

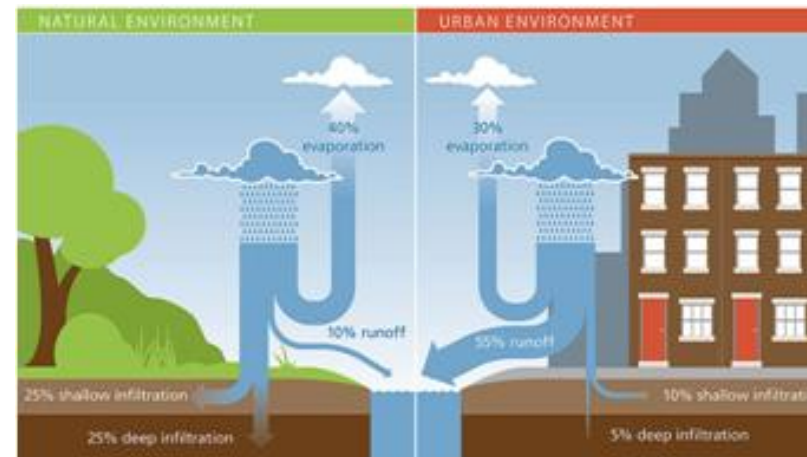
La gestione delle acque meteoriche in ambito urbano: aspetti idraulici e ambientali

Prof. Ing. Marco Maglionico
Università di Bologna

Il ciclo idrologico in ambito urbano

Il **cambiamento del ciclo idrologico** è generalmente indotto dall'urbanizzazione dei suoli e produce i seguenti effetti:

- Minore infiltrazione
- Minore evapotraspirazione
- Maggiori deflussi sulle superfici
- Generazione e trasporto di sostanze inquinanti

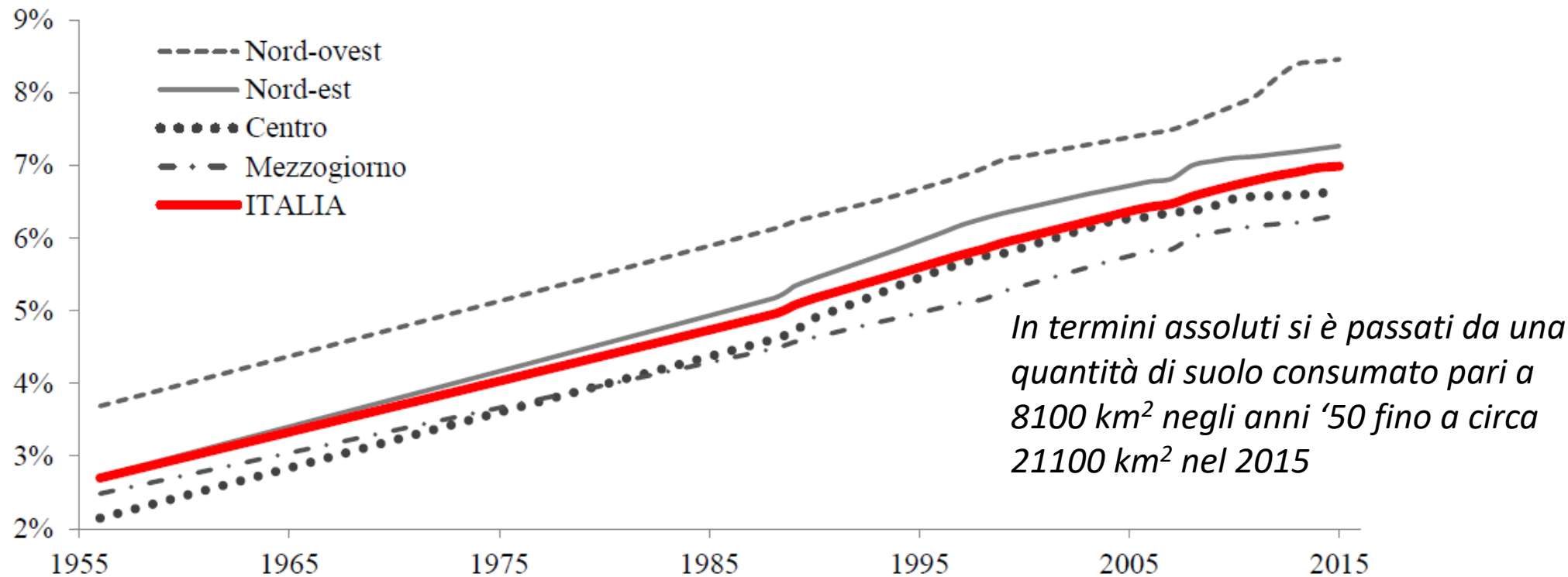


Il **cambiamento climatico** è indotto dall'aumento di concentrazione dei gas serra nell'atmosfera ed ha effetti sia sulle temperature (evidente incremento delle temperature) sia sulle precipitazioni (effetti locali e più complessi da analizzare) determinando:

- Maggiore frequenza delle precipitazioni estreme
- Incremento dei periodi siccitosi



Andamento del livello di consumo di suolo in Italia



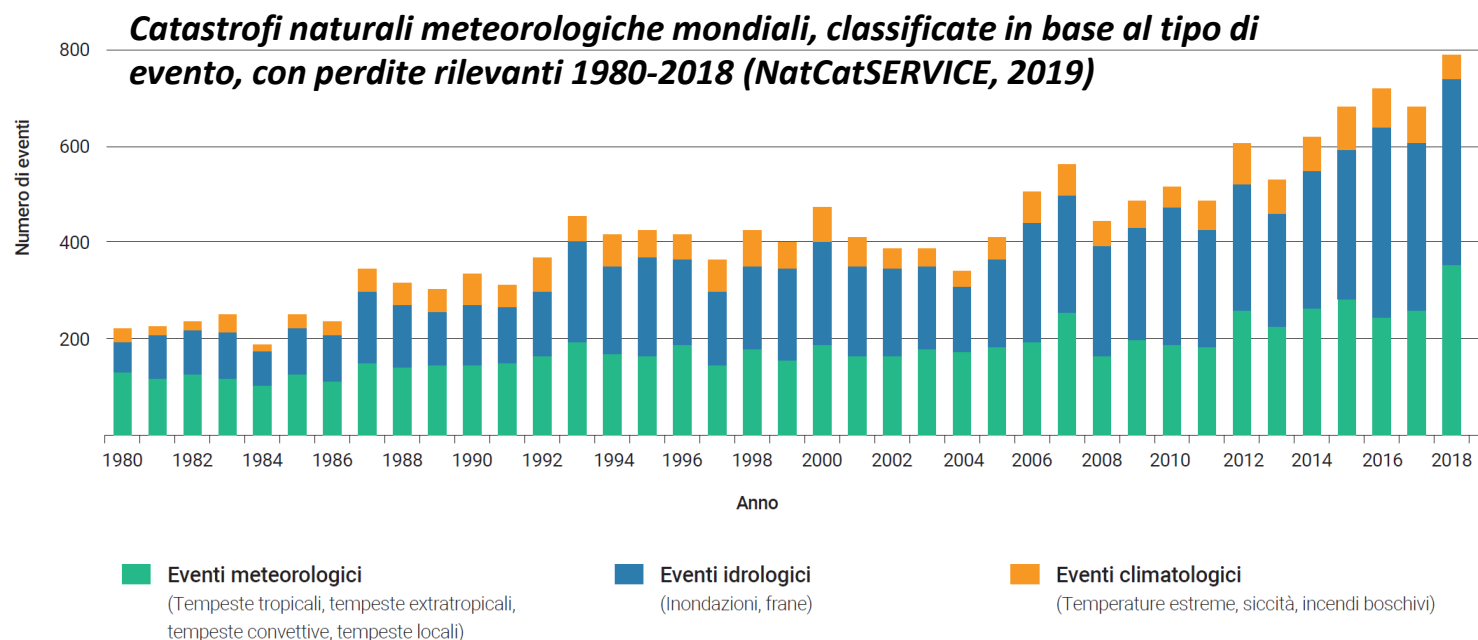
Tratto da: "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Rapporto 248-2016 – ISPRA"

Negli anni 2000 il consumo di suolo ha raggiunto gli 8 m²/s per poi rallentare negli anni più recenti a circa 2 m²/s.

Effetti del cambiamento climatico

Mentre sono chiari gli effetti del cambiamento climatico sulle temperature, non è altrettanto chiaro il cambiamento che si è verificato sul regime delle precipitazioni.

- La precipitazione estrema è affetta da spiccata variabilità spaziale e temporale.
- La disponibilità di dati osservati di precipitazione estrema, nel lungo periodo, è limitata.



In tutto il mondo, la frequenza di inondazioni e precipitazioni estreme è cresciuta di oltre il 50% nel corso dell'ultimo decennio. Nel corso degli ultimi 20 anni inondazioni e siccità hanno colpito oltre tre miliardi di persone, causando in totale danni economici per circa 700 miliardi di dollari americani (EM-DAT, 2019).

