

21/05/2026

Le tecnologie verdi per la gestione delle acque meteoriche nelle aree urbane

Marco Maglionico

Professore Associato di Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia
Università di Bologna – Dipartimento DICAM
marco.maglionico@unibo.it

Evoluzione dei sistemi di drenaggio urbano

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928



Raccolta e rapido
allontanamento delle
acque

Aspetti idraulici



Controllo centralizzato con
immagazzinamento in **vasche di
laminazione** e di **prima pioggia**

Aspetti ambientali

Controllo diffuso della formazione
del deflusso superficiale:
BMP (*Best Management Practices*)
SuDS (*Sustainable Drainage Systems*)
LID (*Low Impact Development*)
Nature Based Solutions



Recupero e riuso delle
acque – **sistemi ibridi**

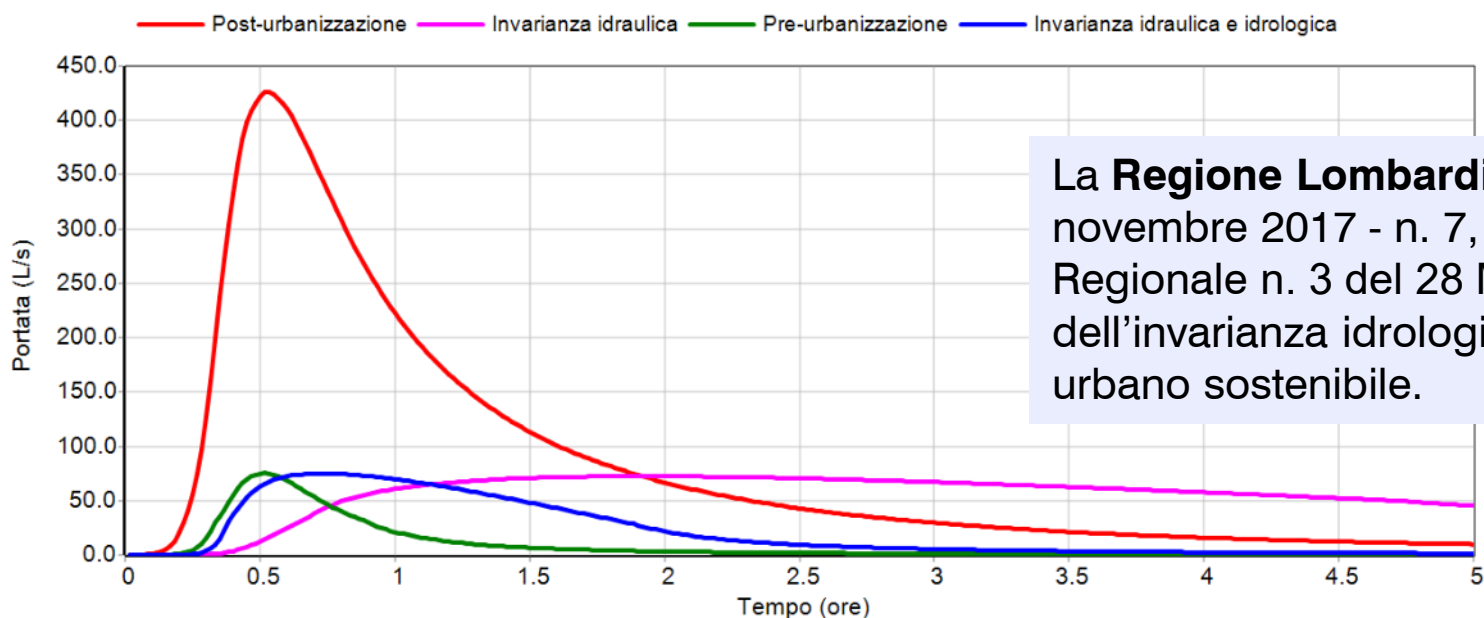
Sostenibilità e Resilienza



WSUD (Water-Sensitive Urban Design)

In Italia l'adozione di invasi o tecnologie verdi è stata tradotta nelle normative attraverso i concetti di **invarianza idraulica** e di **invarianza idrologica**, rispetto alla situazione antecedente l'urbanizzazione:

- **invarianza idraulica** si definisce l'**invarianza della portata di picco**;
- **invarianza idrologica** si definisce l'**invarianza del volume di piena**.



La **Regione Lombardia** nel Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7, modificata dal Regolamento Regionale n. 3 del 28 Marzo 2025, ha introdotto il tema dell'invarianza idrologica e l'applicazione del drenaggio urbano sostenibile.

Direttiva UE Acque Reflue 2024/3019

In gennaio 2025 è entrata in vigore la Direttiva (UE) 2024/3019, per la regolazione del trattamento delle acque reflue urbane in tutta Europa da recepire entro Luglio 2027. La nuova normativa stabilisce criteri più stringenti in materia di gestione degli scarichi, responsabilità ambientale e requisiti tecnologici per gli impianti di depurazione.

Art. 5 - Sviluppare sistematicamente Piani Integrati di Gestione delle Acque Reflue Urbane per la gestione delle acque meteoriche al fine di ridurre il rischio di alluvioni e inquinamento durante eventi intensi.

