici ricettori;
- Aspetti paesaggistici e sociali: incremento della biodiversità attraverso l'utilizzo di soluzioni verdi, favorire gli interventi di riqualificazione urbana progettando in modo da creare degli spazi verdi fruibili, alleviando al contempo gli effetti "isola di calore";
- Aspetto economico: effettuare un'analisi dei costi di realizzazione e manutenzione può favorire il processo decisionale.

L'analisi si sviluppa in 4 fasi: l'analisi di adeguatezza che evidenzia le caratteristiche delle soluzioni NBS in relazione al contesto di installazione, l'analisi dei benefici e co-benefici specifici per ogni soluzione indagata, l'analisi dei costi e una normalizzazione dei punteggi ottenuti nelle fasi precedenti. La normalizzazione dei punteggi permette quindi la comparazione delle differenti tecnologie rispetto a degli indicatori: Indicatori di Prestazione *PI*. Gli Indicatori di Prestazione sono 10: 3 si riferiscono ai benefici idraulici in termini qualitativi; 4 sono legati ai co-benefici o benefici ambientali e sociali; 3 fanno riferimento all'investimento ossia valutano l'aspetto economico e l'affidabilità di garantire le prestazioni inalterate nel tempo.

Oltre agli indicatori *PI* sono stati elaborati degli Indicatori Urbanistici *IU*, ossia riferibili alle caratteristiche del sito in cui installare le tecnologie per il drenaggio urbano sostenibile. Questi indicatori permettono di analizzare le caratteristiche del sito nell'ottica di identificare quali soluzioni NBS sono idonee e applicabili ad

un determinato contesto. Gli *IU* si basano sulle caratteristiche richieste per la corretta realizzazione di ogni singola soluzione NBS.

Gli *IU* mettono in evidenza quali soluzioni sono idonee in un determinato contesto; una volta effettuata questa scrematura, i *PI* valutano il livello di efficienza delle soluzioni applicabili e permettono la comparazione tra le possibili alternative.

Sulla base dei punteggi ottenuti durante l'analisi multi criterio e rispetto agli indicatori *IU* e *PI*, è stato sviluppato un foglio di calcolo per la comparazione delle soluzioni NBS.

Questo strumento permette al gestore, piuttosto che al pianificatore o al progettista, di individuare la soluzione tecnicamente ed economicamente più idonea ed efficiente da adottare nei sistemi di drenaggio urbano al fine di gestire le acque meteoriche riducendo l'impatto quali-quantitativo che esse hanno sui corpi idrici ricettori ma anche sulla rete stessa e sugli impianti di depurazione a valle.

È evidente come la progettazione e la successiva realizzazione di un'area verde all'interno del perimetro urbano genera una serie di flussi di cassa tra investitori, turisti ed eventuali creazioni di nuove cariche e posti di lavoro. Si può quindi dire che le NBS possono essere sfruttate come una nuova chiave di lettura per quello che è il modello economico in più settori, su cui basarsi e dunque investire che apporterebbe benefici sia in termini di costi-ricavi, sia in termini ambientali e di risorse.

Data la complessità di soluzioni applicabili e di casistiche in cui si possono inserire si prevede la possibilità di sviluppare un modello più complesso che tenga conto della compresenza di più soluzioni LID contemporaneamente e che sia in grado di quantificare, anche in modo approssimativo, l'effettivo impatto sulla rete e sui corpi idrici.