Evoluzione dei sistemi di drenaggio urbano



Raccolta e rapido
allontanamento delle
acque



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



Recupero e riuso delle
acque - **hybrid systems**

Aspetti idraulici

Aspetti ambientali

Sostenibilità e Resilienza

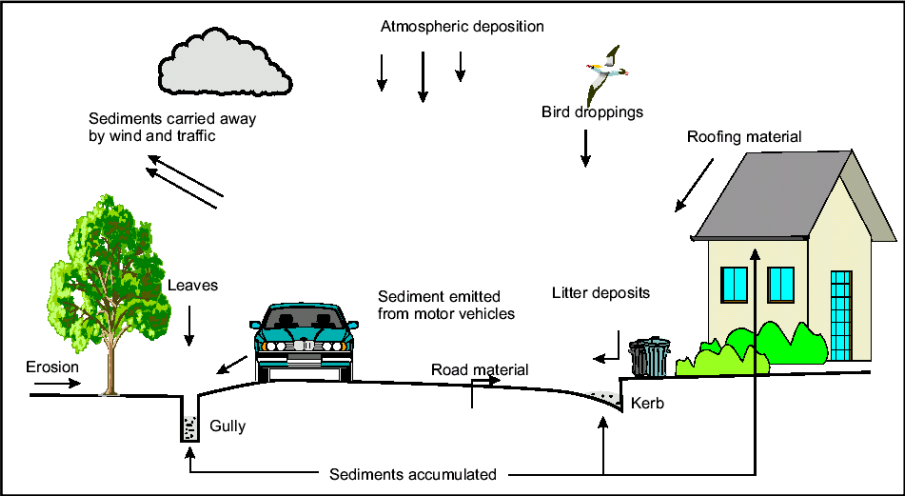
Controllo diffuso della formazione
del deflusso superficiale:
BMP (*Best Management Practice*)
SUDS (*Sustainable Urban Drainage*)
LID (*Low Impact Development*)
Nature Based Solutions



Caratteristiche degli inquinanti sulle superfici urbane

L'accumulo degli inquinanti in tempo secco sulle superfici urbane (**build-up**) può avere range pari a circa 5-35 kg/ha/giorno.

10 kg/(ha·giorno) per la superficie di 1 ettaro in un anno, considerando una densità pari a 1600 kg/m³ si traducono in 2,3 m³ di materiale da gestire.



Dimensione (µm)	% in peso
< 75	16
75 - 2000	61
> 2000	23



Confronto con i limiti U.S. EPA per giudicare lo stato “non inquinato” (**Np**), “moderatamente inquinato” (**Mp**) o “molto inquinato” (**Hp**).

Parametro	Unità di misura	Np	Mp	Hp	Caditoia	Strada <75 µm	Strada 75-2000 µm
Nichel	mg/kg	<20	20-50	>50	31.7	67.4	64.8
Piombo	mg/kg	<40	40-60	>60	283	496.0	581.5
Zinco	mg/kg	<90	90-200	>200	612	611.5	302.0
Rame	mg/kg	<25	25-50	>50	122	496.0	218.0



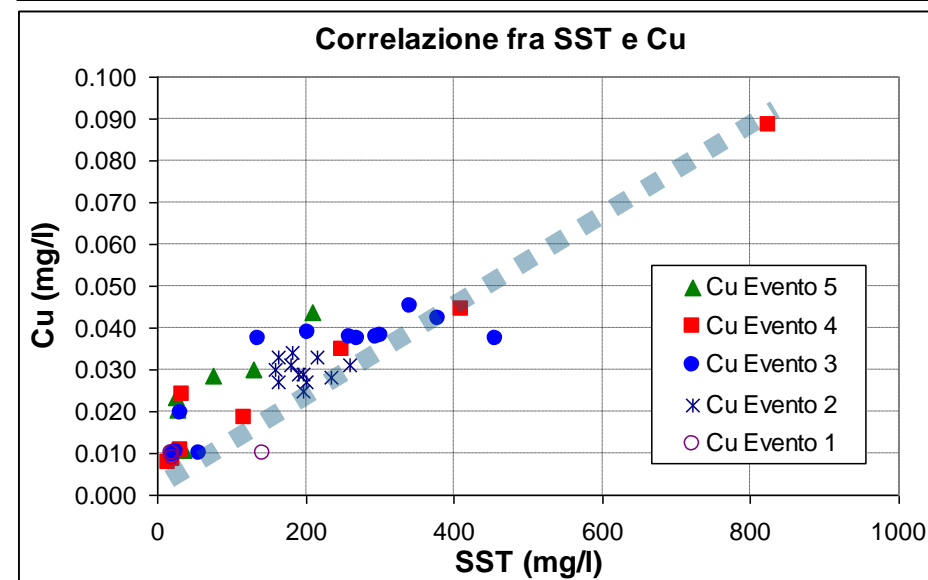
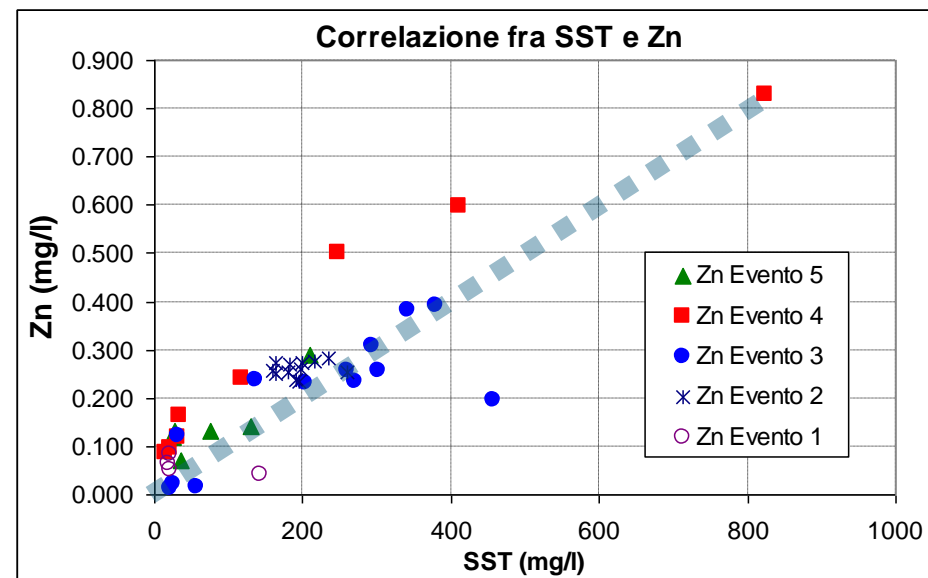
La gestione delle acque meteoriche in ambito urbano: aspetti idraulici e ambientali

Area
produttiva
con transito
mezzi pesanti
di estensione
pari a 1,1 ha
(Artina et al.
2005)



La stretta correlazione tra sedimenti e metalli indica che questi sono prevalentemente adesi ai solidi piuttosto che in forma disciolta.

Pertanto la rimozione dei solidi nelle acque per sedimentazione o filtrazione è fondamentale per rimuovere anche altri inquinanti.



Contaminanti emergenti e microplastiche

I contaminanti emergenti sono sostanze chimiche che non hanno standard regolamentari e che non risultano incluse nei programmi di monitoraggio. Non necessariamente sono sostanze nuove ma anche inquinanti già noti che solo adesso hanno la necessaria attenzione scientifica e normativa.

Categorie:

- **PFAS:** composti utilizzati per rendere differenti materiali resistenti ai grassi e all'acqua.
- **Farmaci:** Antibiotici, anti-infiammatori, steroidi, ormoni...
- **Microplastiche:** plastiche con diametro <5mm, provengono in gran parte da pneumatici, polveri della città, tessuti sintetici, segnaletica orizzontale, rivestimenti marini, prodotti per la cura della persona e pellet di plastica.

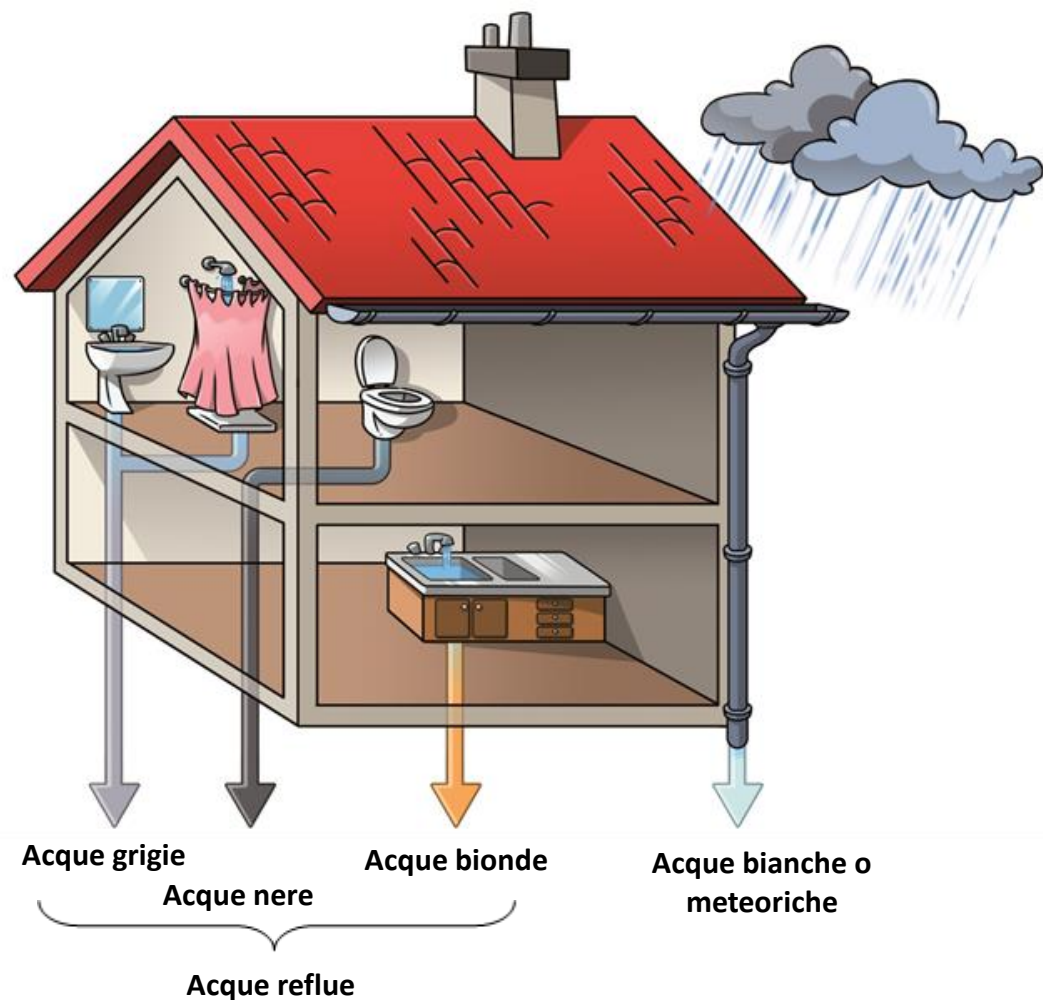


0.23÷4.7 kg/anno/persona
medio: 0.9 kg/anno/persona



100 fibre/litro
700'000 fibre durante un lavaggio da 6 kg
medio: 5.9 kg/anno/persona

Reti fognarie negli edifici



Le reti fognarie hanno lo scopo di allontanare dai singoli edifici e in generale dalle aree urbane le acque di pioggia e le acque di scarico domestiche e industriali.