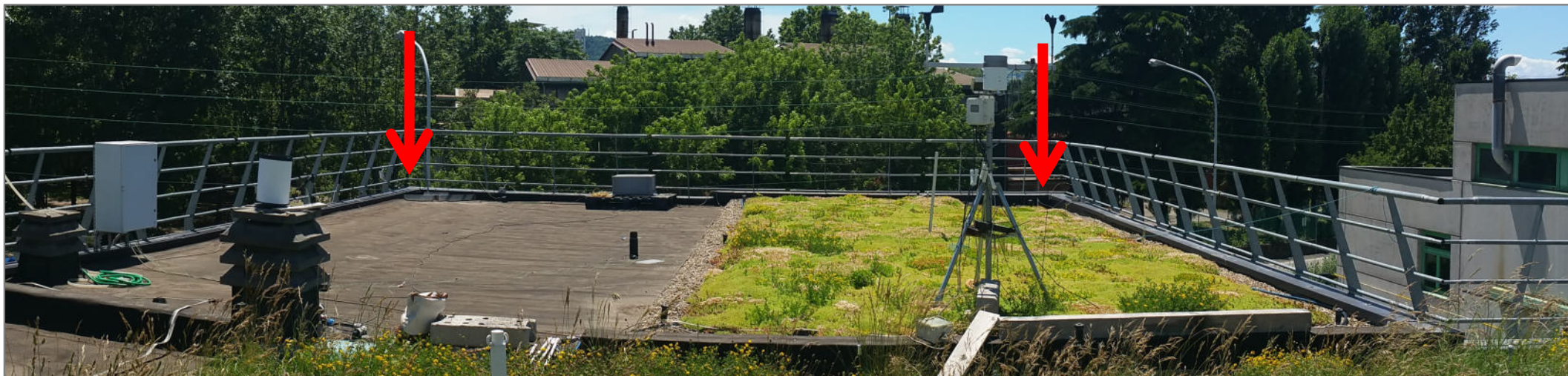
All. V – Obiettivi di riduzione dell'inquinamento dovuto a scolmi causati da piogge molto intense, compresi gli obiettivi seguenti: obiettivo indicativo non vincolante che gli scolmi causati da piogge molto intense rappresentino una piccola percentuale, non superiore al 2%, del carico annuo di acque reflue urbane in tempo secco.

Adozione di misure preventive tese a evitare l'ingresso di acque piovane non inquinate nelle reti fognarie, comprese misure di promozione della ritenzione naturale dell'acqua o del recupero delle acque piovane.

Aumentare gli spazi verdi e blu nelle aree urbane al fine di ridurre gli scolmi o che limitino le superfici impermeabili negli agglomerati.

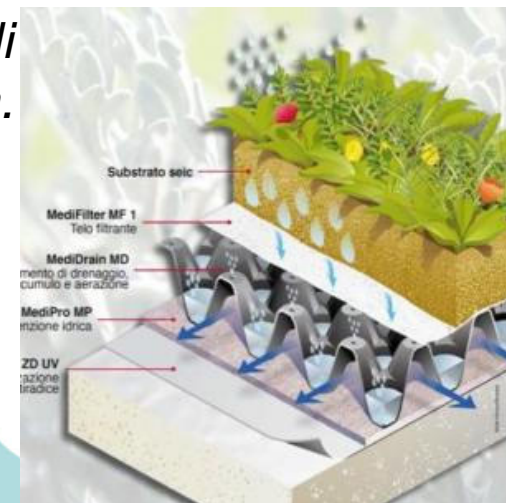
Coperture verdi

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928



Tetto verde sperimentale realizzato presso l'Università di Bologna di superficie di circa 50 m². Spessore del substrato di 10 cm.

L'analisi e la modellazione idrologica sulla base dei dati raccolti presso il tetto verde sperimentale in scala reale ha l'obiettivo di ricostruire, noti gli afflussi, i deflussi e la capacità di ritenzione idrica.



Componenti della copertura verde (UNI 11235:2015)

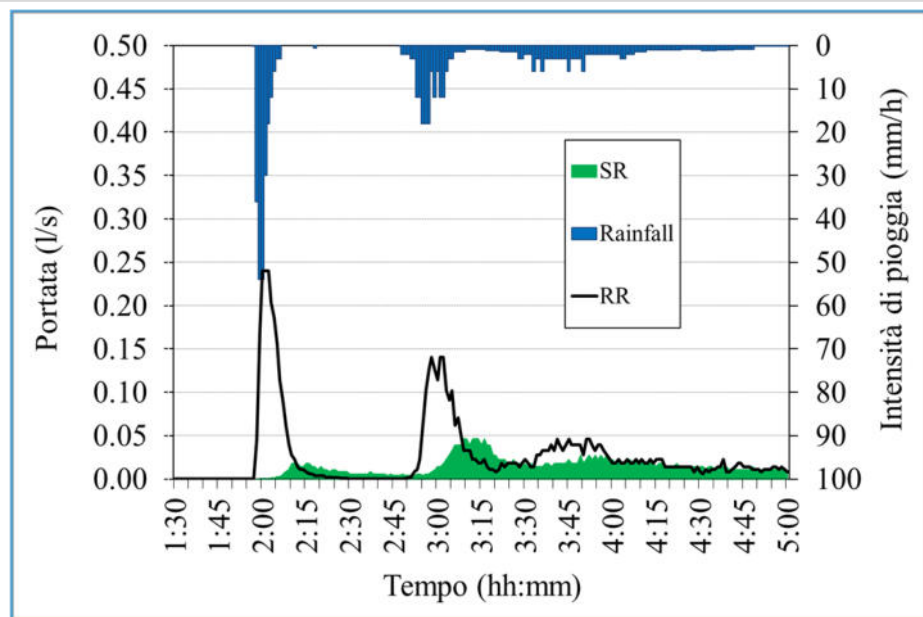
LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928

- ☐ **Membrana di impermeabilizzazione**
 - Spessore 2 mm
 - Antiradice
- ☐ **Feltro geotessile**
 - Protezione meccanica
 - Accumulo idrico
- ☐ **Drenaggio**
 - Spessore 25 mm
 - Rimozione eccesso acqua
 - Aerazione substrato
 - Accumulo idrico 3 l/m²
- ☐ **Strato Filtrante**
 - Evitare occlusione elemento drenante
- ☐ **Substrato**
 - Miscela di pomice, lapillo vulcanico, zeolite e sostanze organiche (100 mm)
- ☐ **Vegetazione**

