

# SuDS

Sustainable Drainage Systems

Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche

## **Sustainable Drainage Systems**

Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche

© Raffaele Bonsignori, Giulio Senes - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano

ISBN: 978-88-86569-41-5

**Prima edizione:** luglio 2022

**Autori:** Raffaele Bonsignori, Giulio Senes.

**Progetto grafico e impaginazione:** Raffaele Bonsignori.

Tutte le fotografie e le immagini sono tratte dalle fonti indicate nel testo.

Gli autori hanno cercato di ottenere i permessi di tutti gli aventi diritto e si dichiarano a disposizione di quelli che non fossero riusciti a rintracciare.

IN COPERTINA: Tanner Springs Park, Portland (OR, USA). Fonte: landezine-award.com



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

SuDS - SOLUZIONI PROGETTUALI TIPO DI INFRASTRUTTURE  
VERDI PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

RAFFAELE BONSIGNORI, GIULIO SENES

# SuDS - Sustainable Drainage Systems

Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

**Raffaele Bonsignori e Giulio Senes**

*Università degli Studi di Milano*

*Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali*

via G. Celoria, 2 - 20133 Milano

Preparato per:



**BrianzAcque**

*Settore Progettazione e Pianificazione Territoriale*

via G. Mazzini, 41 - 20871 Vimercate (MB)

# SOMMARIO

In foto: bacino di infiltrazione e laminazione a Middleton, WI, USA.

Fonte: <https://www.usgs.gov>







**1** RAIN GARDENS

**19** AIUOLE DI BIORITENZIONE

**37** AIUOLE ALBERATE

**49** LAGHETTI

**61** AREE UMIDE

**73** BACINI DI INFILTRAZIONE  
E LAMINAZIONE

**85** CANALI VEGETATI

**97** FASCE FILTRO VEGETATE

**105** TRINCEE FILTRANTI

**115** PRATI ARMATI

**123** TETTI VERDI

# PREFAZIONE

In foto: Tanner Springs Park. Portland, OR, USA.

Fonte: <https://cms-collaborative.com>





A fronte della crisi climatica in atto, diventa sempre più rilevante la responsabilità dei gestori dell'idrico di porre in essere strategie di adattamento e di mitigazione a beneficio dei territori e della comunità. Le nature based solution, argomento di questo volume, rappresentano senz'altro una risposta concreta e sostenibile che consentono la difesa idraulica del suolo e parallelamente il rinverdimento delle superfici con la regimazione delle acque meteoriche, riduzione dell'inquinamento, dell'isola di calore urbana, della frammentazione degli habitat, della rigenerazione urbana e ambientale con significative ricadute economiche, sociali e sulla salute umana. Siamo un'azienda a carattere totalmente pubblico e, in quanto tali, abbiamo scelto di diventare soggetto attuatore delle green infrastructure affiancando i comuni nostri soci con una visione pianificatoria di bacino su scala provinciale, capace di oltrepassare i singoli confini urbani e di accompagnarli nel percorso di transizione ecologica. Più ecosistemi, più benessere, meno costi. Certo, si tratta di soluzioni naturali ma che si concretizzano con l'aiuto della tecnologia e l'ausilio di specifiche professionalità. In questo senso, siamo felici e orgogliosi di aver realizzato questa pubblicazione con il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano (DISAA), in quanto l'importanza di queste soluzioni viene evidenziata in un contesto scientifico vocato allo studio, alla ricerca e all'innovazione.

Enrico Boerci  
Presidente e AD BrianzAcque

Le conoscenze e le competenze che l'ambito agrario e forestale hanno sviluppato negli scorsi decenni risultano oggi di particolare attualità nell'ottica della transizione ecologica, che deve abbinare gli aspetti tecnici con quelli di carattere ambientale nel senso più ampio del termine.

È proprio in un tale quadro che, tra le numerose tematiche di ricerca in cui il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali (DISAA) dell'Università degli Studi di Milano è impegnato, quella trattata nel presente volume risulta senza dubbio di grande attualità e di crescente interesse. Un interesse tecnico-scientifico che si traduce, come è tradizione della migliore accademia, in impegno didattico per formare tecnici e professioni all'avanguardia. Dal prossimo anno accademico (2022-23), infatti, il DISAA avvierà un nuovo Corso di Laurea Magistrale in Sustainable Natural Resource Management, nel cui ambito è previsto uno specifico percorso in "Green infrastructures and nature based solutions", incentrato sulle infrastrutture verdi i cui benefici ambientali, economici e sociali sono ben noti, ed il cui ruolo è sempre più strategico, sia nei territori rurali che nelle nostre città.

Il presente volume, nato da una collaborazione con BrianzAcque, rappresenta un contributo alla sempre maggiore diffusione delle infrastrutture verdi anche nel nostro paese.

Prof. Gian Battista Bischetti  
Direttore Dip. di Scienze Agrarie e Ambientali, Università di Milano

# INTRODUZIONE

In foto: render del progetto per lo Xinyuexie Park di Wuhan, Cina.

Fonte: <http://www.obermeyer-cn.com/>







Il tema legato alle Green Infrastructures intese come sistemi verdi efficaci nell'intercettare, accumulare e/o rilasciare gradualmente l'acqua piovana in ambito urbano, andando così a diminuire la portata in ingresso ai sistemi di raccolta e deflusso delle acque meteoriche, è un argomento di grande e crescente interesse a livello internazionale, come dimostrato da numerosi studi scientifici e dalle esperienze dirette sul campo e applicazioni a casi studio, nonché dalla normativa nazionale e locale (tali considerazioni sono state ampiamente approfondite in Appendice 3).

Le infrastrutture verdi sono uno "strumento di comprovata efficacia [...] che ricorre a soluzioni basate sulla natura (Nature Based Solutions - NBS)" (Commissione Europea, 2013), che variano alle diverse scale territoriali: dai singoli alberi lungo le strade, ai tetti verdi e ai giardini privati, fino ai parchi, ai corridoi fluviali e ai boschi.

In tale quadro, il presente documento mira a individuare e descrivere le diverse tipologie di "soluzioni a verde" possibili in ambito urbano, approfondendone i diversi aspetti peculiari. A tale scopo sono state analizzate una vastissima serie di documenti e linee-guida pubblicate da diversi enti (internazionali, nazionali, regionali e locali) in diverse aree del mondo.

L'analisi effettuata ha innanzitutto portato alla selezione dei

documenti più completi, aggiornati e rigorosi e, poi, alla verifica della congruità e corrispondenza delle indicazioni ivi riportate, al fine di giungere ad una sintesi verificata.

Il prodotto finale è un documento riportante una serie di "schede" con abaco delle seguenti soluzioni progettuali tipo delle opere a verde:

1. rain gardens,
2. aiuole di bioritenzione,
3. aiuole alberate,
4. laghetti,
5. aree umide,
6. bacini di infiltrazione,
7. canali vegetati,
8. fasce filtro vegetate,
9. trincee filtranti,
10. prati armati,
11. tetti verdi.





# RAIN GARDENS





# Definizione

Un rain garden (Fig. 1.1) è un'area verde concava, progettata per raccogliere e trattenere temporaneamente le acque meteoriche intercettate dalle superfici impermeabili circostanti, riducendo il volume e la portata di run-off. L'acqua viene quindi fatta infiltrare nel suolo e depurata attraverso l'azione di piante, suolo e microrganismi. Il tempo di svuotamento massimo, in letteratura indicato in un range di 24-72 ore (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005; City of Edmonton, 2014; University of Tennessee, 2013; City of Vancouver, 2016; Carlson, et al., 2013), è, da normativa regionale lombarda, pari a 48 ore .

Riduzione del volume e della portata di run-off

Trattenimento temporaneo (*detention*)

Infiltrazione

Miglioramento della qualità del run-off

# Funzioni

[PAGINA A FIANCO] Fig. 1.1: rain garden.