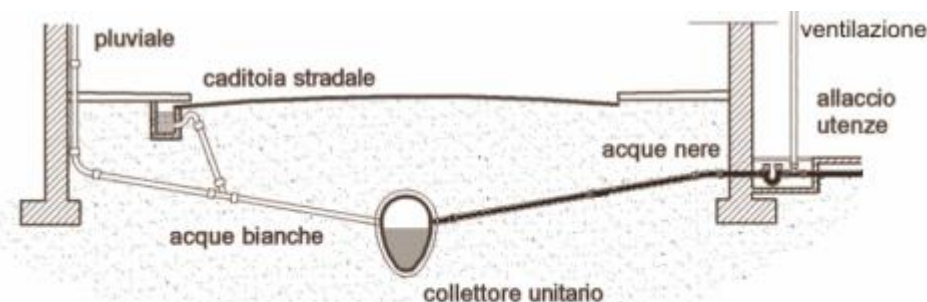


Figura 1. Schema di fognatura con sistema unitario

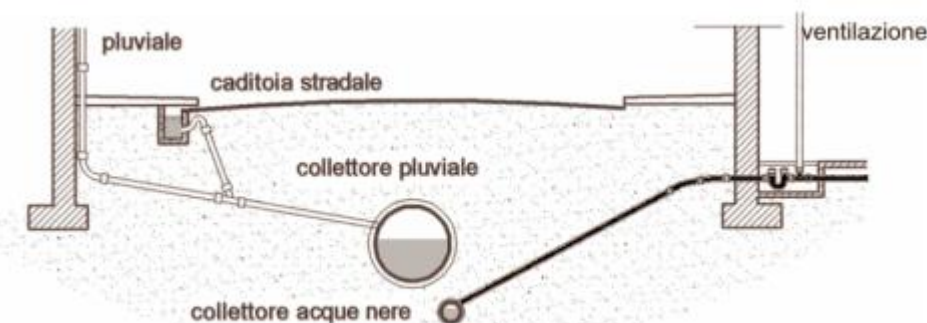
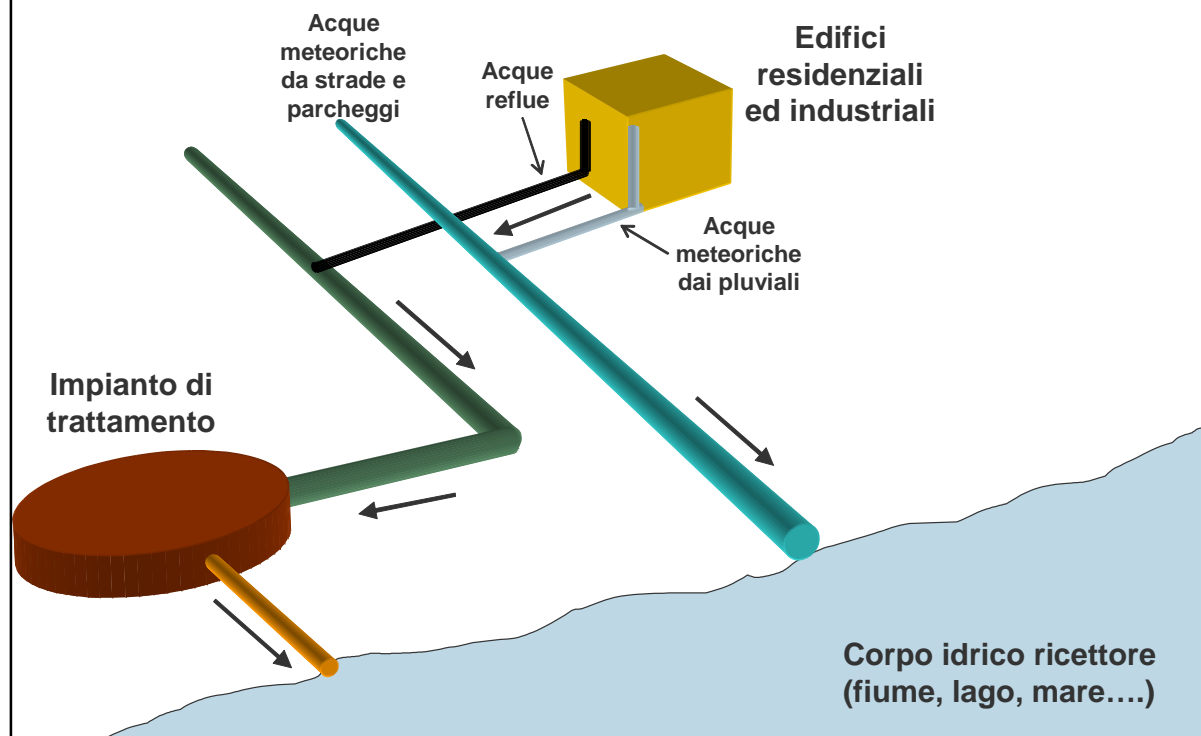


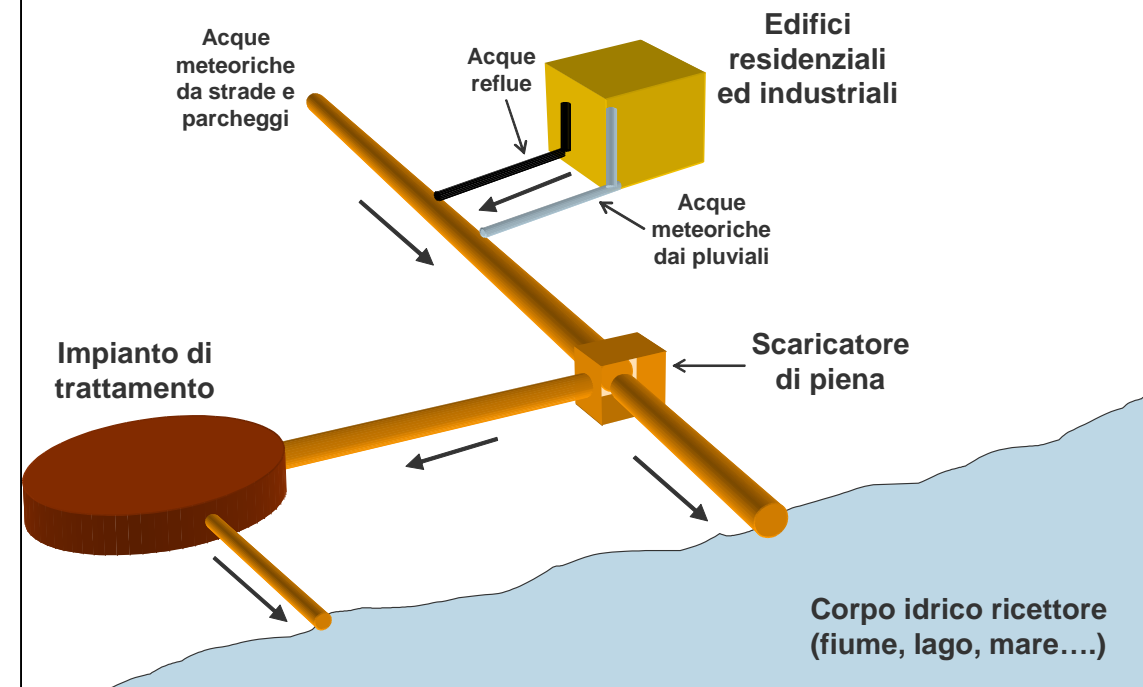
Figura 2. Schema di fognatura con sistema separato