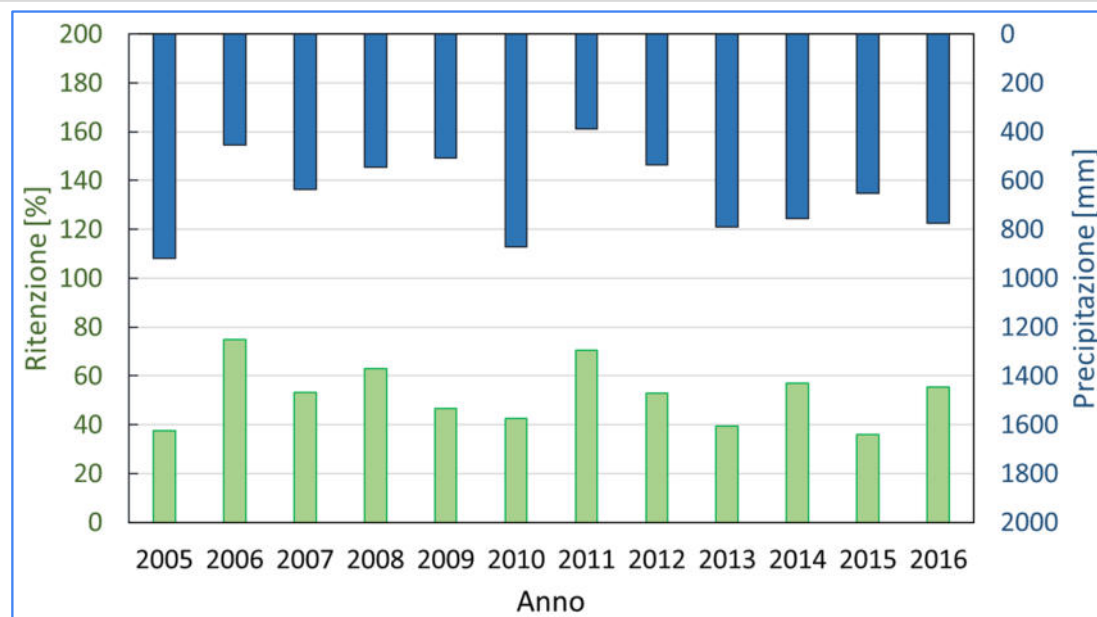


Comportamento idrologico del tetto verde

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928



Rappresentazione dell'effetto di **laminazione** per un evento registrato ad agosto sul tetto sperimentale attra-verso la rappresentazione degli idrogrammi in uscita dal tetto verde (area verde) e dal tetto tradizionale (linea nera).

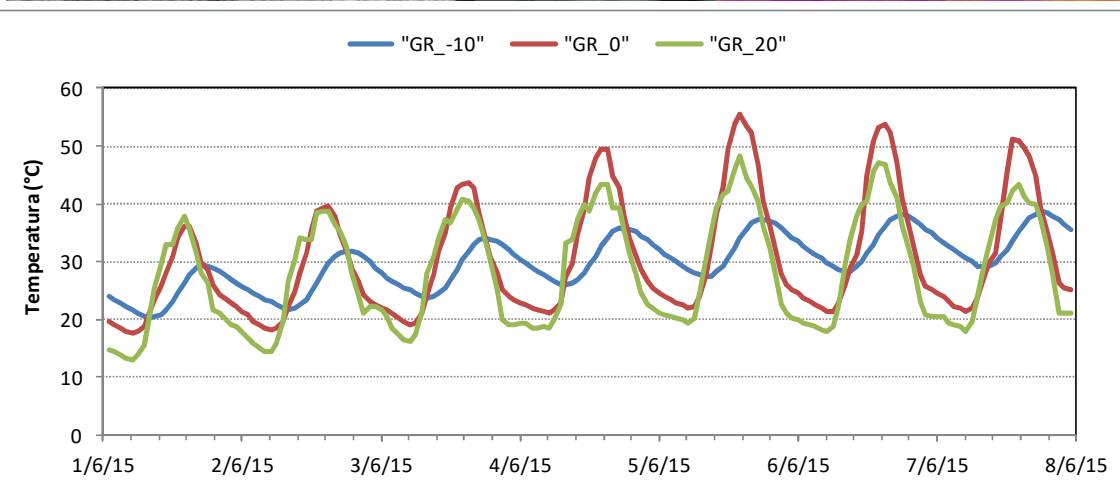
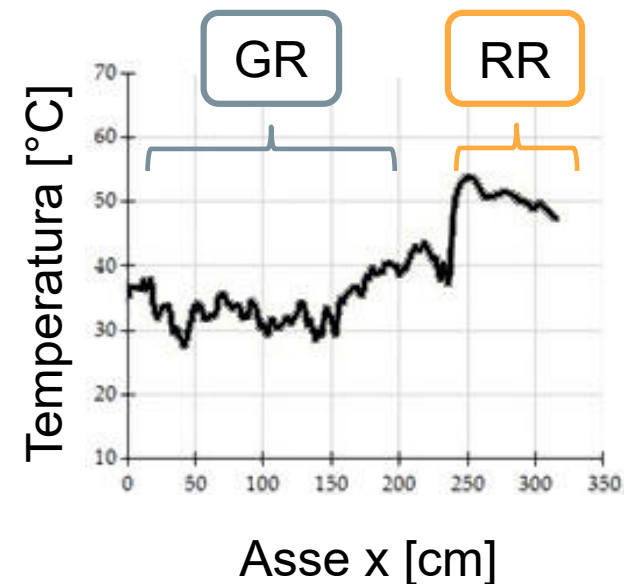
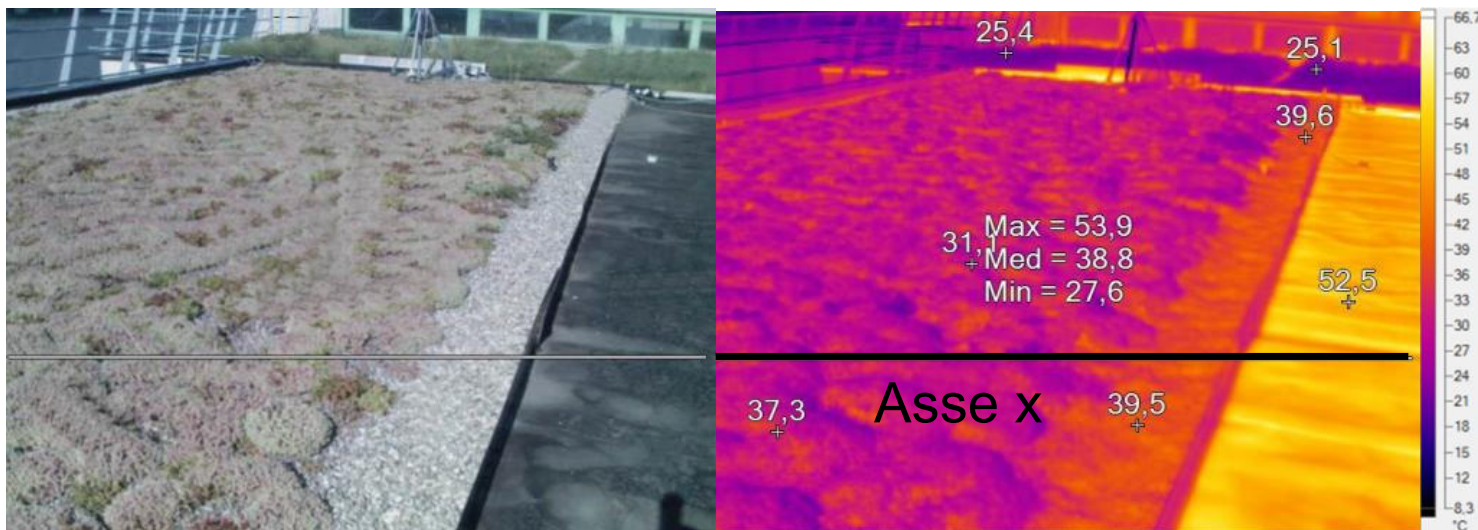