Fonte: <https://seagrant.uconn.edu/>

## Scala e posizionamento

I rain gardens sono adatti a soluzioni su piccola scala (UACDC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; Carlson, et al., 2013) e si usano generalmente per raccogliere il run-off delle aree immediatamente adiacenti (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; CVC, 2010). Non sono efficaci nel drenare grandi aree che scaricano in un'unica posizione; in tali casi è utile prevedere un sistema di rain gardens a cascata (CIRIA, 2015)

È preferibile collocarli dove possono ricevere almeno sei ore di radiazione solare diretta al giorno per favorire la crescita della vegetazione e la perdita per evapotraspirazione dell'acqua raccolta (DDC, 2005; UACDC, 2010).

## Sottosuolo/pendenza

Si possono utilizzare sulla maggior parte dei suoli (CIRIA, 2015; DDC, 2005; CVC, 2010), ma non sono consigliati per aree con pendenza superiore al 20% per via del rischio di erosione (City of Edmonton, 2014).

Il livello massimo della falda deve essere ad almeno 0,6 - 1 m di profondità dal fondo del rain garden (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; Pelletier, et al., 2011; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

## Distanze da altri elementi

È consigliabile collocare il rain garden a debita distanza da eventuali edifici per prevenire eventuali problemi da infiltrazione<sup>2</sup> (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

Una volta verificate le norme e le indicazioni locali<sup>3</sup>, si possono considerare le seguenti distanze di sicurezza: 15 m da aree con pendenza superiore al 20%; 30 m da aree con rilevante contaminazione del suolo, discariche chiuse o in attività, pozzi e sorgenti di acqua potabile (Carlson, et al., 2013; City of Vancouver, 2016).



## Principio di funzionamento

Lo scopo principale del rain garden è catturare l'acqua di ruscellamento proveniente dalle superfici impermeabili circostanti riducendo il volume e la portata di run-off. L'acqua raccolta viene fatta infiltrare nel substrato del rain garden stesso verso il sottosuolo e/o un sistema di drenaggio sotterraneo. Durante il processo di infiltrazione, gli inquinanti presenti in soluzione vengono rimossi tramite processi di adsorbimento da parte delle diverse componenti del suolo, in particolare sostanze umiche e argille, e assorbimento radicale (fitodepurazione). (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; City of Edmonton, 2014).

A seconda della capacità di infiltrazione del suolo e delle condizioni del sito, i rain gardens possono essere progettati senza un sistema di drenaggio sotterraneo (infiltrazione completa), con un sistema di drenaggio sotterraneo (infiltrazione parziale) o con un rivestimento impermeabile (solo filtrazione) (CVC, 2010).

Infatti, laddove l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo può favorire il dissesto idro-geologico o dove sussiste il rischio di contaminare la falda (con falda sub-superficiale), l'infiltrazione nel sottosuolo è da evitare. In tali situazioni si può impermeabilizzare il fondo del rain garden con geomembrane impermeabili,

connettendolo con il sistema di drenaggio (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005).

La quantità di acqua infiltrabile nel sottosuolo dipende dalla permeabilità dello stesso:

- con tassi di infiltrazione  $> 30$  mm/h, di norma non si hanno problemi ad infiltrare nel sottosuolo tutta l'acqua raccolta, avendo comunque cura di inserire un troppopieno collegato alla rete di drenaggio principale (City of Vancouver, 2016);
- con un tasso di infiltrazione tra i 15 e i 30 mm/h, al fine di poter infiltrare tutta l'acqua nel sottosuolo, occorre aggiungere uno strato drenante al di sotto del substrato (City of Vancouver, 2016);

- con un tasso di infiltrazione  $< 15$  mm/h, di norma si riesce ad infiltrare solo una parte dell'acqua e occorre inserire tubi di drenaggio nella parte superiore dello strato drenante. In caso di infiltrazione molto bassa ( $< 5$  mm/h), è opportuno inserire un riduttore di flusso (Fig. 1.2) che possa regolare l'afflusso di acqua al rain garden (City of Vancouver, 2016; CVC, 2010).

## Superficie impermeabile servita

L'area impermeabile servita arriva generalmente a circa 1.000 m<sup>2</sup> (City of Edmonton, 2014), fino a un massimo di 4.000 m<sup>2</sup> (Pelletier, et al., 2011) o 8.000 mq [Davis, 2008 da (CIRIA, 2015; CVC, 2010)]

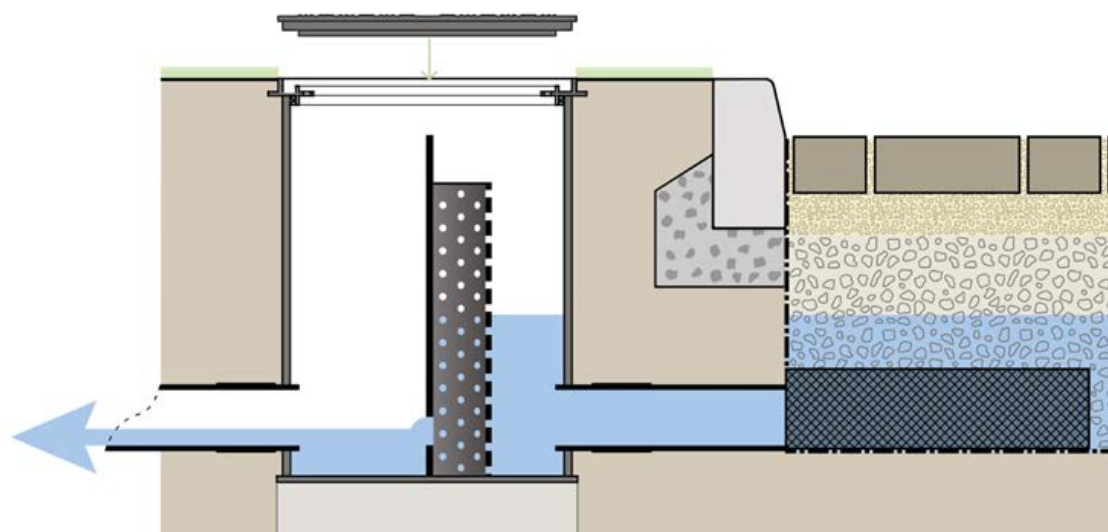


Fig. 1.2: schema di riduttore di flusso.

Fonte: [www.sudsstore.com](http://www.sudsstore.com)

[AL CENTRO, IN BASSO] Fig. 1.4: copertura del substrato con ciottoli in corrispondenza

$$A_f = \frac{V_t L}{k (h + L) t}$$

dove:

- $A_f$ : superficie del rain garden ( $m^2$ )
- $V_t$ : volume d'acqua da raccogliere ( $m^3$ )
- $L$ : profondità dello strato filtrante (m)
- $k$ : coefficiente di permeabilità dello strato filtrante (m/s)
- $h$ : altezza media dello strato d'acqua accumulato sopra lo strato filtrante (m)
- $t$ : tempo necessario per l'infiltrazione dell'acqua attraverso lo strato filtrante (s)

## Dimensionamento

Di norma, il rapporto tra l'area impermeabile servita e la superficie del rain garden si attesta tra 5:1 (Pelletier, et al., 2011) (CVC, 2010) e 15:1 (CVC, 2010), (City of Edmonton, 2014).

Per il dimensionamento del rain garden si può fare riferimento alla formula riportata a lato (CIRIA, 2015).

Ad esempio, supponendo di realizzare un rain garden a servizio di una superficie di  $1.000 m^2$  per raccogliere le acque meteoriche di un evento piovoso con intensità di  $15 mm/h$ , si assumono i seguenti valori:

- $V_t = 15 m^3$ ;
- $L = 0,5 m$ ;
- $K = 4,17 \cdot 10^{-6} m/s$
- $h = 0,1 m$
- $t = 1,728 \cdot 10^5 s$

Utilizzando la suddetta equazione si ottiene un valore di  $A_f$  pari a  $17,4 m^2$ .