Caratteristiche delle reti fognarie

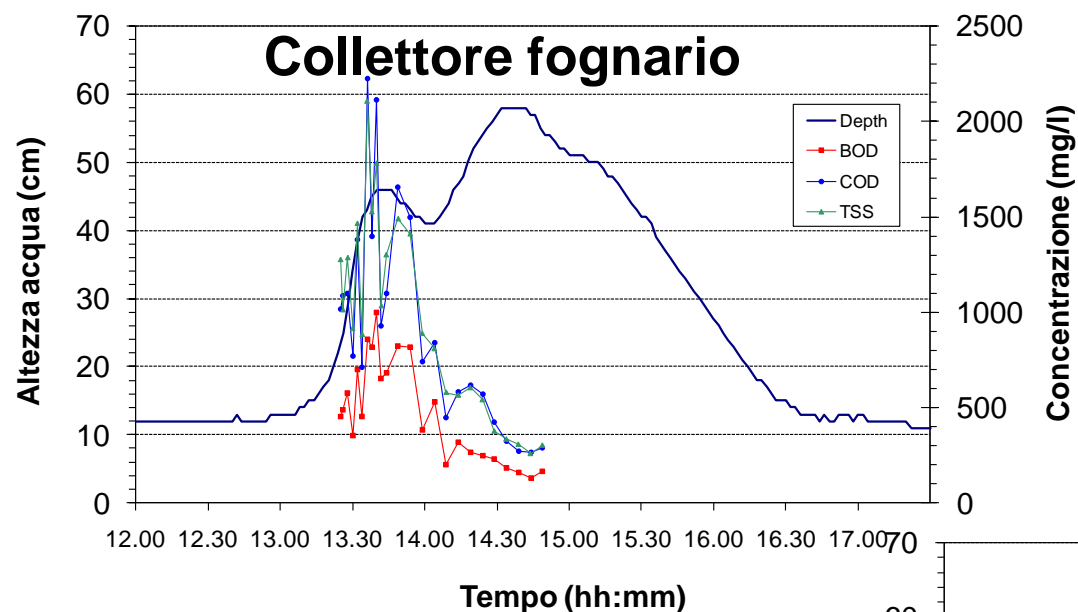
Reti fognarie separate



Reti fognarie unitarie o miste

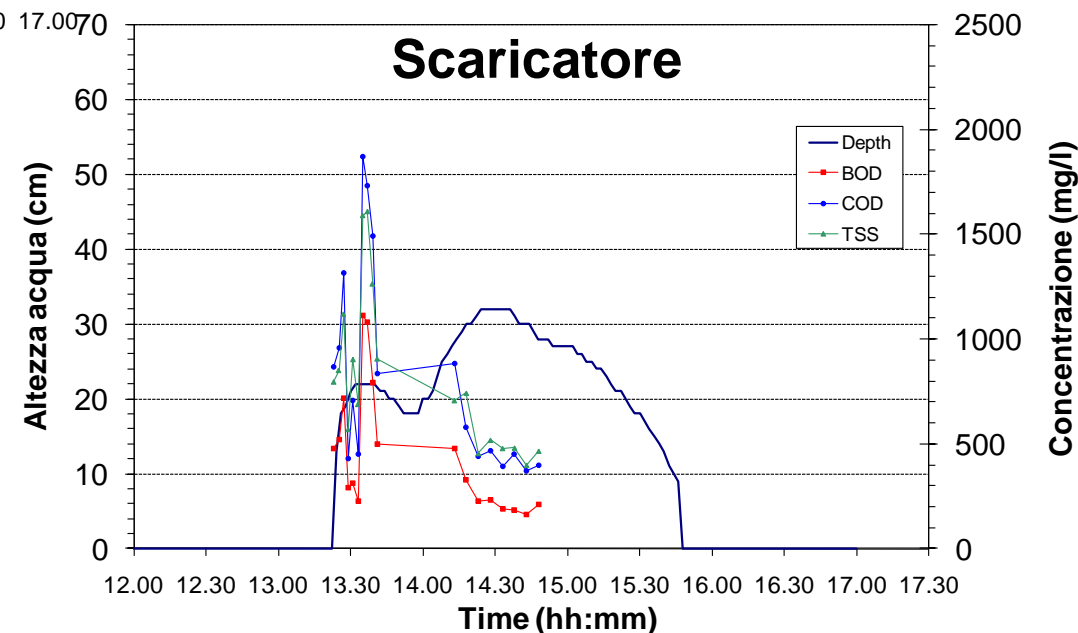
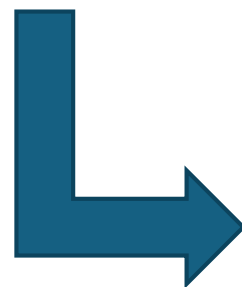


La gestione delle acque meteoriche in ambito urbano: aspetti idraulici e ambientali



Campionamenti eseguiti sulla rete fognaria di Bologna di tipo misto.

Impatto in tempo di pioggia sui corpi idrici ricettori.

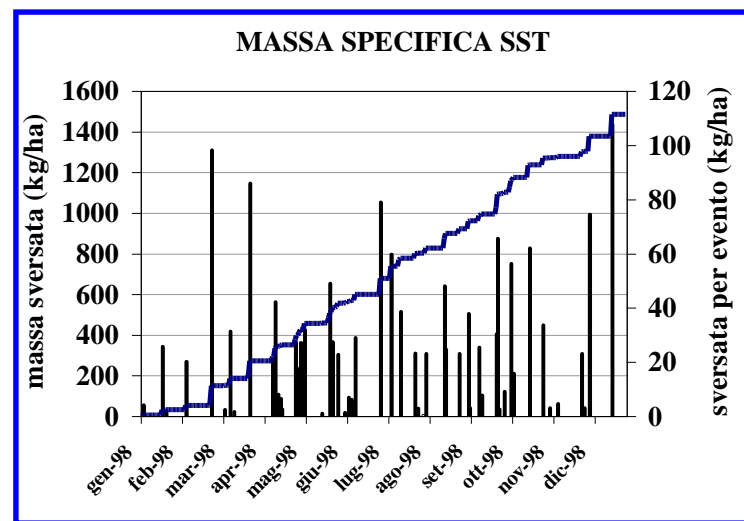
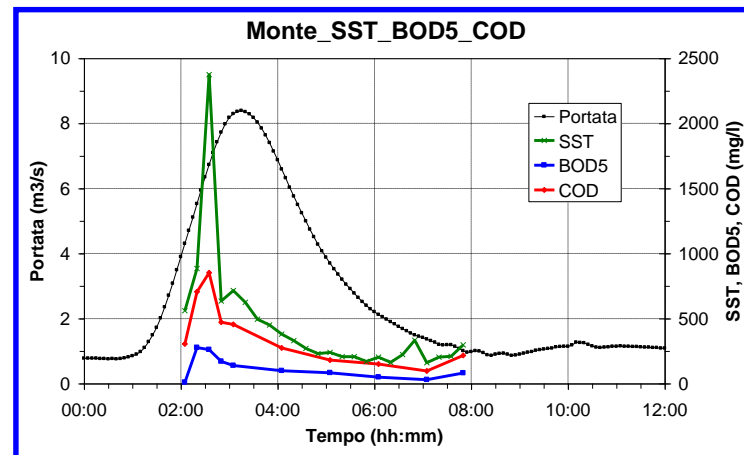


Uno scarica fognario in tempo di pioggia determina:

- Impatto di tipo acuto

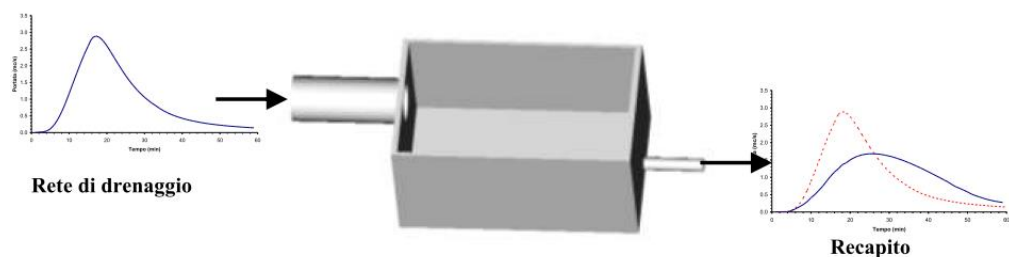


- Impatto di tipo cronico



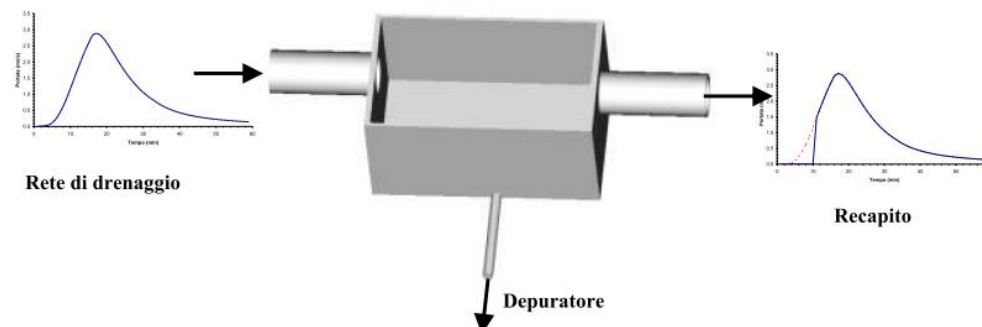
Invasi

Sistemi puntuali (invasi per la laminazione delle portate e per il controllo degli inquinanti) spesso denominati anche “**end of pipe solutions**” in quanto collocati a valle dei collettori fognari.



Laminazione delle portate

Gli invasi di laminazione dimensionati con volumi a partire da 500 m³/ha consentono di ridurre e ritardare il picco di portata scaricando portate non superiori a circa 10 litri/s/ha (Normative definite da Regioni e Autorità di Bacino).



Controllo delle acque di “prima pioggia”

Le vasche di prima pioggia dimensionate con volumi di 50 m³/ha consentono di trattenere la prima parte dell’evento meteorico e si svuotano nelle 48-72 ore successive alla fine dell’evento pluviometrico (Normative Regionali).

Tecnologie verdi o Nature-Based Solutions

Sistemi diffusi che intercettano la portata meteorica prima che entri in fognatura.