## 8 Riferimenti bibliografici

1. "Safe cities in armonia con la natura: per città Verdi, più sane, più sicure", Report "Urban Nature 2020", WWF, 2020.
2. N. Droste, C. Schroter-Schalaack, B. Hansjurgens, H. Zimmermann, "Implementing Nature-Based Solutions in urban areas: financing and governance aspect", in "Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas", capitol 18 (307-321), 2017.
3. N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, A. Bonn, "Nature-Based Solutions to climate change adaptation in urban areas – linkages between science, policy and practice. Theory and practice of urban sustainability transitions", 2017.
4. H. Madsen, D. Lawrence, M. Lang, M. Martinkova, T.R. Kjeldsen, "Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe." *Journal of Hydrology* 519, 3634–3650, 2014.
5. A. Pistocchi, C. Calzolari, F. Malucelli, F. Ungaro, "Soil sealing and flood risks in the plains of Emilia-Romagna, Italy." *J. Hydrol. Reg. Stud.* 4, 398–409, 2015.
6. M. Astarai-Imani, Z. Kapelan, G. Fu, D. Butler, "Assessing the combined effects of urbanisation and climate change on the river water quality in an integrated urban wastewater system in the UK." *Journal of Environmental Management* 112, 1–9, 2012.
7. C. Hinman, "Rain Garden Handbook for Western Washington. A Guide for Design, Installation, and Maintenance." Washington State University Extension, 2013.
8. "Infrastrutture verdi per l'adattamento ai cambiamenti climatici Strategie e indicazioni progettuali per la gestione sostenibile delle acque meteoriche urbane nell'area mediterranea nord-occidentale", Città Metropolitana di Genova, ModusOperandi Editore, 2020.
9. "Liberare il suolo. Linee guida per migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici negli interventi di rigenerazione urbana", Progetto SOS4Life Regione Emilia Romagna.
10. D. C. Godwin, M. Cahill, M. Sowles, "Rain Gardens" Oregon Sea Grant Publications, 2011.
11. M.L. Clar, B.J. Barfield, T.P. O'Connor, "Stormwater Best Management Practice Design Guide Volume 2 Vegetative Biofilters", 2004.
12. B. Woods Ballard, S. Wilson, H. Udale-Clarke, S. Illman, T. Scott, R. Ashley, R. Kellagher, "The Suds Manual", Ciria, Londra, 2015.
13. "BMP Design Manual of Practice", Virginia Department of Transportation, Virginia, 2013.
14. UNI/TS 11445 - Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - Progettazione installazione e manutenzione; 2012.
15. S.S. Cipolla, M. Altobelli, M. Maglionico, "Systems For Rainwater Harvesting And Greywater Reuse At The Building Scale: A Modelling Approach." *Environ. Eng. Manag. J.*, 17, 2349–2360, 2018.
16. S.S. Cipolla, M. Altobelli, M. Maglionico "Decentralized Water Management: Rainwater Harvesting, Greywater Reuse and Green Roofs within the GST4Water Project." *Proceedings*, 2, 673, 2018.
17. S. Zanni, S.S. Cipolla, E. Di Fusco, A. Lenci, M. Altobelli, A. Currado, M. Maglionico, A. Bonoli, "Modeling for sustainability: Life cycle assessment application to evaluate environmental performance of water recycling solutions at the dwelling level." *Sustainable Production and Consumption*, 17, 47-61, 2019.
18. M. Altobelli, S.S. Cipolla, M. Maglionico, "Combined Application of Real-Time Control and Green Technologies to Urban Drainage Systems", *Water*, 12, 3432, 2020.
19. S. F. Gill, J. F. Handley, A. R. Ennos, S. Pauleit, "Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure." *Built Environment*, 33, 115–133, 2007.
20. M. Keeley, A. Koburger, D. Dolowitz, D. Medearis, D., Nickel, W. Shuster, "Perspectives on the use of green infrastructure for stormwater management in Cleveland and Milwaukee." *Environmental Management*, 51, 1093–1108, 2013.
21. M. Everard, R. McInnes, "Systemic solutions for multi-benefit water and environmental management." *Science of the Total Environment*, 461–462, 170–179, 2013.
22. T. L. C. Moore, W. F. Hunt, "Ecosystem service provision by stormwater wetlands and ponds—A means for evaluation?" *Special Issue on Stormwater in Urban Areas*, 46, 6811–6823, 2012.

23. V. Novotny, J. Ahern, P. Brown, "Planning and design for sustainable and resilient cities: Theories, strategies, and best practices for green infrastructure." In W. Centric (Ed.), *Sustainable communities*, 135–176, 2010.
24. D. Dagenais, I. Thomas, S. Paquette, "Siting green stormwater infrastructure in a neighbourhood to maximise secondary benefits: lessons learned from a pilot project." *Landscape Research*, 2016.
25. H. Jia, H. Yao, Y. Tang, S. L. Yu, J. X. Zhen, Y. Lu, "Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs" selection", *Environ. Monit. Asses.*, 185, 7915-7933, 2013.
26. J.F. Chow, D. Savic, D. Fortune, Z. Kapelan, N. Mebrate, "Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs", *Procedia Engineering*, 70, 343-352, 2014.
27. A. Alves, B. Gersonius, A. Sanchez, Z. Vojinovic, Z. Kapelan, "Multi-criteria Approach for Selection of Green and Grey Infrastructure to Reduce FloodRisk and Increase CO-benefits", *Water Resour Manage*, 32, 2018.
28. C. Martin, Y. Ruperd, M. Lagret, "Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices", *European Journal of Operational Research*, 181, 338-349, 2007.
29. K. Keating, H. Keeble, A. Pettit, D. Stark, "Cost estimation for SUDS - summary of evidence", *Environment Agency*, 2015.
30. S. Gordon-Walker, T. Harle, I. Naismith, "Cost-benefit of SUDS retrofit in urban areas", *Environment Agency*, 2007.
31. V.R. Stovin, A.D. Swan, "Retrofit SuDS—cost estimates and decision-support tools", *ICE Publishing Water Management*, 160, 207-214, 2007.