Per quanto riguarda le dimensioni dei rain gardens, si consiglia una superficie massima di circa a  $800 m^2$ . (CIRIA, 2015), con una larghezza minima di  $60 cm$  (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016) e massima di  $20 m$ , con una lunghezza massima di  $40 m$ ; ciò al fine di evitare una distribuzione non uniforme dell'acqua. Inoltre, è preferibile un rapporto di 2:1 tra lunghezza e larghezza (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016)

## Struttura e componenti

I rain gardens più semplici presentano un substrato costituito da un unico strato, alto 20-50 cm, di suolo locale ammendato con compost e sabbia o di mix appositamente studiati. (CIRIA, 2015). Per avere performances migliori è, però, consigliabile prevedere un substrato con strati di drenaggio, come illustrato di seguito.

### Punti di ingresso dell'acqua

L'acqua deve essere convogliata nel rain garden in modo da essere distribuita il più uniformemente possibile, prevenendo l'erosione del substrato (CIRIA, 2015): per questo motivo, la velocità d'ingresso del fluido dev'essere inferiore a 0,3 m/s (Carlson, et al., 2013; City of Edmonton, 2014) – 0.5 m/s (CIRIA, 2015) (o 1,5 m/s per eventi meteorici eccezionali) (CIRIA, 2015).

L'ingresso all'interno del bacino del rain garden può avvenire in modo diffuso (Fig. 1.3), cioè lungo tutto (o in parte) il perimetro dello stesso, o puntiforme, tramite aperture nel cordolo perimetrale o tubi. Nel primo caso, la fascia perimetrale del rain garden può essere inerbita per una larghezza di 0,5-3 m (City of Edmonton, 2014; DDC, 2005; Carlson, et al., 2013), consentendo una riduzione della velocità del flusso

e un primo trattamento del run-off (Carlson, et al., 2013).

Nel secondo caso, più frequentemente utilizzato in spazi ristretti o dove si rende obbligatorio l'utilizzo di cordoli, il run-off entra nel bacino del rain garden con velocità maggiore, per cui è consigliato installare massetti anti-erosione o coprire il substrato con ciottoli in corrispondenza dei punti di ingresso dell'acqua (Fig. 1.4); una larghezza minima di 50 cm delle aperture nel cordolo consente una distribuzione più uniforme dell'acqua e riduce il rischio di intasamento (CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013; City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016).

[IN ALTO] Fig. 1.3: rain garden con ingresso dell'acqua diffuso lungo tutto il perimetro. Fonte: <https://seagrant.uconn.edu/>

[AL CENTRO, IN BASSO] Fig. 1.4: copertura del substrato con ciottoli in corrispondenza dei punti di ingresso dell'acqua. Fonte: (CVC, 2010)





Fig. 1.5: area di pretrattamento con copertura del terreno con sassi.

Fonte: <https://webpages.uidaho.edu>



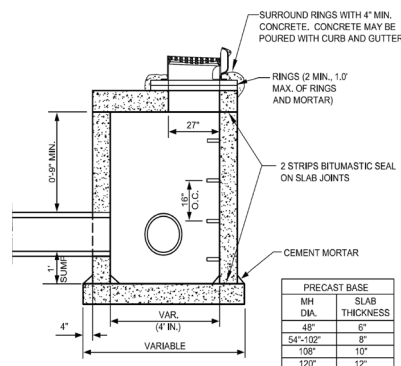
## Aree di pretrattamento

Qualora il rain garden sia situato in un'area il cui run-off abbia un alto carico di sedimenti è consigliabile inserire delle aree di pretrattamento adiacenti ai punti di ingresso dell'acqua, utili a prevenire l'intasamento prematuro del substrato del rain garden in quanto catturano le particelle di sedimento grossolane prima che raggiungano il letto filtrante (DDC, 2005; CIRIA, 2015; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

Queste aree raccolgono e trattengono temporaneamente il run-off prima dell'immissione nel bacino principale, dal quale possono essere separate tramite sbarramenti in materiale poroso o griglie, al fine di ridurre la quantità di detriti e sedimenti convogliata in quest'ultimo e conseguentemente il rischio di intasamento della superficie. Il fondo dell'area di pretrattamento può essere in sassi (Fig. 1.5), ciottoli o fatto di calcestruzzo con un gradino di massimo 30 cm (CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

Alternativamente si possono utilizzare, per rain gardens con ingresso dell'acqua puntiforme, pozzetti con griglie di protezione (Fig. 1.6) nei quali avvengono processi di sedimentazione prima dell'immissione dell'acqua nel bacino principale (Carlson, et al., 2013). Per rain gardens con ingresso dell'acqua diffuso, si possono utilizzare come aree di pretrattamento fasce inerbite (Fig. 1.7), di larghezza minima consigliata di

3 m, che rimuovono detriti e sedimenti grossolani (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010). In alternativa, laddove non vi sia spazio sufficiente, si possono inserire delle trincee riempite con ghiaia che possono anche aiutare a distribuire uniformemente il run-off; per queste ultime, un dislivello di 5-15 cm rispetto alla pavimentazione da cui proviene il run-off promuove la sedimentazione e il rallentamento del flusso d'acqua. (DDC, 2005; CVC, 2010; Ecology, 2013).



Per rain gardens che raccolgono il run-off proveniente da tetti, l'uso di filtri (che trattengono foglie e materiale grossolano) per le grondaie può essere efficace per ridurre la quantità di detriti presenti nel run-off (DDC, 2005; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

[A LATO] Fig. 1.6: pozzetto di sedimentazione. Schema (sopra) e fotografia (sotto). Fonti: (CVC, 2010); <https://acfenvironmental.com>

[SOTTO] Fig. 1.7: fascia inerbita per il pretrattamento in rain garden con ingresso dell'acqua diffuso. Fonte: <https://countyofsb.org/>



## Bacino

Il "bacino di raccolta" del rain garden è una depressione di forma trapezoidale e profondità variabile tra 15 e 30 cm (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016; Carlson, et al., 2013). Profondità maggiori, generalmente fino a 45-50 cm, sono possibili laddove non ci siano rischi per la sicurezza (CIRIA, 2015; Pelletier, et al., 2011).

Il fondo in piano consente una distribuzione uniforme dell'acqua e, per questo motivo, è consigliabile inserire piccole dighe di controllo in aree in pendenza (DDC, 2005; City of Edmonton, 2014; CVC, 2010). Le sponde hanno generalmente pendenza del 25%, aumentabile fino al 50% in caso di spazi ristretti, (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016).

Il bacino si può suddividere in tre porzioni:

- parte bassa (low zone; shoreline fringe): inondata durante eventi meteorici e ben drenata nei rimanenti periodi;
- parte mediana (mid zone; floodfringe): inondata meno frequentemente, solo durante gli eventi meteorici più intensi, presenta una elevata umidità del substrato solo periodicamente; ecologicamente simile a un'area di prato paludoso (meadow marsh);
- parte alta (upland area): più asciutta, ecologicamente simile a un prato stabile (CVC, 2010).

## Pacciamatura

Lo strato di pacciamatura può essere aggiunto per trattenere maggiormente l'umidità nel substrato, ridurre l'erosione, regolarne la temperatura e inibire la crescita di specie infestanti (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005; DNREC, 2016); contribuisce inoltre alla rimozione di inquinanti e sedimenti dall'acqua (Davis, et al., 2001; Davis, et al., 2003; Davis, et al., 2006; Dietz, et al., 2005; Hunt, 2003; Hsieh, et al., 2005) e riduce il rischio di intasamento del substrato (CVC, 2010; DDC, 2005; City of Vancouver, 2016; Carlson, et al., 2013).

Uno spessore di circa 5-8 cm di materiale organico può contribuire al controllo delle infestanti senza diminuire la capacità infiltrante (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016). Le migliori performance contro l'erosione, tuttavia, si ottengono tramite l'utilizzo di piante tappezzanti anziché di uno strato di pacciamatura (CIRIA, 2015).