Sistemi ad infiltrazione

- Bacini di infiltrazione
- Canali filtranti
- Pozzi asciutti
- Pavimentazioni filtranti



Sistemi filtranti

Sistemi vegetati

- Fasce filtro
- Aree tampone
- Canali inerbiti

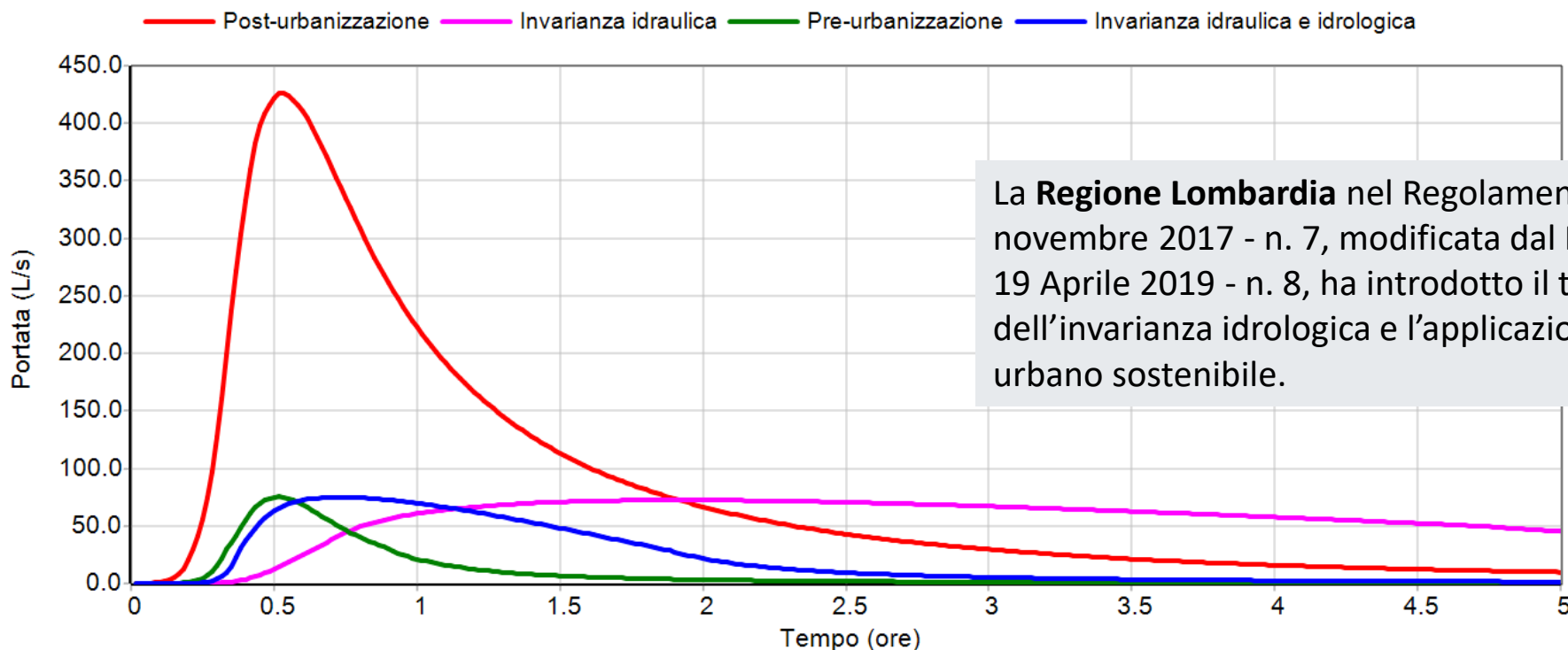
Tetti verdi



La gestione delle acque meteoriche in ambito urbano: aspetti idraulici e ambientali

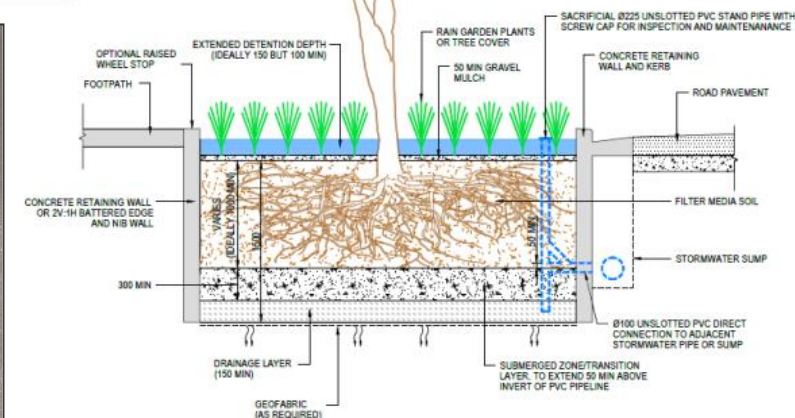
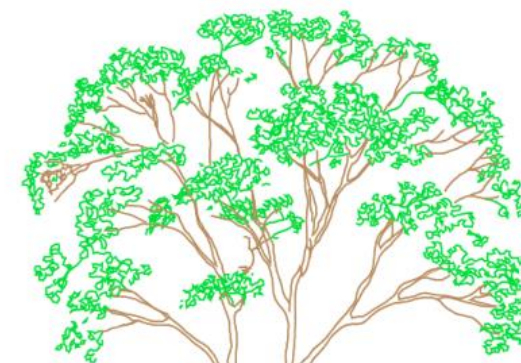
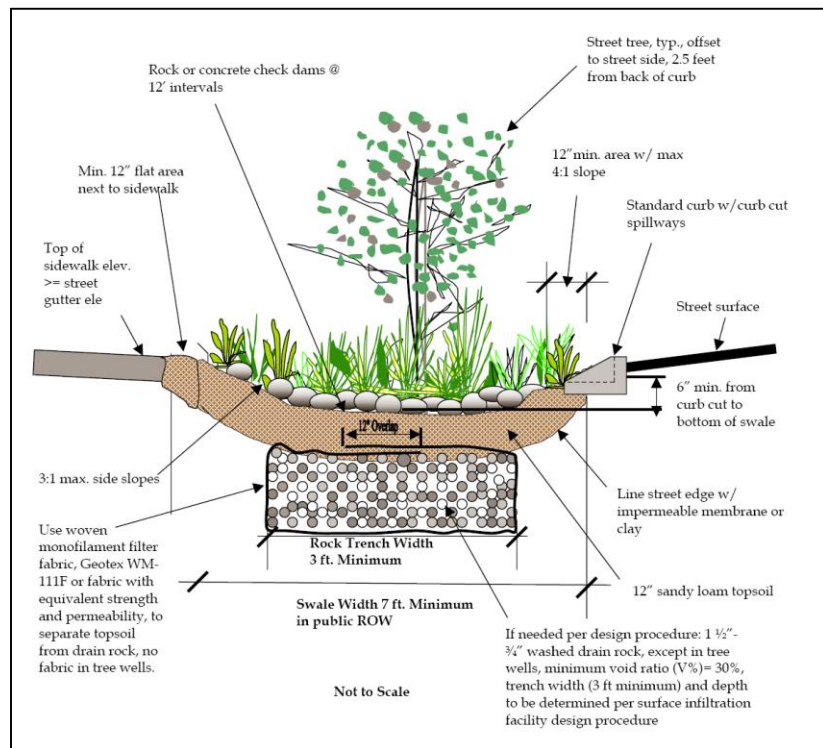
L'adozione di invasi di laminazione o tecnologie verdi è stata tradotta nelle normative attraverso i concetti di **invarianza idraulica** e di **invarianza idrologica**, rispetto alla situazione antecedente l'urbanizzazione:

- **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 del 19 Aprile 2019 - n. 8, ha introdotto il tema dell'invarianza idrologica e l'applicazione del drenaggio urbano sostenibile.