La **ritenzione** rappresenta la percentuale di acqua meteorica che viene trattenuta dal tetto verde. Per la città di Bologna la **ritenzione media annua** di una copertura verde estensiva di substrato di 10 cm con Sedum è pari a **circa il 45%**.

Aspetti termici del tetto verde

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928

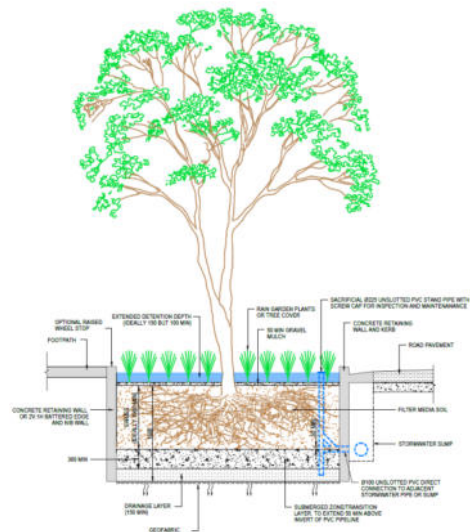
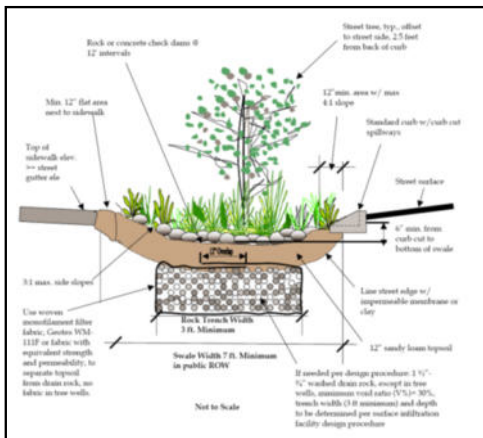
27 Settembre 2014 – Ore 15:00



- Temperatura sotto il substrato (-10 cm)
- Temperatura sopra il sedum
- Temperatura dell'aria +20 cm)