La rimozione degli inquinanti, in caso di pacciamante organico, avviene specialmente a carico dei metalli pesanti quali cadmio, zinco e idrocarburi e nei primi 5 cm dello strato pacciamante (Carlson, et al., 2013).

(Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Strato filtrante/substrato

Filtra gli inquinanti, regola la velocità di infiltrazione dell'acqua e supporta la crescita della vegetazione (CIRIA, 2015). Normalmente è profondo 60-120 cm, ma si possono prevedere anche spessori inferiori (30-40 cm) per rain garden progettati per raccogliere piccoli volumi d'acqua (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; CVC, 2010; DDC, 2005; City of Vancouver, 2016). Anche in prossimità delle sponde, si devono prevedere almeno 20 cm di substrato (CIRIA, 2015).

(Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Strato di transizione

Può essere presente al fine di limitare il lavaggio e la migrazione di particelle fini dal substrato allo strato di drenaggio; ha uno spessore di circa 10 cm (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

(Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Strato di drenaggio e infiltrazione

Spesso 30-100 cm e in ghiaia di granulometria maggiore rispetto allo strato di transizione, raccoglie l'acqua percolata dagli strati superiori, ne consente l'infiltrazione nel sottosuolo e la convoglia ai tubi di drenaggio, quando presenti (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

Tutto lo strato di drenaggio e infiltrazione è rivestito con geotessuto.

Questo strato deve essere sufficientemente spesso da consentire un flusso d'acqua verso il sottosuolo, o i tubi di drenaggio se presenti, più rapido rispetto a quello nello strato soprastante (CIRIA, 2015; DDC, 2005). Si può evitare in suoli con permeabilità sufficiente all'allontanamento dell'acqua raccolta nel rain garden (City of Vancouver, 2016; UACDC, 2010).

Il fondo dello strato di drenaggio può essere piatto, per favorire l'infiltrazione nel sottosuolo, o concavo e con i tubi di drenaggio all'estremità inferiore, qualora si intenda favorire, parzialmente o totalmente, l'allontanamento dell'acqua tramite di essi (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

I dreni che raccolgono l'acqua proveniente dagli strati superiori e la convogliano fuori dal rain garden (in un canale di scolo o verso altri SUDS, connessi tra loro in un sistema a cascata, oppure nella rete di drenaggio

principale), sono consigliati in caso di suoli con velocità di infiltrazione inferiore a 15 mm/h, oppure quando non sia possibile infiltrare tutta l'acqua nel sottosuolo o quando l'infiltrazione non sia prevista del tutto (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

Devono essere posizionati all'interno dello strato di drenaggio, ad almeno 5 cm di profondità (preferibilmente 10 cm), al fine di consentire una maggiore protezione degli stessi dall'ingresso di eventuali particelle fini provenienti dagli strati soprastanti (CIRIA, 2015), e ad almeno 10 cm dal fondo (CVC, 2010). Qualora, invece, il rain garden non sia progettato per infiltrare l'acqua nel sottosuolo e questa debba essere allontanata interamente utilizzando i tubi di drenaggio, questi vanno posti sul fondo dello strato di drenaggio (CIRIA, 2015). Hanno

pendenza minima dello 0,5% (Carlson, et al., 2013) ed è consigliabile la presenza di uno o più pozzetti di ispezione per il monitoraggio e la pulizia degli stessi (CIRIA, 2015; DDC, 2005; CVC, 2010).

(Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Troppopieno

Il troppopieno (Fig. 1.8) consente all'acqua in eccesso di uscire dal rain garden. Si può realizzare con tubi verticali, stramazzi o canaline (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016) e deve essere il più possibile vicino al punto di ingresso dell'acqua per deviare le acque eccedenti la capacità del rain garden senza che queste lo attraversino (CIRIA, 2015).

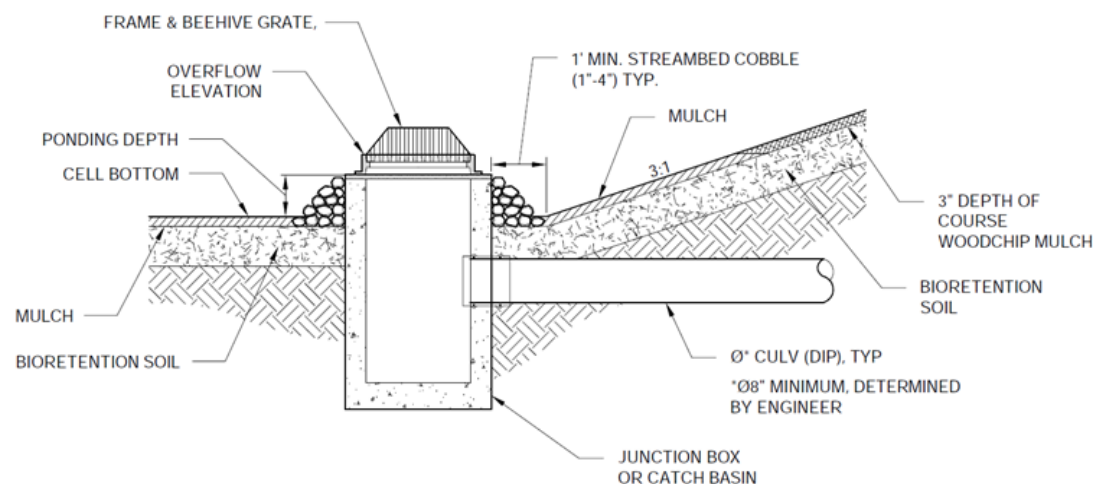


Fig. 1.8: schema di troppopieno.

Fonte: Carlson, et al., 2013



1

Fig. 1.9: mix di erbacee perenni che conferisce grande attrattiva al rain garden.

Fonte: <https://www.thisoldhouse.com/>

## Rivestimenti

L'inserimento di teli impermeabili lungo le pareti oblique del fondo trapezoidale può servire a separare il rain garden dal terreno circostante in modo da ridurre l'infiltrazione nelle pareti a favore dell'infiltrazione sul fondo. Questo accorgimento è consigliabile quando il rain garden è inserito in aree pavimentate, per evitare l'infiltrazione di acqua nel sottofondo

delle pavimentazioni (DDC, 2005; City of Edmonton, 2014).

L'utilizzo di tali teli impermeabili anche sul fondo è opportuna solo laddove sia necessario evitare l'infiltrazione profonda dell'acqua, come vicino ad edifici o per protezione della falda dal rischio di contaminazione (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005). In tal caso il massimo livello di innalzamento della falda non deve superare lo strato impermeabile (CIRIA, 2015).

L'utilizzo di geotessuto permeabile al di sopra dello strato di drenaggio, consigliato da alcuni (Vancouver, 2016), è da valutare con attenzione in quanto può causare problemi di intasamento dei pori e quindi limitazione della capacità drenante (CVC, 2010).

## Vegetazione

La vegetazione influenza le prestazioni del rain garden attraverso processi fisico-chimici di rimozione degli inquinanti, previene l'erosione del suolo e aiuta a mantenerne la permeabilità. Dà inoltre un contributo fondamentale all'aspetto del rain garden (Fig. 1.9) e al supporto alla biodiversità (CIRIA, 2015). (Specifiche tecniche nella sezione Materiali)





## Materiali

### Pacciamatura

La pacciamatura può essere realizzata con materiale organico, come la corteccia (CIRIA, 2015; CVC, 2010; City of Vancouver, 2016), o inorganico, come la ghiaia (CIRIA, 2015). La pacciamatura organica viene più facilmente spostata dal flusso dell'acqua e può intasare i fori di troppopieno, mentre la ghiaia è più stabile, ma riduce l'espansione laterale delle piante (CIRIA, 2015). L'uso di tessuto non tessuto è sconsigliato, per via della tendenza di questo materiale a intasarsi (CVC, 2010).

### Strato filtrante/substrato

Lo strato filtrante/substrato deve essere sufficientemente permeabile in modo da non causare ristagni nell'area di ritenzione: è generalmente sabbioso, molto drenante, e con buona presenza di sostanza organica per favorire la crescita delle piante (CIRIA, 2015; CVC, 2010; City of Edmonton, 2014).