Tecnologie verdi per il controllo delle portate meteoriche



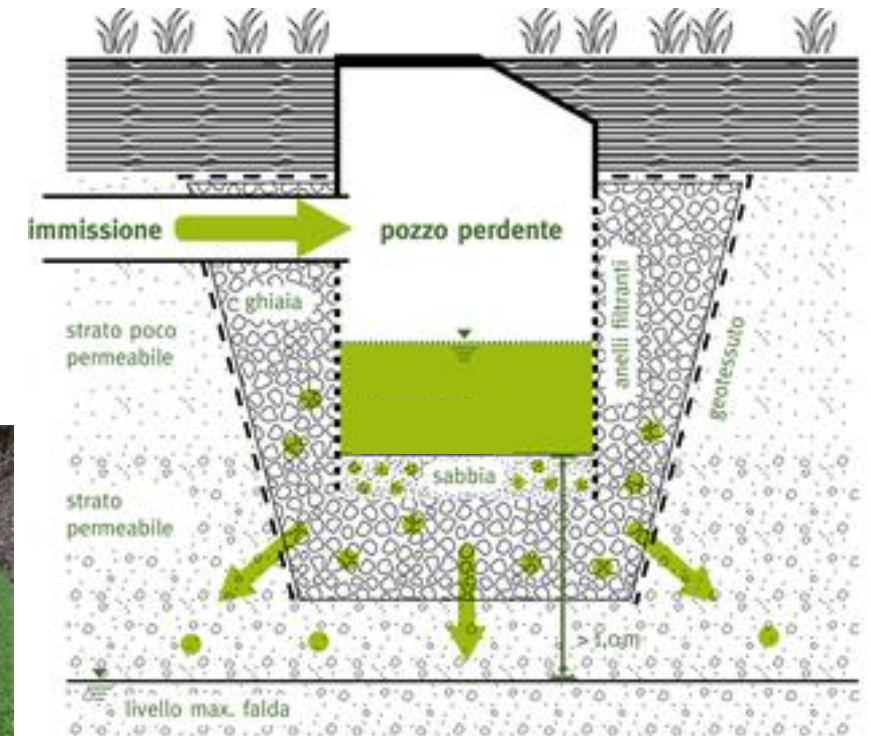
Tree pits

Aree di parcheggio e strade

Sistemi ad infiltrazione



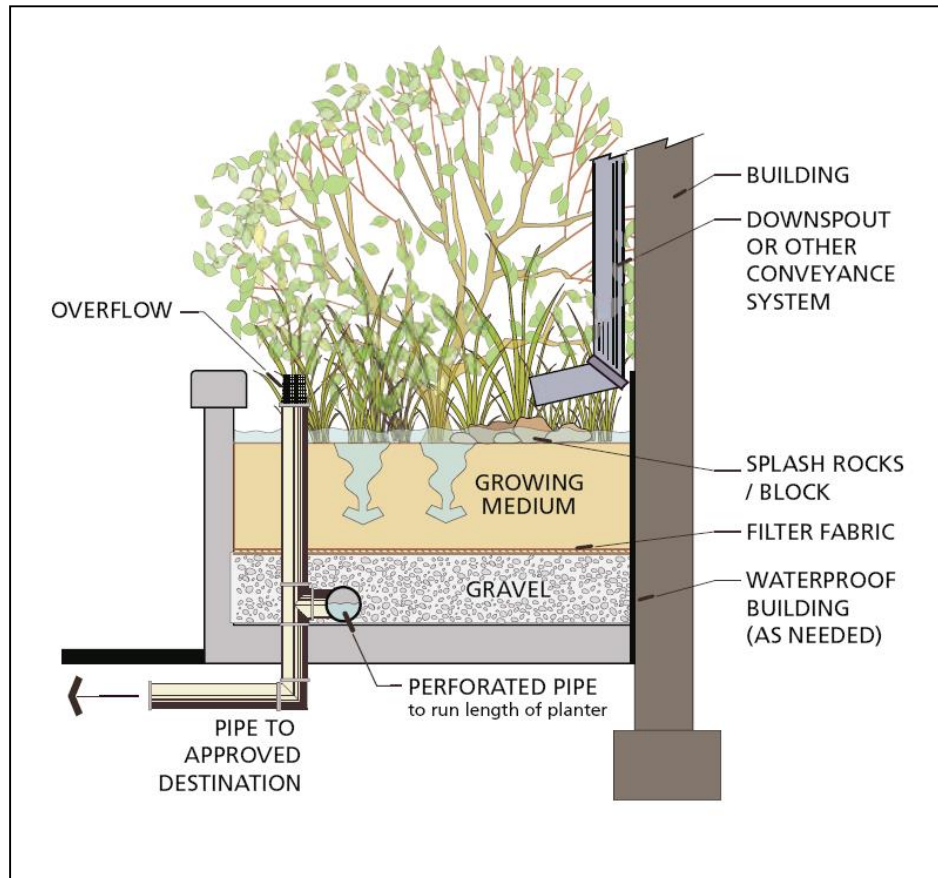
Esempi di trincee drenanti



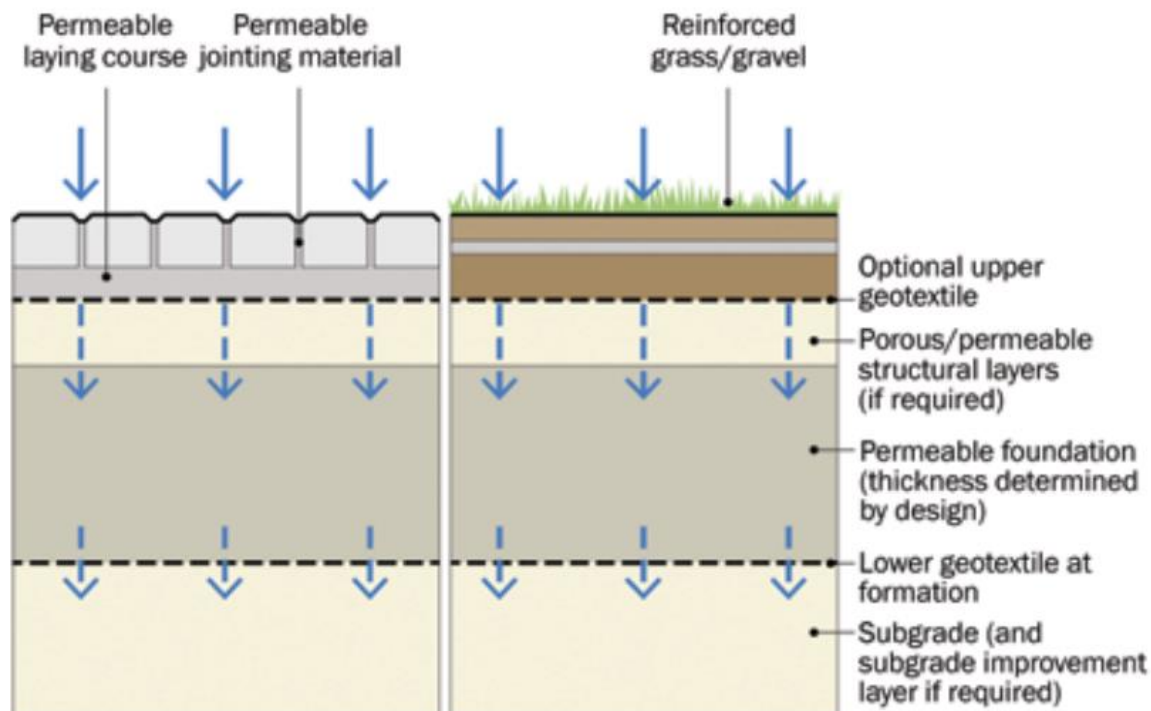
Esempio di pozzo drenante

[<http://www.provinz.bz.it>]

Controllo delle acque dai Pluviali



Pavimentazioni drenanti

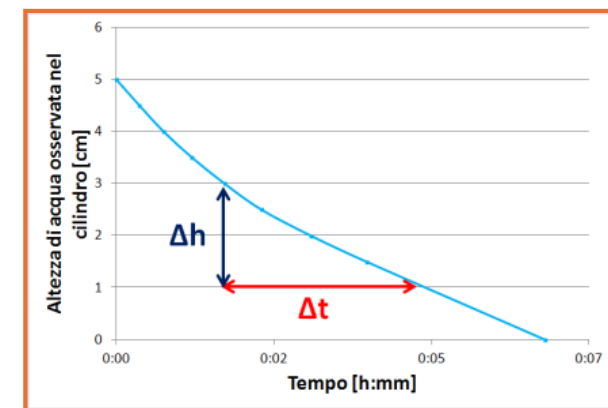
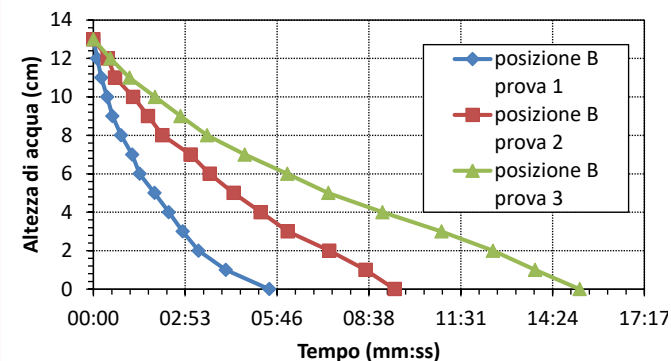


<http://www.marshalls.co.uk/watermanagement>

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

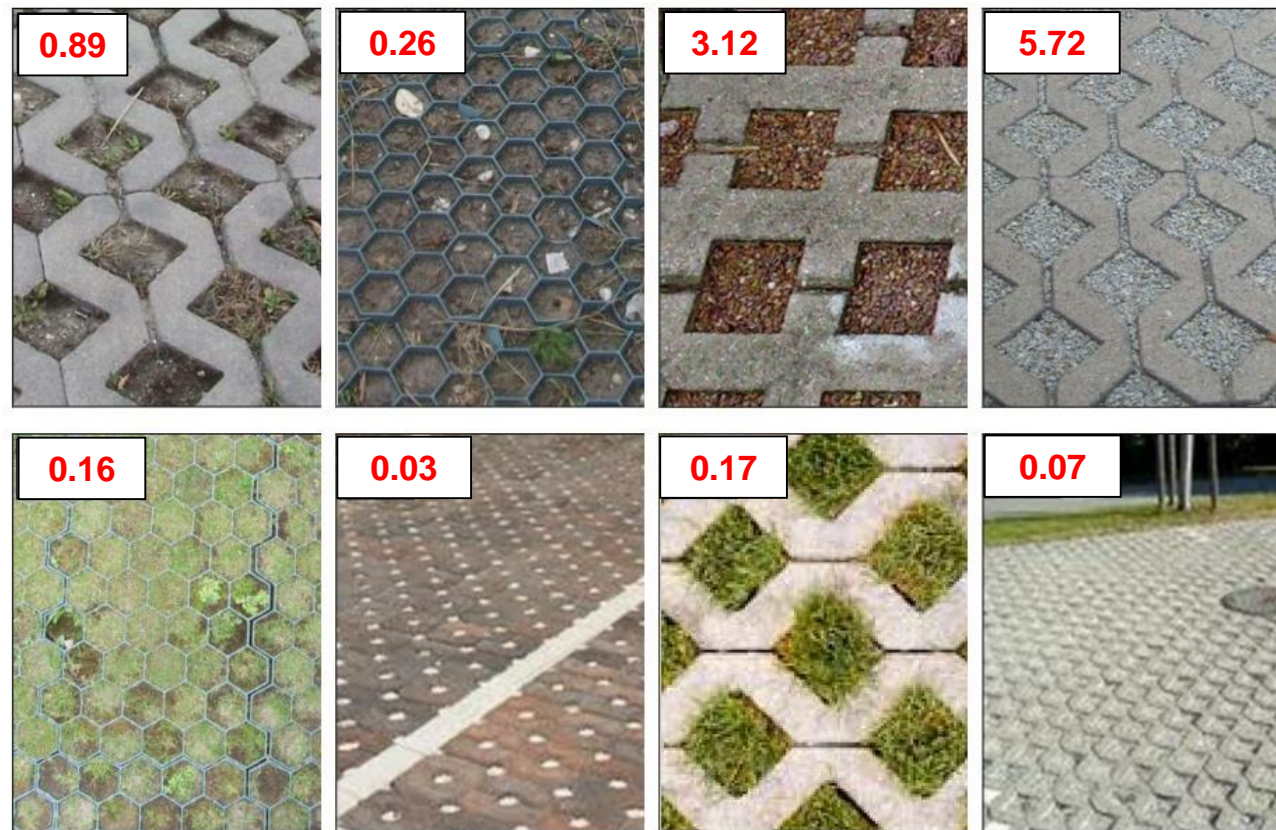
Con il tempo tendono a ridurre gradualmente la loro capacità di infiltrazione.