## 9 Abbreviazioni ed acronimi

- BMP: Best Management Practices
- NBS: Nature Based Solutions
- LID: Low Impact Development
- SUDS: Sustainable Urban Drainage systems
- PI: performance Indicators o Indicatori di Prestazione
- IU: Indicatori Urbanistici

## 10 Curriculum del gruppo di lavoro

### Margherita Altobelli

Assegnista di Ricerca e docente a contratto presso l'Università di Bologna. Laureata in Ingegneria Edile-Architettura presso l'Università di Bologna a febbraio 2017 con voto 100/110. Da Aprile 2017 a Luglio 2018 ha prestato servizio come Assegnista di Ricerca presso il Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale, nell'ambito del progetto POR-FESR GST4water ([www.gst4water.it](http://www.gst4water.it)) sulla tematica del recupero e del riuso delle acque meteoriche e reflue, reperendo e analizzando le serie storiche pluviometriche della regione Emilia-Romagna al fine di valutare il corretto dimensionamento dei serbatoi di accumulo, in ambito residenziale, in funzione del sito in cui vengono installati gli impianti. Da agosto 2018 collabora come Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento DICAM-Costruzioni Idrauliche della Scuola di Ingegneria di Bologna; prima nell'ambito del progetto relativo all'ottimizzazione della gestione dei sistemi acquedottistici e fognari dei Comuni di Lizzano in Belvedere e Alto Reno Terme (BO), da febbraio 2020 nell'ambito del progetto dal titolo "Gestione sostenibile dell'acqua in ambito urbano". L'attività di ricerca si focalizza principalmente nell'ambito del drenaggio urbano, mediante attività sperimentali volte allo studio del comportamento idrologico di tecnologie per il drenaggio urbano sostenibile (NBS, SuDS, Green Roofs etc), mediante attività di modellazione numerica di reti drenaggio urbano complesse e mediante lo studio di sistemi per il recupero di energia termica dai sistemi fognari.

<https://www.unibo.it/sitoweb/margherita.altobelli3>

### Margherita Evangelisti

Assegnista di Ricerca presso l'Università di Bologna. Laureata in Ingegneria Civile presso l'Università di Bologna a marzo 2021 con voto 110/110 e lode, discute la tesi inerente la qualità dell'acqua di corpi idrici superficiali soggetti a scolmatori di piena.

Da Maggio 2021 collabora come Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento DICAM - Costruzioni Idrauliche della Scuola di Ingegneria di Bologna nell'ambito del progetto MONALISA, il quale mira a valutare la qualità dell'acqua dei canali rurali, utilizzati a scopo irriguo, e la relativa capacità auto-depurativa nei confronti delle immissioni che si verificano in tempo di pioggia a partire dalle reti di drenaggio urbano.

L'attività di ricerca si sviluppa attraverso la modellazione numerica dei sistemi di drenaggio urbano, appoggiandosi all'analisi dei dati idraulici e qualitativi registrati durante le attività di monitoraggio in fognatura e nei corpi idrici superficiali.

<https://www.unibo.it/sitoweb/margherita.evangelisti>

### Marco Maglionico

Professore associato presso l'Università di Bologna. Ha conseguito la laurea in Ingegneria Idraulica nel 1993 all'Università di Bologna; ha quindi conseguito il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Idraulica su "Aspetti qualitativi nelle reti di drenaggio urbano" presso il Politecnico di Milano nel 1998. Ha inoltre partecipato a diversi progetti di ricerca sia Italiani che Europei. Tra i progetti internazionali si ricordano: EU INNOVATION 103401 (1996-1999) "Application for the Urban Pollution Management Procedure to River Quality Protection in European Member States"; "CARE-S: Computer Aided REhabilitation of Sewer networks" (2003-2005) nell'ambito del 5th Frame Programme; "TRUST: Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow" (2011-2015) under the 7th Framework Programme; "LIFE15 ENV/IT7000423 AGROWETLANDS II Smart water and soil salinity management in Agro-wetlands (2016-2020)". In ambito Nazionale è stato coordinatore del gruppo di lavoro dell'Università di Bologna nell'ambito del finanziamento del MIUR PRIN 2005 del progetto: "Indicatori di prestazione per la stima, l'analisi e la valutazione delle strategie di riduzione delle perdite idriche nei sistemi acquedottistici" e del gruppo di lavoro dell'Università di Bologna nell'ambito del finanziamento del MIUR PRIN 2008 del progetto: "Impatto della riduzione delle perdite idriche sulla gestione dei sistemi di

distribuzione in scenari di carenza idrica". I principali campi dell'attività di ricerca riguardano: monitoraggio e modellazione dei sistemi di drenaggio urbano sia per gli aspetti idraulici sia per gli aspetti inerenti la qualità dell'acqua; progettazione di opere per il controllo quantitativo e qualitativo nei sistemi fognari; drenaggio urbano sostenibile (LID, Tetti verdi, ecc.); modellazione numerica delle reti di distribuzione idrica in particolare per la valutazione dell'affidabilità dei sistemi acquedottistici.

<https://www.unibo.it/sitoweb/marco.maglionico>