Si può utilizzare il suolo del sito, ammendandolo opportunamente con sabbia e compost (costituendo un mix di 55% sabbia, 30% suolo locale e 15% compost (CIRIA, 2015)) ottenendo un substrato con velocità d'infiltrazione di 25-50 mm/h (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016; CVC, 2010).

### Specifiche tecniche del substrato:

- Permeabilità: 25-50 mm/h (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010), fino a 100-300 mm/h (CIRIA, 2015)
- Porosità (percentuale di vuoti in volume): > 30% (CIRIA, 2015)
- Sostanza organica: 3-5% (CIRIA, 2015; CVC, 2010) fino a un massimo del 10% (City of Edmonton, 2014)
- Argilla e limo < 5-10% (CIRIA, 2015; CVC, 2010) fino ad un massimo del 20% (City of Edmonton, 2014)
- Sabbia 60-85% (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; CVC, 2010)
- Scheletro (2-6 mm) < 10% (CIRIA, 2015).
- pH: 5.5-7.5 (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010)
- Conducibilità elettrica/salinità: < 3300  $\mu$ S/CaSO<sub>4</sub> (CIRIA, 2015)
- CSC: > 5-10 meq/100 g (CVC, 2010; City of Edmonton, 2014)
- N totale: 0,10-0,30% (CIRIA, 2015)
- P estraibile: 10-30 mg/l (CVC, 2010; City of Edmonton, 2014), fino a 100 mg/l (CIRIA, 2015)
- K estraibile: 120-900 mg/l (CIRIA, 2015)

## Strato di transizione

Lo strato di transizione è costituito, generalmente, da ghiaia lavata di granulometria 3-10 mm e con contenuto di particelle fini inferiore allo 0,1% (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

Al suo posto, è possibile prevedere l'inserimento di un layer di geotessuto. In questo caso, è necessario porre particolare attenzione alla scelta del telo in funzione della dimensione dei pori e della permeabilità, onde non avere problemi di intasamento, che possano rallentare il passaggio dell'acqua nello strato sottostante (CIRIA, 2015)

## Strato di drenaggio

È fondamentale che il materiale utilizzato per questo strato abbia una permeabilità maggiore rispetto a quelli costituenti gli strati soprastanti (CIRIA, 2015). Generalmente è composto da ghiaia lavata di granulometria fino a 40-50 mm (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010) e con contenuto di particelle fini inferiore alle 0,1% (City of Edmonton, 2014), ma si possono utilizzare anche calcestruzzo frammentato (privo di particelle fini e sostanze inquinanti) o sistemi geocellulari di accumulo (Fig. 1.10), che hanno un maggiore volume di stoccaggio (CIRIA, 2015).

Tali sistemi sono costituiti da unità modulari in plastica con un'elevata porosità (generalmente intorno al 95%) che possono essere utilizzate per creare in modo efficiente una struttura interrata per lo stoccaggio temporaneo delle acque superficiali. Il sistema è formato assemblando il numero richiesto di singole unità (a volte in più strati) (CIRIA, 2015).

I tubi di drenaggio eventualmente inseriti in questo strato sono tubi perforati da 200 mm di diametro (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

Fig. 1.10: installazione di sistemi geocellulari.

Fonte: <https://hydro-int.com/>



## Vegetazione

Nella selezione delle specie si devono considerare le caratteristiche del sito e delle aree circostanti, cercando se possibile di utilizzare piante autoctone, con buona resistenza alla siccità prolungata, buona adattabilità a suoli ben drenanti e sabbiosi e all'alternanza di periodi di allagamento e siccità, nonché buona tolleranza agli inquinanti.

In generale la capacità filtrante aumenta con la densità e l'altezza della vegetazione ed è consigliabile la scelta di specie con apparato radicale fascicolato e denso e vegetazione fitta per via della migliore capacità di filtrare gli inquinanti e rallentare la velocità dell'acqua. Apparati radicali densi, inoltre, aiutano a preservare la permeabilità del substrato (CIRIA, 2015; CVC, 2010). Nelle parti allagate più frequentemente (di solito il fondo) è preferibile mettere a dimora erbacee perenni o arbusti tolleranti alle alte umidità e concentrazioni di inquinanti (es. *Carex* spp., *Juncus* spp., *Amelanchier* spp., *Cornus* spp., *Viburnum* spp. ecc.) (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

Nelle porzioni superiori, più asciutte, è necessario scegliere specie vegetali resistenti alla siccità e con apparati radicali profondi, inserendo eventualmente anche specie arboree (es. *Celtis* spp., *Fraxinus* spp., *Populus* spp., *Quercus* spp.) (DDC, 2005; CVC, 2010), evitando di collocarle in prossimità dei punti

d'ingresso dell'acqua (Carlson, et al., 2013).

Le specie autoctone sono in linea generale più adatte alle condizioni climatiche locali (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013).

Nella scelta delle piante e del sesto d'impianto si deve considerare che la massa fogliare dovrebbe arrivare a coprire tutta la superficie alla fine del secondo anno di crescita. Per le perenni tappezzanti, si consiglia di utilizzare almeno 3-4 specie diverse, con radici fascicolate, crescita rapida e alta efficienza nella rimozione degli inquinanti (CIRIA, 2015). Per quanto riguarda gli arbusti, si consiglia la scelta di almeno 3 specie differenti (per aumentare la biodiversità), con apparati radicali fascicolati ed estesi. L'utilizzo di arbusti consente anche di realizzare una barriera efficace contro l'ingresso di persone nel rain garden e limitare la crescita di infestanti.

È possibile anche realizzare dei prati fioriti che, pur richiedendo meno manutenzione, forniscono soluzioni progettuali abbastanza limitate (CIRIA, 2015).

I tappeti erbosi sono sconsigliati per via della scarsa tolleranza a periodi siccitosi (CIRIA, 2015), ma qualora sia previsto un basso regime di manutenzione e ci sia un possibile problema di accumulo di rifiuti possa essere un problema, è consigliabile utilizzare prevalentemente tappeti erbosi e alberi (CVC, 2010).

## Irrigazione

L'irrigazione del rain garden potrebbe rendersi necessaria nel primo anno di impianto, per favorire la crescita della vegetazione messa a dimora (DDC, 2005) (DNREC, 2016). Potrebbe, inoltre, rappresentare un utile rimedio, in alcuni periodi dell'anno, contro la siccità (CVC, 2010) e contro gli effetti dannosi per le piante dello spargimento di sale antighiaccio (City of Edmonton, 2014).



## Manutenzione

Una volta attecchita la vegetazione, la manutenzione dei rain garden è quella tipica di un'area verde. È bene prevedere alcuni controlli periodici per accertarsi del mantenimento di una fitta copertura vegetale e della permeabilità del suolo, nonché rimuovere rifiuti e detriti (UACDC, 2010; DDC, 2005; Pelletier, et al., 2011; University of Tennessee, 2013). Rispetto ad un tappeto erboso, il rain garden è esteticamente più gradevole e richiede meno manutenzione (UACDC, 2010)

In una sperimentazione fatta in Australia su 15 rain gardens, di età compresa tra 3 e 11 anni, i costi di manutenzione non sono risultati superiori a quelli di altre aree verdi; inoltre, le condizioni rilevate sembrano indicare che i rain gardens possono garantire un trattamento efficace delle acque piovane per un periodo ben più lungo di quello di 10 a 15 anni, inizialmente ipotizzato (Dalrymple, 2012).

La causa maggiore di inefficienza dei rain gardens è l'intasamento del substrato, con conseguente riduzione della velocità d'infiltrazione dell'acqua nello strato drenante sottostante. Tali malfunzionamenti, spesso non rilevabili direttamente, si manifestano attraverso fenomeni di ristagno superficiale (CIRIA, 2015).