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



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

La gestione delle acque meteoriche in ambito urbano: aspetti idraulici e ambientali



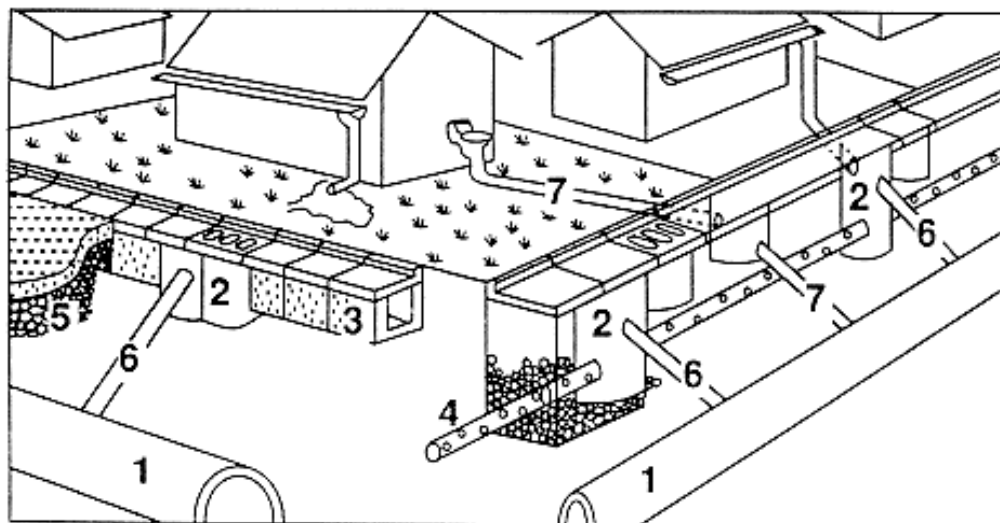
Tratto da “Experimental infiltration tests on existing permeable pavement surfaces” S. CIPOLLA, M. MAGLIONICO, I. STOJKOV – Soil Air Water – Vol. 1 - 2016

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.

Progettazione del sistema di infiltrazione



- 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

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

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

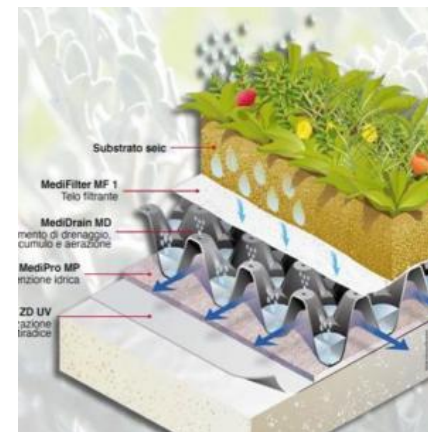
Tipo di suolo	K (m/s)
Ciottoli, ghiaia	$>10^{-2}$
Sabbia	$10^{-2} \div 10^{-5}$
Sabbia fine, argilla con limo e sabbia	$10^{-5} \div 10^{-9}$
Argilla omogenea	$10^{-9} \div 10^{-11}$

Tetto verde sperimentale realizzato presso l'Università di Bologna

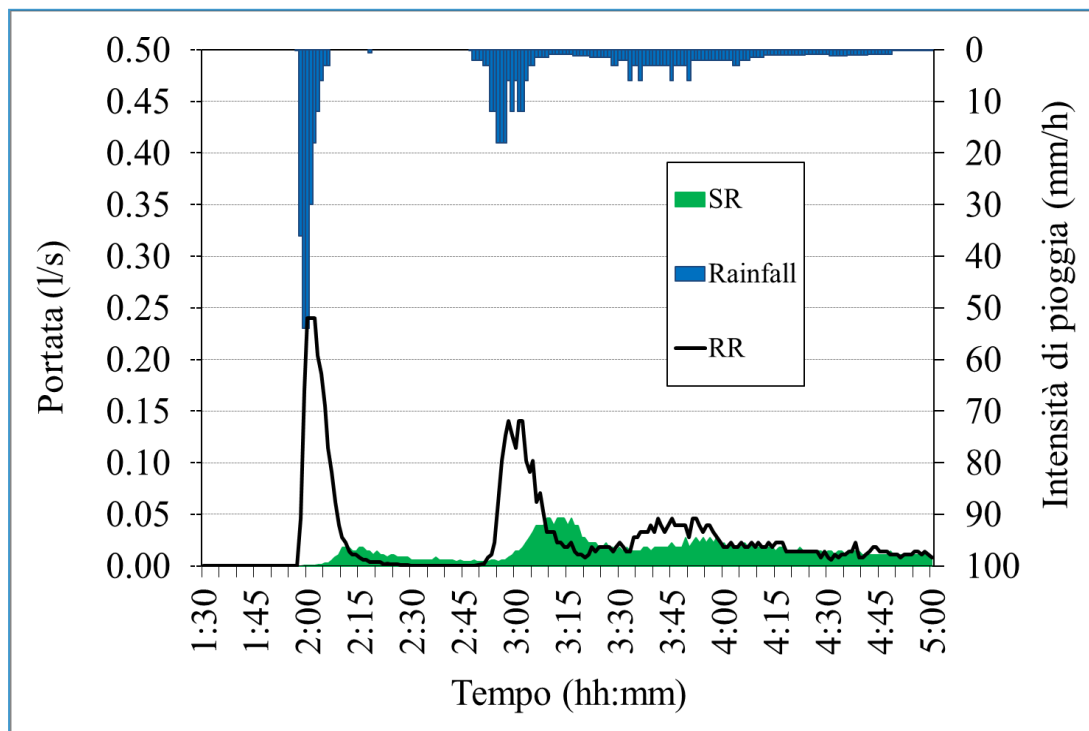


Superficie del tetto verde di circa 50 m². Spessore del substrato di 10 cm.

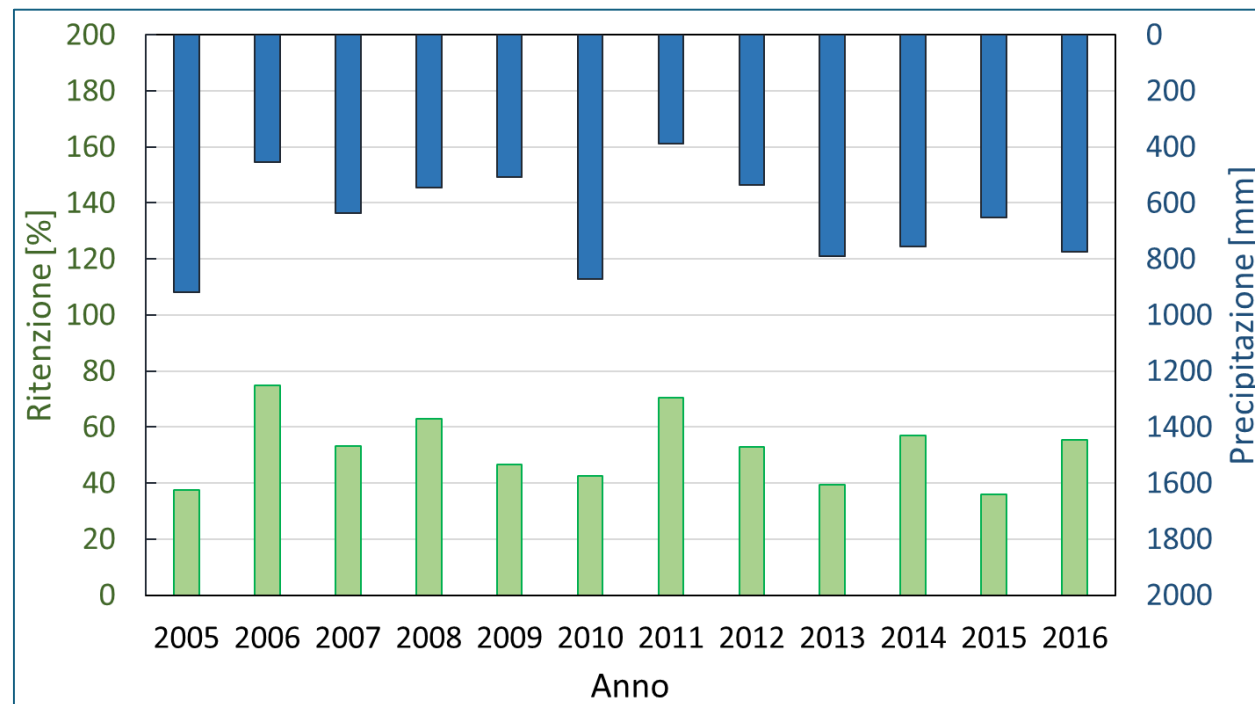
L'analisi e la modellazione idrologica sulla base dei dati raccolti presso il tetto verde sperimentale in scala reale della Scuola di Ingegneria dell'Università di Bologna ha l'obiettivo di ricostruire, noti gli afflussi, i deflussi e la capacità di ritenzione idrica.



Comportamento idrologico del tetto verde



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).