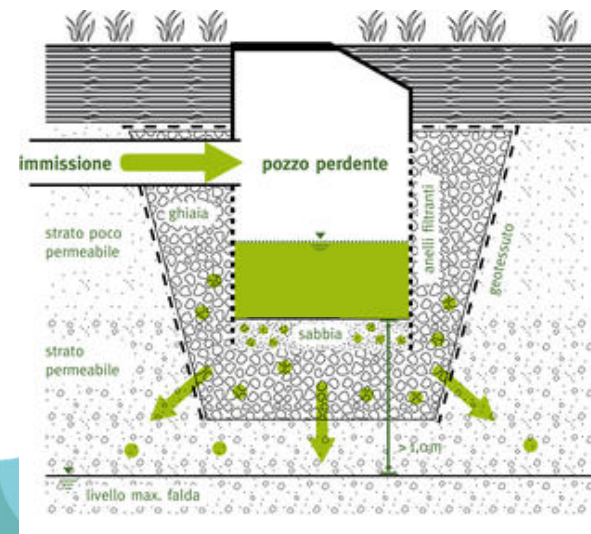
Sistemi ad infiltrazione

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928



Rain garden e tree pits

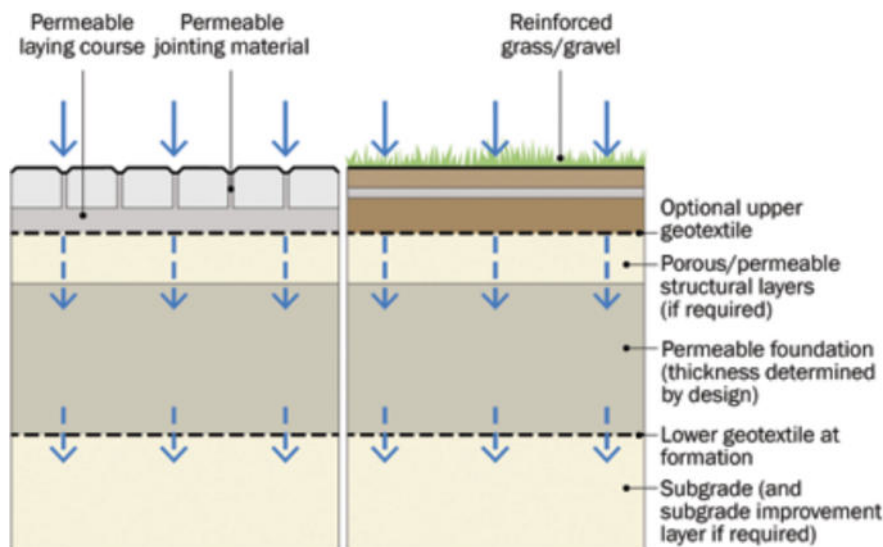
Trincee e pozzi drenanti



Pavimentazioni drenanti

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928

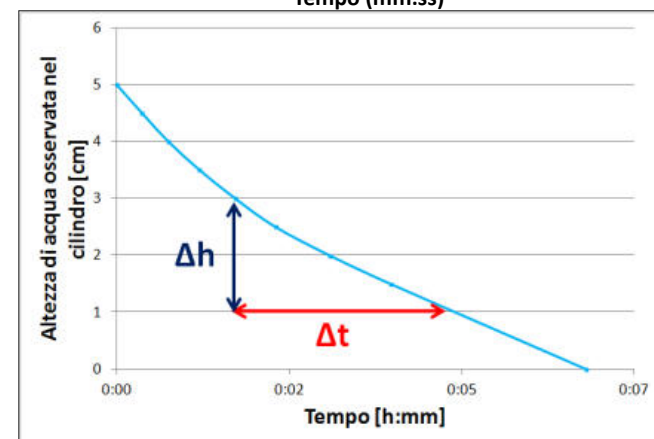
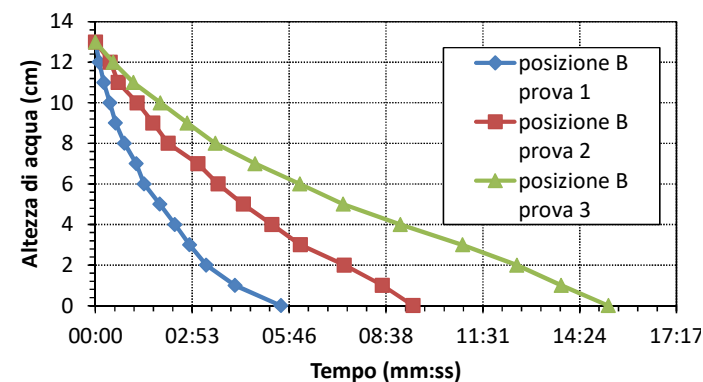
Si può determinare sperimentalmente il coefficiente di permeabilità di una pavimentazione drenante.



<http://www.marshalls.co.uk/watermanagement>

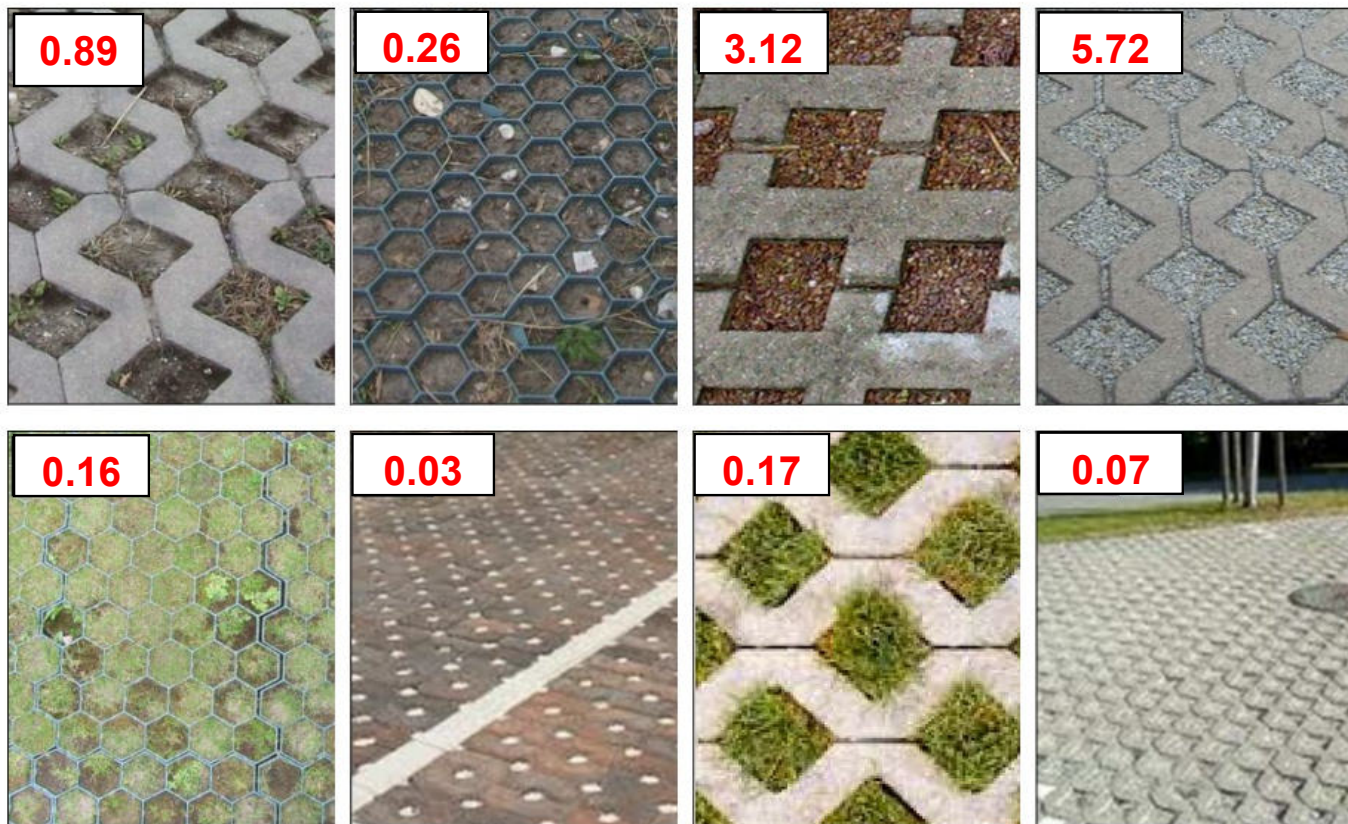
<http://www.paving.org.uk/>

Con il tempo tendono a ridurre gradualmente la loro capacità di infiltrazione.



$$K = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Pavimentazioni drenanti



Il coefficiente di permeabilità è fortemente influenzato, oltre che dalle caratteristiche del parcheggio, anche dagli eventi meteorici precedenti e dalla sua età.