Si consiglia di effettuare il controllo del rain garden con cadenza trimestrale nei primi due anni e poi semestrale. Dopo eventi meteorici particolarmente intensi, è comunque consigliabile effettuare un ulteriore controllo per individuare eventuali problematiche di erosione e/o costipazione (CIRIA, 2015; DDC, 2005; City of Edmonton, 2014).

La manutenzione deve essere effettuata solo quando il rain garden è asciutto (DDC, 2005).

La pulizia frequente dell'area di pertinenza del rain garden aiuta a ridurre la quantità di rifiuti e sedimenti convogliata dalle acque (CIRIA, 2015).

È sconsigliabile l'utilizzo di prodotti fitosanitari (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; University of Tennessee, 2013; DDC, 2005).

Siti particolarmente inquinati possono richiedere attività di manutenzione e sostituzione del substrato più frequenti (City of Edmonton, 2014).

Potrebbe essere necessaria un'irrigazione al bisogno (DDC, 2005; CVC, 2010; DNREC, 2016)

Le operazioni di manutenzione periodica includono:

- controlli su sedimentazione e ristagno, calcolo del tempo di svuotamento e controllo dei tubi di drenaggio, ogni tre mesi per i primi due anni dopo l'impianto, in seguito ogni sei mesi o annualmente (DDC, 2005; City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015);
- controllo dello stato fitosanitario e della crescita

delle piante, rimozione delle infestanti indesiderate e reintegrazione delle fallanze (CIRIA, 2015);

- reintegrazione della pacciamatura (University of Tennessee, 2013; City of Edmonton, 2014) (CIRIA, 2015);

- ispezione e pulizia dell'area/foro d'ingresso dell'acqua e del troppopieno quando presente (CIRIA, 2015; DDC, 2005; City of Vancouver, 2016);

- rimozione dei rifiuti (CIRIA, 2015; DDC, 2005);

- in primavera può rendersi necessaria una lavorazione leggera dei primi 25 cm di suolo tra le piante per evitare la formazione di croste superficiali (City of Vancouver, 2016) (CIRIA, 2015).

## Durata di vita

20-50 anni (AAVV, 2013; CVC, 2010; City of Edmonton, 2014).

Dopo un periodo di circa 20 anni dall'impianto, è consigliabile prevedere l'eventuale rimozione e sostituzione del substrato e della vegetazione, nonché di ogni altra componente eccessivamente deteriorata (CIRIA, 2015).

Secondo il Regolamento Regionale, è consigliabile rinnovare periodicamente lo strato filtrante, all'incirca una volta ogni 10 anni, per minimizzare il rischio di ri-mobilitazione degli inquinanti trattenuti dal substrato<sup>4</sup>.

## Riciclabilità

Il materiale di trasporto accumulato nel rain garden derivato da aree residenziali, strade comuni e tetti è generalmente sicuro e può essere riutilizzato per altri scopi. Per il run-off di siti industriali è essenziale condurre test sui sedimenti (CIRIA, 2015).

[SOTTO] Fig. 1.11: cartello informativo installato sulla recinzione di un rain garden nella città di New York.

Fonte: [www.nyc.gov/](http://www.nyc.gov/)



## Fruibilità è sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

I rain gardens sono gradevoli dal punto di vista estetico, creano habitat, aumentano la biodiversità urbana e raffrescano il luogo in cui sono inseriti grazie all'evapotraspirazione (CIRIA, 2015). Sono estremamente versatili dal punto di vista estetico e rappresentano un elemento di arredo urbano (CIRIA, 2015). Offrono un'opportunità di sensibilizzazione ed educazione della popolazione e a tale scopo può essere utile inserire opportuni cartelli informativi (Fig. 1.11) (DDC, 2005).

### Sicurezza

Gli eventuali gradini, come quelli usati nei sistemi in pendenza, devono avere altezza limitata (simile a quelle dei marciapiedi), in modo da minimizzare i problemi di sicurezza. Se si utilizzano cordoli più alti, può essere opportuno aggiungere un muretto, una recinzione o una siepe intorno al rain garden (CIRIA, 2015). L'uso di recinzioni, tuttavia, riduce il valore estetico del rain garden e ne rende più difficoltosa la manutenzione (CIRIA, 2015).

## Costi

I costi di realizzazione dei rain gardens variano a seconda dell'ampiezza, della tipologia, del contesto, delle soluzioni tecniche utilizzate. Mediamente, come ordine di grandezza, si può stimare un costo di realizzazione pari a 90-150 €/m<sup>2</sup> (Pelletier, et al., 2011; City of Edmonton, 2014).

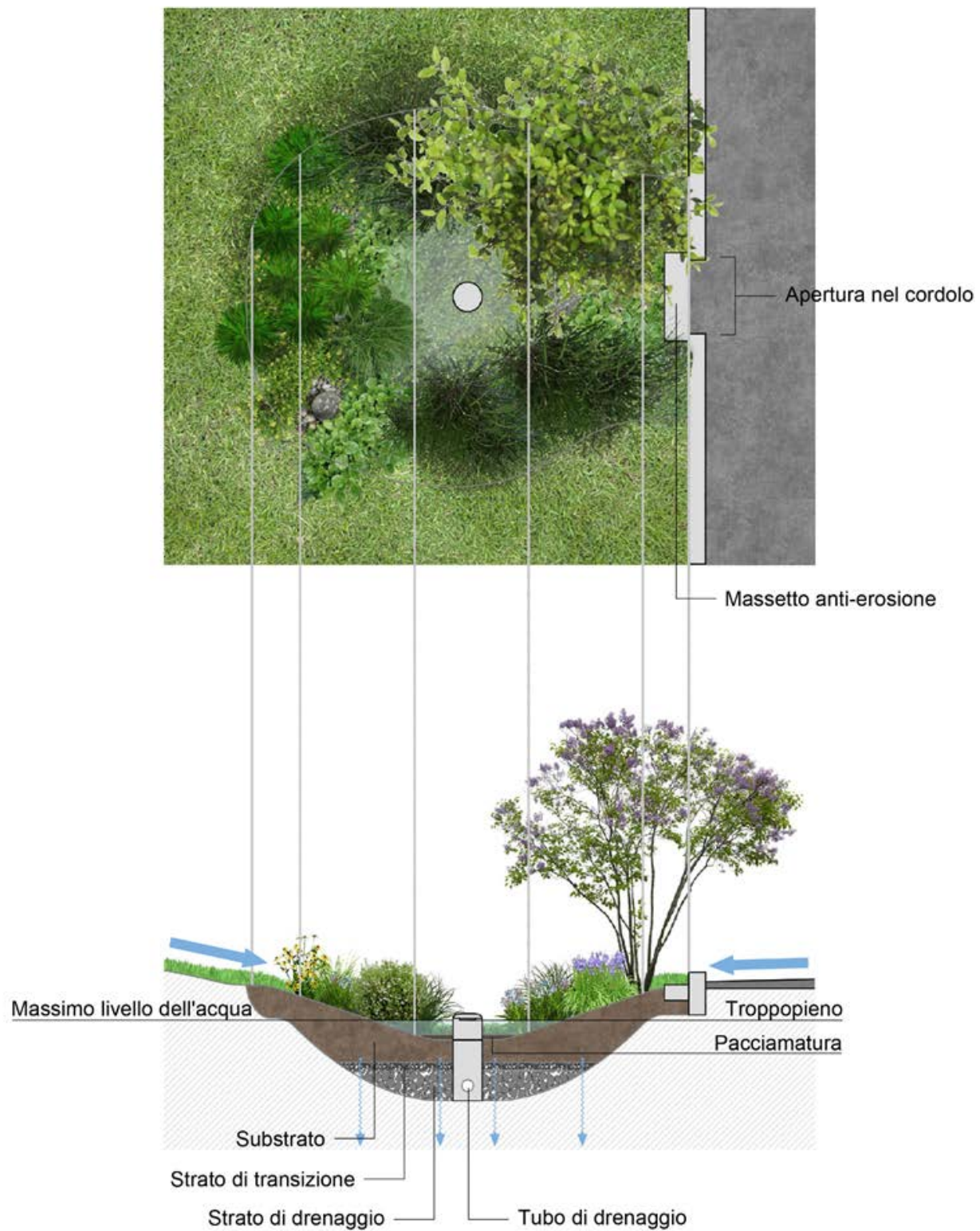
In alcuni casi, può risultare utile avere un ordine di grandezza dei costi di realizzazione legato al volume di acqua da gestire. In tal senso, il costo di 50-100 €/m<sup>3</sup> riportato dal Regolamento regionale<sup>5</sup> sembra essere un po' basso rispetto ai costi che si trovano in letteratura (ad esempio, gli 850 €/m<sup>3</sup> indicati in AAVV, 2013).