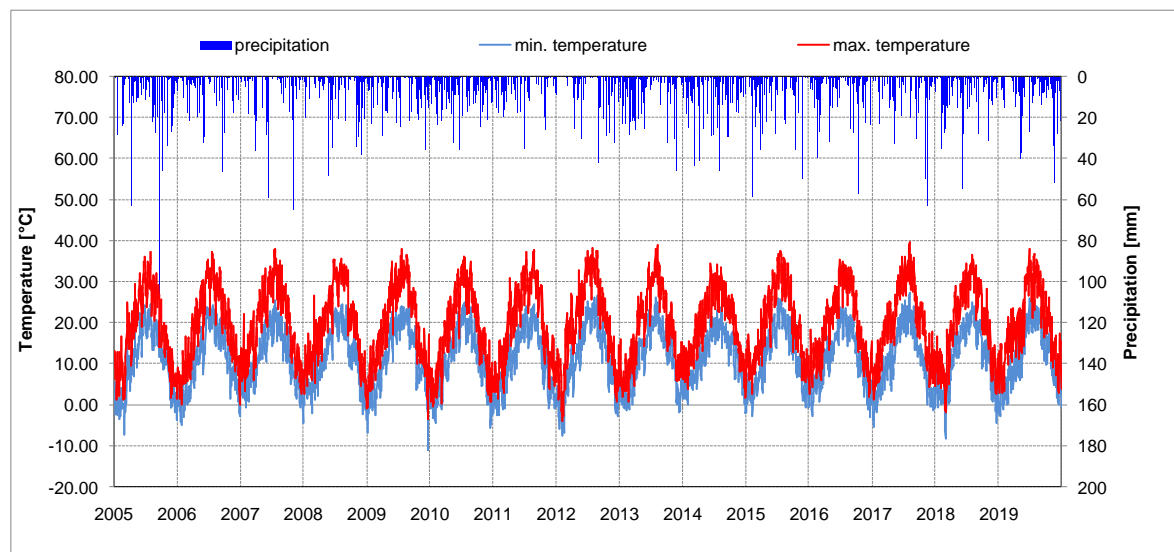
La **ritenzione** rappresenta la percentuale di acqua meteorica che viene trattenuta dal tetto verde. Per la città di Bologna la **ritenzione media annua** di una copertura verde estensiva di substrato di 10 cm con Sedum è pari a **circa il 45%**.

Esempio di simulazione di diverse tecnologie per valutarne l'efficacia nel mitigare l'impatto degli eventi meteorici sui sistemi fognari e sull'ambiente naturale

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

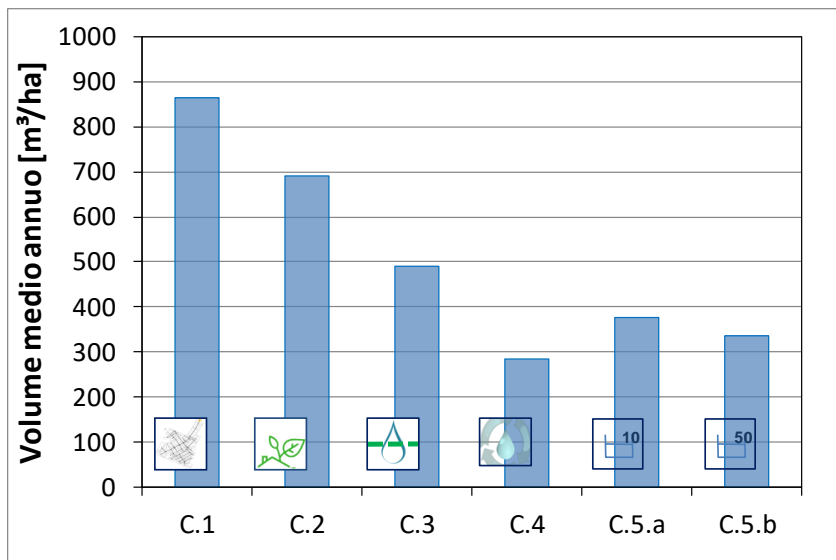
- Area → ~48 ettari - Aimp → 58.12% (~9 ettari tetti)
- Aperm → 41.88% - Abitanti → ~ 10'000

Sottoposta a 15 anni di eventi pluviometrici:



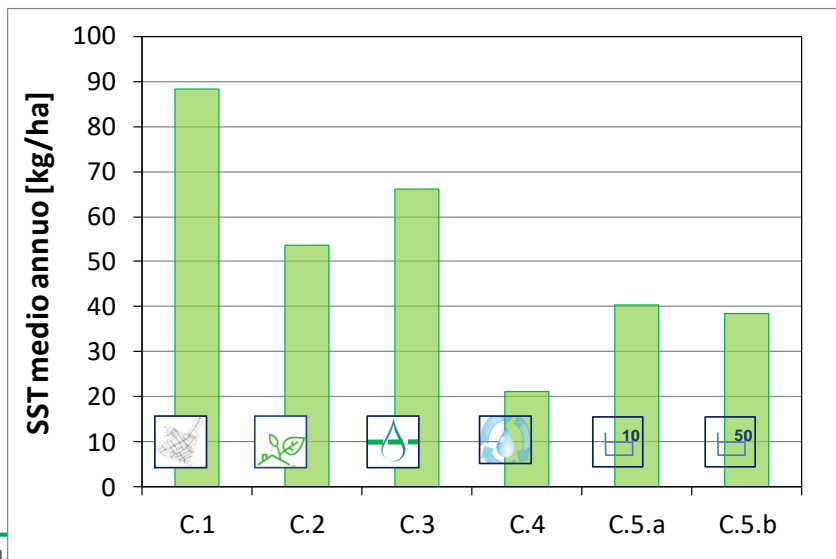
Altobelli M, Cipolla SS, Maglionico M. *Combined Application of Real-Time Control and Green Technologies to Urban Drainage Systems*. Water. 2020; 12(12):3432.
<https://doi.org/10.3390/w12123432>

Esempio di simulazione di diverse tecnologie



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

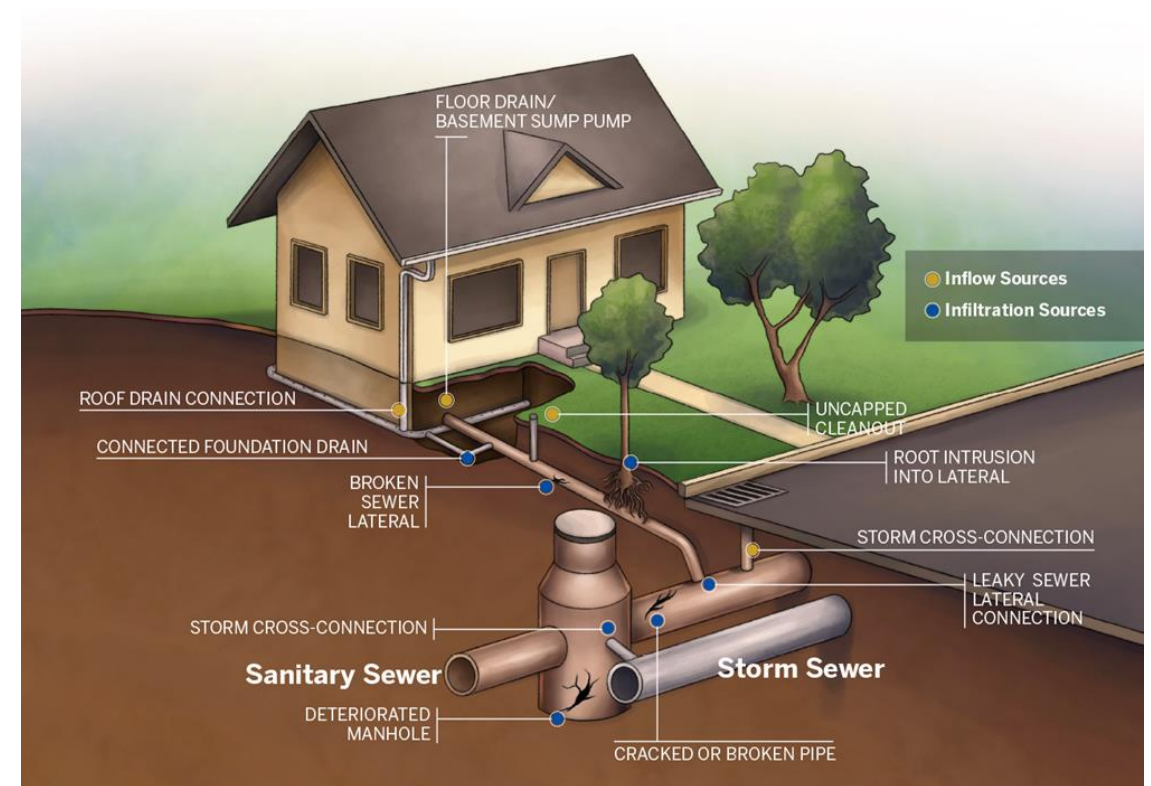
- C.1 → Rete reale
- C.2 → Tetti verdi estensivi (15 cm)
- C.3 → +15% permeabilità uniformemente distribuita
- C.4 → 7 serbatoi per il recupero e il riuso delle acque meteoriche (~6450 m³) progettati per soddisfare una richiesta pari a circa il 60% della domanda non potabile (UNI/TS 11445).
- C.5.a →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

Invecchiamento delle reti

L'invecchiamento delle reti, oltre a rischi strutturali, porta a malfunzionamenti idraulici e problemi ambientali (*inflow*, *infiltration* e *exfiltration*).



LE SFIDE DA AFFRONTARE



Cambiamento Climatico: gestione di fenomeni siccitosi ed eventi pluviometrici estremi più frequenti



Aspetti antropici: consumo di suolo e inquinamento nelle aree urbane



Infrastrutture obsolete: perdite e portate parassite, rischi strutturali, ecc.



Inquinamento delle risorse idriche: inquinanti emergenti, microplastiche, ecc..



Digitalizzazione delle reti: attraverso rilievi, monitoraggi e loro rappresentazione in ambiente GIS e Gemelli Digitali

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.

Art. 21 - Monitoraggio rappresentativo di scolmi, effluenti, scarichi di deflusso da reti separate.

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.

Nel valutare le misure da adottare, si debbano considerare i seguenti elementi:

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.

Misure tese ad aumentare gli spazi verdi e blu nelle aree urbane al fine di ridurre gli scolmi o che limitino le superfici impermeabili negli agglomerati;

Misure tese a migliorare la gestione e ottimizzare l'uso delle infrastrutture esistenti, tra cui reti fognarie, volumi di stoccaggio e impianti di trattamento delle acque reflue urbane;

WSUD (Water-Sensitive Urban Design)

Approccio progettuale che ha l'obiettivo di **incrementare la resilienza dei sistemi idrici**, anche nei confronti di sollecitazioni climatiche sempre più estreme, limitando i volumi di pioggia immessi in fognatura e nei corpi idrici ricettori.