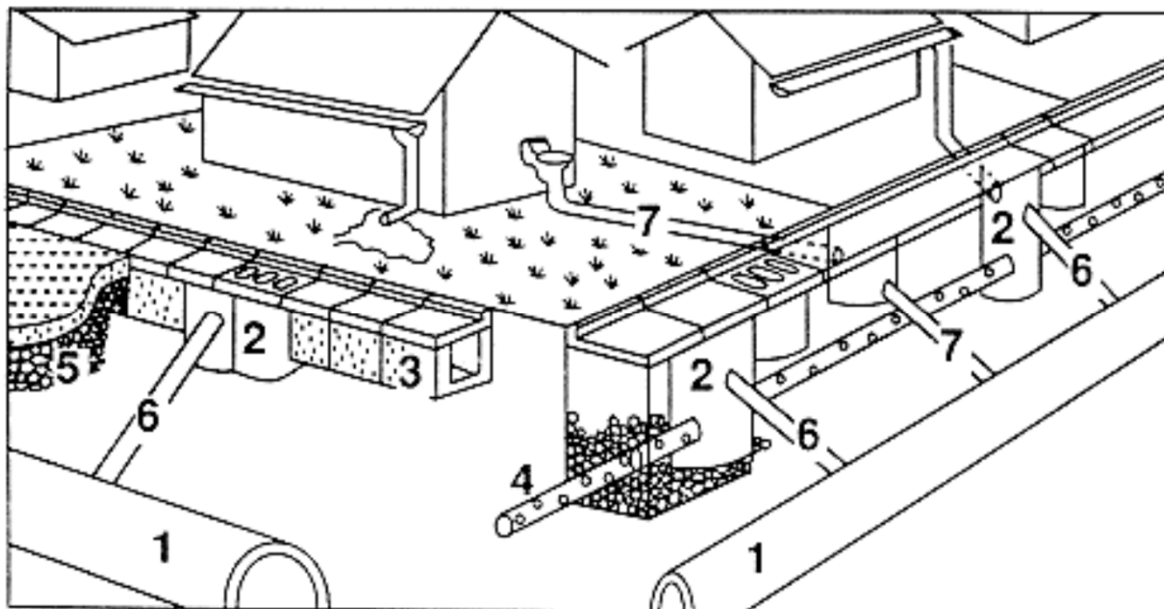
La scritta in rosso indica il **coefficiente di permeabilità** medio misurato in **mm/s**.

Per una progettazione ottimale occorre assegnare al parcheggio drenante una adeguata capacità di invaso.

Tratto da “Experimental infiltration tests on existing permeable pavement surfaces”
S. CIPOLLA, M. MAGLIONICO, I. STOJKOV – Soil Air Water – Vol. 1 - 2016

Progettazione dei sistema di infiltrazione

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928

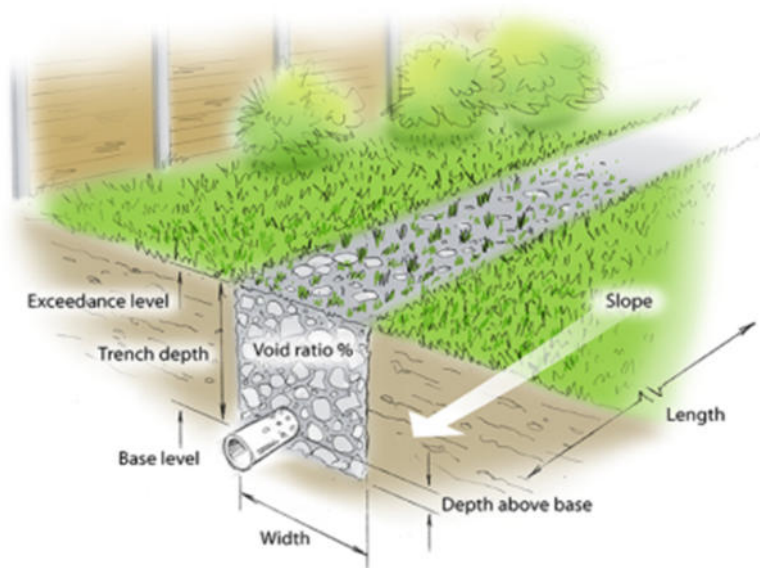


- 1 – Sistema di drenaggio
- 2 – Pozzo di infiltrazione
- 3 – Trincea di infiltrazione
- 4 – Condotta infiltrante
- 5 – Pavimentazione porosa
- 6 – Scarico di troppo pieno
- 7 – Allaccio fognario ordinario

$$(Q_p - Q_f) \cdot \Delta t = \Delta W$$

$$Q_f = K \cdot J \cdot A \quad \text{Equazione di Darcy}$$

Tipo di suolo	K (m/s)
Ciottoli, ghiaia	$>10^{-2}$
Sabbia	$10^{-2} \div 10^{-5}$
Sabbia fine, argilla con limo e sabbia	$10^{-5} \div 10^{-9}$
Argilla omogenea	$10^{-9} \div 10^{-11}$



Nel caso di trincee drenanti il dimensionamento viene eseguito usualmente fissando larghezza e profondità della trincea drenante e ricavando la lunghezza della stessa ricorrendo alla seguente equazione:

$$\Delta W = L \cdot l \cdot \Delta h \cdot n$$

dove L e l sono rispettivamente la lunghezza totale e la larghezza della trincea mentre n è la porosità efficace del materiale di riempimento (ad esempio per la ghiaia si può assumere un valore compreso tra 0.2 e 0.3). La quantità di acqua che si infila può ancora essere calcolata con l'espressione già vista in precedenza:

$$Q_f = K \cdot J \cdot A_{inf}$$

dove l'area A_{inf} di infiltrazione può essere calcolata con la seguente espressione:

$$A_{inf} = L \cdot l + 2 \cdot (L + l) \cdot \Delta h$$

Immagine tratta da:
<https://help.autodesk.com/view/INFDS>

Esempio di dimensionamento di trincee drenanti

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928

Progetto di una trincea di infiltrazione										
Superficie drenata	200	m ²								
Coefficiente di deflusso	0.9									
a - CPP	52	mm/h ⁿ								
n - CPP	0.61									
n - porosità efficace	0.25									
Coefficiente di permeabilità	0.00001	m/s								
Altezza massima trincea	1.5	m								
Larghezza trincea	1.5	m								
Lunghezza trincea	23	m								
RR Lombardia n. 3 del 28 Marzo 2025										
durata pioggia (ore)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q _{in} (m ³ /s)	0.0026	0.0020	0.0017	0.0015	0.0014	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011
A _{inf} (m ²) 50% di quella laterale	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25	71.25
Q _{out} (m ³ /s)	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071	0.00071
W _{in} (m ³)	9.36	14.29	18.29	21.80	24.98	27.92	30.68	33.28	35.76	38.13
W _{out} (m ³)	2.57	5.13	7.70	10.26	12.83	15.39	17.96	20.52	23.09	25.65
DW (m ³)	6.80	9.16	10.60	11.54	12.16	12.53	12.72	12.76	12.67	12.48
W _{inf} trench (m ³)	12.94	12.94	12.94	12.94	12.94	12.94	12.94	12.94	12.94	12.94
Differenza W _{trincea} e DW (m ³)	6.14	3.78	2.34	1.39	0.78	0.41	0.22	0.18	0.27	0.46

Dimensionamento semplificato a portata in uscita costante

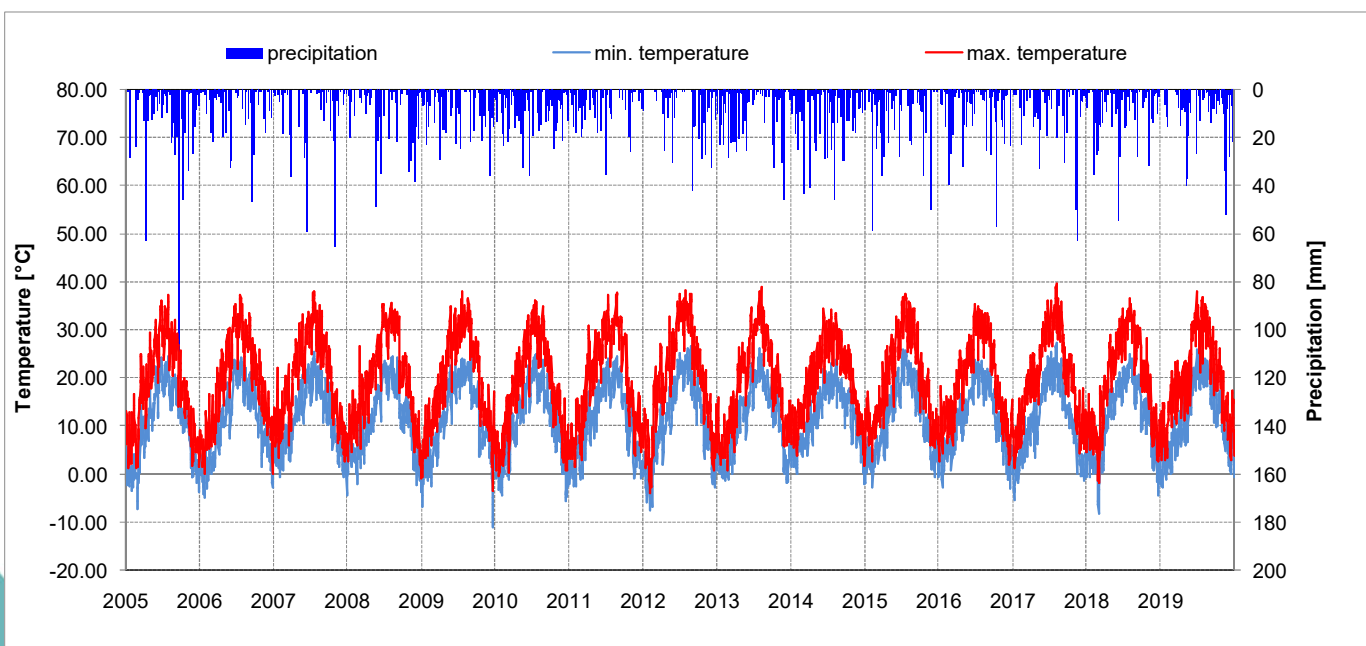
Esempio di simulazione di diverse tecnologie

LIFE21-IPCT-LIFE CLIMAX PO-101069928

Si è considerata una rete fognaria di tipo misto caratterizzata da:

- Area → ~48 ettari - Aimp → 58.12% (~9 ettari tetti)
- Aperm → 41.88% - Abitanti → ~ 10'000

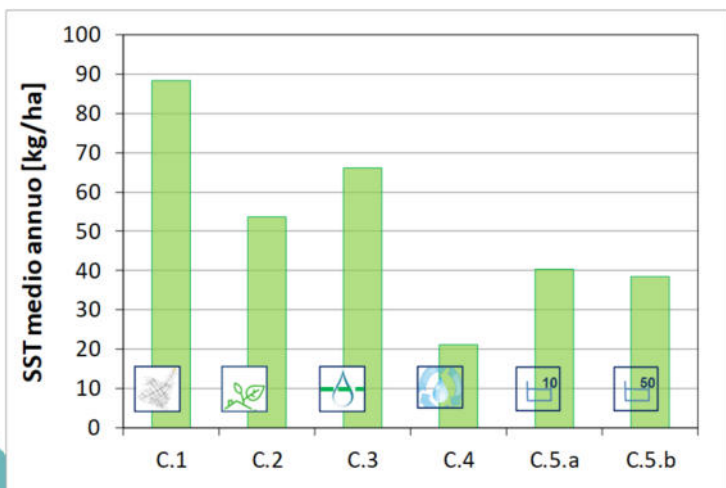
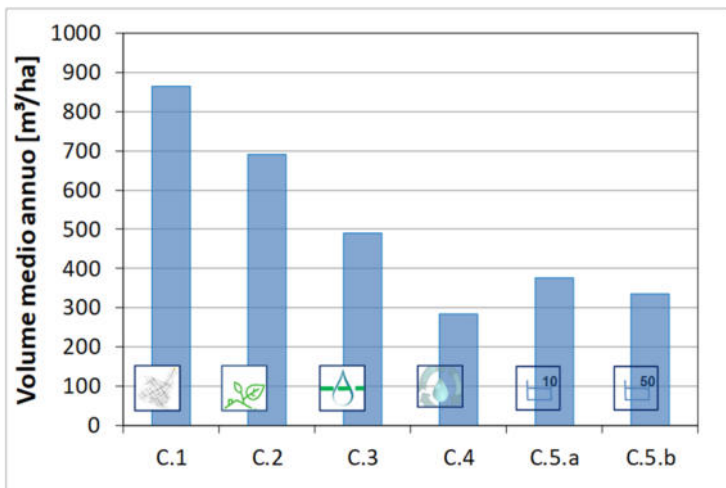
Sottoposta a 15 anni di eventi pluviometrici:



Altobelli M, Cipolla SS, Maglionico M.
*Combined Application of Real-Time Control
 and Green Technologies to Urban Drainage
 Systems.* Water. 2020; 12(12):3432.
<https://doi.org/10.3390/w12123432>

Esempio di simulazione di diverse tecnologie

LIFE21-IPCT-LIFE CLIMAX PO-101069928



Per valutare l'impatto sul corpo idrico riceettore, sono stati ipotizzati 6 scenari:

- C.1 → Rete reale
- C.2 → Tetti verdi estensivi (15 cm)
- C.3 → +15% permeabilità uniformemente distribuita
- C.4 → 7 serbatoi per il recupero e il riuso delle acque meteoriche (~6450 m³) progettati per soddisfare una richiesta pari a circa il 60% della domanda non potabile (UNI/TS 11445).
- C.5.a → 6 invasi (10 m³/ha)
- C.5.b → 6 invasi (50 m³/ha)

Caso	Riduzione Volume rispetto al caso C1 [%]	Riduzione SST rispetto al caso C1 [%]
C.2	20%	39%
C.3	43%	25%
C.4	67%	76%
C.5.a	56%	54%
C.5.b	61%	56%

Aspetti manutentivi delle tecnologie verdi

Le prestazioni idrauliche complessive delle tecnologie verdi diminuiscono nel tempo se non vengono regolarmente ispezionati e sottoposti a manutenzione.

Ad esempio le cause più comuni del degrado includono:

- Ostruzione dello scarico dovuta all'accumulo di materiale che non consente all'acqua di defluire correttamente, con conseguente tracimazione e allagamento delle aree adiacenti.
- Accumulo di sedimenti che riduce il volume in superficie e intasa il mezzo filtrante, riducendo così la capacità del biofiltro di infiltrare efficacemente l'acqua.
- Crescita eccessiva di piante che porta alla riduzione dell'efficacia nella gestione delle acque piovane.
- Lo strato di terreno può accumulare inquinanti, tra cui metalli, benzine e sostanze chimiche. Nel tempo, questi contaminanti possono compromettere la salute delle piante e la qualità dell'acqua.



*Problemi di manutenzione in rain garden
(Payne et al., 2015)*

Manuali e libri:

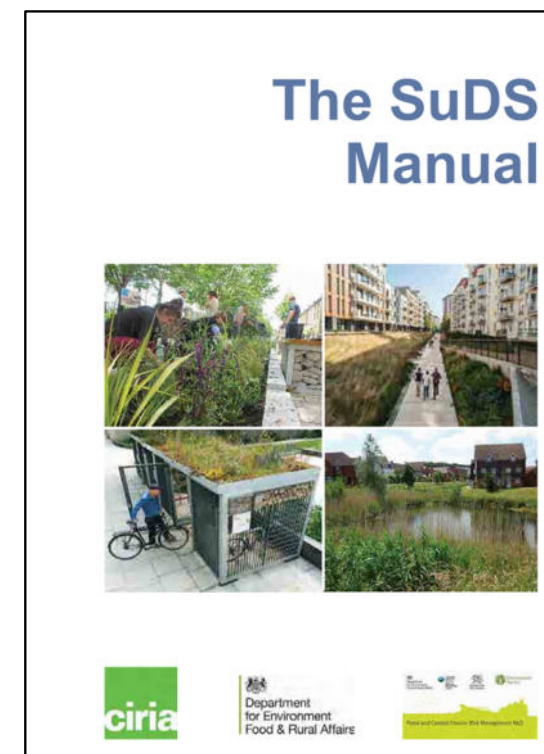
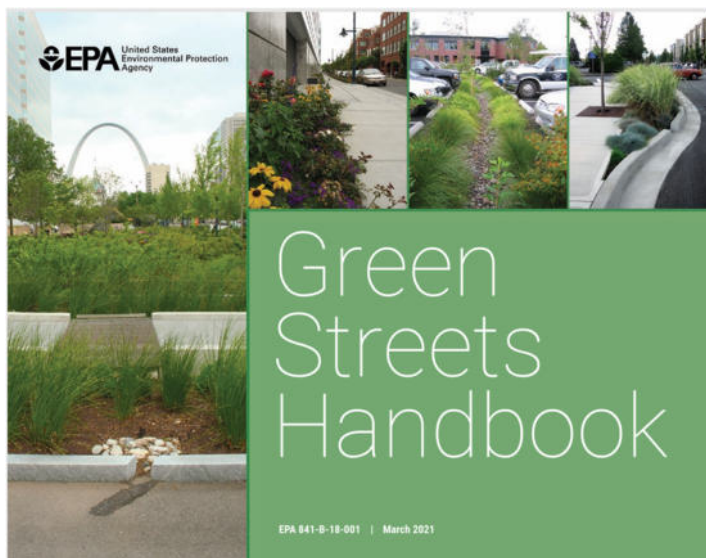
B. Woods Ballard et al.; **The SuDS Manual**; CIRIA C753; 2015

EPA United States Environmental Protection Agency, “**Green Streets Handbook**”, 2021

Software:

EPA SWMM

<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>



21/05/2026

LIFE21-IPC-IT-LIFE CLIMAX PO-101069928

Le tecnologie verdi per la gestione delle acque meteoriche nelle aree urbane

Grazie per l'attenzione