I costi annuali di manutenzione possono essere stimati pari a circa 8-10% del costo di realizzazione (AAVV, 2013; City of Edmonton, 2014).

Schema costruttivo di rain garden.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.





## Note

1: “[...] per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati, il tempo di svuotamento dei volumi calcolati secondo quanto indicato alla lettera e) non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d’invaso quanto prima possibile. Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all’interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità, il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume calcolato secondo quanto indicato alla lettera e)”. (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 8).

2: “Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell’edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.” (Testo coordinato del regolamento

regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 92).

3: “Se le acque di pioggia contengono elevate quantità di inquinanti, per esempio acque provenienti da siti industriali o da altre superfici suscettibili di inquinamento, i bacini d’infiltrazione non dovrebbero essere utilizzati, oppure dovrebbero essere preceduti da opportuni pre-trattamenti (come filtri o disoleatori). In ogni caso, è opportuno collocare il fondo del bacino a distanza di sicurezza dal livello massimo della falda. Devono, inoltre, essere rispettati i vincoli di rispetto delle aree di salvaguardia (pozzi, aree di ricarica della falda, ecc.) indicati nella normativa.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 91).

4: “È bene osservare che lo strato filtrante della struttura adibita all’infiltrazione, così come anche lo strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, è in grado di trattenere una quantità significativa di inquinanti per adsorbimento. È quindi importante che da un lato si esalti al massimo questo fenomeno modificando opportunamente le caratteristiche dello strato filtrante, dall’altro si

deve rinnovare periodicamente (indicativamente almeno una volta ogni 10 anni) lo strato filtrante per minimizzare il rischio che gli inquinanti trattenuti siano rimobilizzati e quindi rilasciati in falda.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 59).

5: “[...] un vaso realizzato modellando opportunamente un’area verde (Figura 46 a) presenta un costo di costruzione dell’ordine massimo di 50 – 100 euro/mc, ma in molti casi anche sensibilmente inferiore e al limite nullo, qualora esso sia attentamente considerato nell’insieme della progettazione multidisciplinare dell’intervento”. (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 102).





AIUOLE DI BIORITENZIONE





# Definizione

Le aiuole di bioritenzione (Fig. 2.1) sono piccole aree verdi poste a una quota inferiore rispetto alle pavimentazioni circostanti (o superiore nel caso delle vasche rialzate) e delimitate da pareti verticali in materiale minerale che racchiudono sia il bacino di raccolta delle acque di run-off sia il substrato di crescita delle piante (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013; TRCA, 2010).

Sono visivamente assimilabili ad aiuole o vasche rialzate tradizionali inserite all'interno di aree pavimentate, ma sono progettate per raccogliere e trattenere temporaneamente, per un massimo di 48 ore<sup>6</sup>, l'acqua di run-off proveniente dalle superfici circostanti, facendola infiltrare nel substrato e, se a fondo aperto, nel sottosuolo, e depurandola attraverso l'azione di

piante e substrato (TRCA, 2010).

La loro configurazione consente di massimizzare il rapporto tra volume d'acqua raccolto e superficie occupata e di posizionarle anche in contesti fortemente urbanizzati e in cui lo spazio disponibile è ridotto (TRCA, 2010).

Riduzione del volume e della portata di run-off

Trattenimento temporaneo (*detention*)

Infiltrazione

Miglioramento della qualità del run-off

Funzioni



## Scala e posizionamento

Le aiuole di bioritenzione vengono generalmente utilizzate in ambienti fortemente urbanizzati, in particolare lungo strade e marciapiedi (Fig. 2.2), nelle quali l'inserimento risulta agevole sia in fase di costruzione di nuove strade, sia in caso di riqualificazione (Pelletier, et al., 2011; City of Edmonton, 2014). Per una migliore gestione del run-off generato da strade e marciapiedi, o altre aree strette e lunghe, è consigliabile distribuirle

uniformemente per tutta la lunghezza dell'area (City of Edmonton, 2014).

Possono essere inserite anche tra marciapiede e carreggiata (Fig. 2.3), sporgendosi all'interno di quest'ultima, dalla quale sono separati tramite cordoli (TRCA, 2010).

Le vasche rialzate (Fig. 2.4), invece, si utilizzano spesso per gestire il run-off proveniente da tetti (CIRIA, 2015) e sono facilmente inseribili in diversi contesti.



[IN ALTO A DESTRA] Fig. 2.2: aiuola di bioritenzione in area pedonale (Epler Hall, Portland State University).

Fonte: <https://catalog.extension.oregonstate.edu>

[IN BASSO A DESTRA] Fig. 2.3: aiuola di bioritenzione tra marciapiede e carreggiata. Fonte: [www.njfuture.org](http://www.njfuture.org)

[IN BASSO AL CENTRO] Fig. 2.4: aiuola di bioritenzione rialzata. Fonte: [www.landtech.com](http://www.landtech.com)



## Sottosuolo/pendenza

Le aiuole di bioritenzione possono essere realizzate sulla maggior parte dei suoli (CIRIA, 2015; DDC, 2005; CVC, 2010) e anche su aree in pendenza, inserendo eventuali dighe di controllo ove opportuno (Fig. 2.5) (Pelletier, et al., 2011; University of Tennessee, 2013).

## Distanze da altri elementi

È consigliabile collocare le aiuole di bioritenzione a fondo aperto a debita distanza da eventuali edifici per prevenire eventuali problemi da infiltrazione alle fondazioni<sup>7</sup> (CIRIA, 2015; TRCA, 2010).

Fig. 2.5: esempio di dighe di controllo in aiuola di bioritenzione in pendenza.

Fonte: [www.evergreencivil.com.au](http://www.evergreencivil.com.au)



## Principio di funzionamento

Il run-off entra attraverso aperture nei cordoli perimetrali (per le aiuole di bioritenzione poste al di sotto del piano delle pavimentazioni) o i tubi di scarico delle grondaie (per le vasche rialzate) e si infila nel substrato. Parte dell'acqua viene trattenuta da esso e riutilizzata dalle piante, parte viene convogliata

nello strato di drenaggio sotterraneo e nel sottosuolo. (University of Tennessee, 2013; Philadelphia Water Department, 2014; City of Edmonton, 2014).

Il fondo può essere impermeabilizzato (Fig. 2.6) e in tal caso non vi è infiltrazione nel sottosuolo: tutta l'acqua non trattenuta dal substrato viene raccolta dallo strato di drenaggio sotterraneo e può essere convogliata nella rete di drenaggio principale o stoccata in cisterne ed essere riutilizzata per l'irrigazione (City of Edmonton, 2014; Houston-Galveston Area Council, 2016; Pelletier, et al., 2011). Le aiuole di bioritenzione possono essere progettate "in serie", in modo che l'eventuale acqua in eccesso venga convogliata in un'altra aiuola a valle (City of Edmonton, 2014); le aiuole di bioritenzione inserite a lato carreggiata rientrano generalmente in quest'ultima categoria (Conner, et al., 2019; Philadelphia Water Department, 2014). Le vasche rialzate si usano spesso per gestire l'acqua di run-off proveniente dai tetti e hanno generalmente fondo impermeabilizzato (CIRIA, 2015).

[A SINISTRA] Fig. 2.6: aiuola di bioritenzione con fondo impermeabilizzato, in fase di realizzazione.  
Fonte: [www.owp.csus.edu](http://www.owp.csus.edu)

[PAGINA A LATO, IN ALTO] Fig. 2.7: feritoia.

Fonte: <https://muralmouth.wordpress.com>

[PAGINA A LATO, AL CENTRO] Fig. 2.8: apertura nel cordolo perimetrale con protezione.

Fonte: <https://muralmouth.wordpress.com>

[PAGINA A LATO, IN BASSO] Fig. 2.9: tubo con massetto antierosione in calcestruzzo.

Fonte: [www.mwmo.org](http://www.mwmo.org)

## Superficie impermeabile servita

Mentre per le aiuole di bioritenzione interrate sono generalmente consigliate per superfici impermeabili non superiori a 1.400 m<sup>2</sup>, per le vasche rialzate si considera un rapporto di 1:1 tra area servita e superficie delle stesse (City of Edmonton, 2014).



## Struttura e componenti

Le aiuole di bioritenzione sono delimitate da muri di contenimento verticali, generalmente in calcestruzzo (City of Edmonton, 2014; Carlson, et al., 2013), tra i quali si trova il substrato di crescita per le piante e lo strato di infiltrazione e drenaggio. Il fondo può essere aperto e permeabile quando si vuole infiltrare l'acqua raccolta nel sottosuolo, o, in caso contrario, chiuso e impermeabile, costituito da una base in calcestruzzo o foderato con teli impermeabili; come già citato, le vasche rialzate hanno generalmente fondo chiuso (CIRIA, 2015).

Queste sistemazioni sono estremamente variabili in quanto a forma e dimensioni, ma è consigliata una larghezza minima di 70 cm (Conner, et al., 2019) e generalmente sono rettangolari, lunghe e strette, quando inserite lungo strade e marciapiedi (Pelletier, et al., 2011; TRCA, 2010); quando poste tra il marciapiede e la carreggiata hanno estremità curvilinee in modo da fornire adeguato spazio di manovra per i veicoli.

## Punti di ingresso dell'acqua

È bene convogliare l'acqua alle aiuole di bioritenzione in modo che venga distribuita il più uniformemente possibile, prevenendo l'erosione del substrato (CIRIA, 2015): per questo motivo, la velocità d'ingresso del fluido dev'essere inferiore a 0,3 m/s (City of Edmonton, 2014) - 0.5 m/s (CIRIA, 2015) (o 1,5 m/s per eventi meteorici eccezionali) (CIRIA, 2015).

L'ingresso del run-off all'interno del bacino avviene tipicamente tramite aperture ricavate nei cordoli perimetrali, tubi o feritoie (Fig. 2.7, 2.8 e 2.9) (UACDC, 2010; Philadelphia Water Department, 2014; University of Tennessee, 2013) ed è consigliato installare massetti anti-erosione o coprire il substrato con ciottoli in corrispondenza dei punti di ingresso dell'acqua per prevenire l'erosione dello stesso; una larghezza minima di 50 cm delle aperture nei cordoli, inoltre, consente una distribuzione più uniforme dell'acqua e riduce il rischio di intasamento (CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013; City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016)



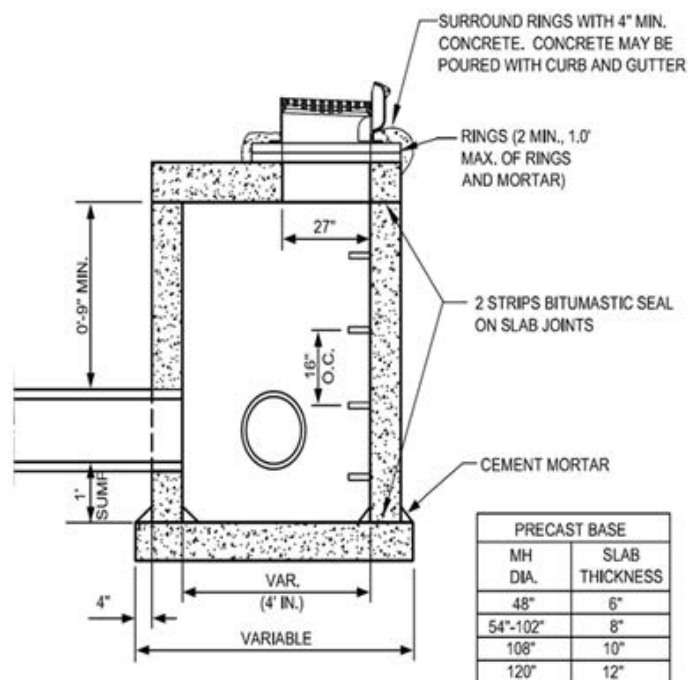
## Aree di pretrattamento

Qualora le aiuole siano situate in un'area il cui run-off abbia un alto carico di sedimenti è consigliabile inserire delle aree di pretrattamento adiacenti ai punti di ingresso dell'acqua (DDC, 2005; CIRIA, 2015; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

Queste aree raccolgono e trattengono temporaneamente il run-off prima dell'immissione nel bacino principale, dal quale possono essere separate tramite sbarramenti in materiale poroso o griglie, al fine di ridurre la quantità di detriti e sedimenti convogliata in quest'ultimo e conseguentemente il rischio di intasamento della superficie. Il fondo dell'area di pretrattamento può essere in sassi, ciottoli (Fig. 2.10) o fatto di calcestruzzo con un gradino di massimo 30 cm (CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

Alternativamente si possono utilizzare pozzetti nei quali avvengono processi di sedimentazione prima dell'immissione dell'acqua nel bacino principale (Fig. 2.11) (Carlson, et al., 2013).

Per le aiuole di bioritenzione che raccolgono il run-off proveniente da tetti, l'uso di protezioni per le grondaie può essere efficace per ridurre la quantità di detriti presenti nel run-off (DDC, 2005; TRCA, 2010; Carlson, et al., 2013)



[PAGINA A LATO] Fig. 2.10: Area di pretrattamento in ciottoli.

Fonte: [www.njfuture.org](http://www.njfuture.org)

[SOPRA] Fig. 2.11: pozzetto di sedimentazione per pretrattamento.

Fonte: <https://extensionpublications.unl.edu>







## Bacino

Il “bacino di raccolta” ha profondità consigliata di 30 cm per le aiuole di bioritenzione con infiltrazione e flow-through, mentre di 5 cm per quelle a fondo chiuso (City of Edmonton, 2014). La superficie delle aiuole flow-through deve avere pendenza dello 0,5-2% in modo da facilitare lo scorrimento dell’acqua raccolta dal punto di ingresso al punto di uscita (City of Edmonton, 2014).

## Pacciamatura

Lo strato di pacciamatura può essere aggiunto per trattenere maggiormente l’umidità nel substrato, ridurre l’erosione, regolare la temperatura e inibire la crescita di specie infestanti (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005; DNREC, 2016); contribuisce inoltre alla rimozione di inquinanti e sedimenti dall’acqua (Davis, et al., 2001; Davis, et al., 2003; Davis, et al., 2006; Dietz, et al., 2005; Hunt, 2003; Hsieh, et al., 2005) e riduce il rischio di intasamento del substrato (CVC, 2010; DDC, 2005; City of Vancouver, 2016; Carlson, et al., 2013).

Uno spessore di circa 5-8 cm di materiale organico può contribuire al controllo delle infestanti senza diminuire la capacità infiltrante (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016). Le migliori

performance contro l’erosione, tuttavia, si ottengono tramite l’utilizzo di piante tappezzanti anziché di uno strato di pacciamatura (CIRIA, 2015).

La rimozione degli inquinanti, in caso di pacciamante organico, avviene specialmente a carico dei metalli pesanti quali cadmio, zinco e idrocarburi e nei primi 5 cm dello strato pacciamante (Carlson, et al., 2013). (Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Strato filtrante/substrato

Filtra gli inquinanti, regola la velocità di infiltrazione dell’acqua e supporta la crescita della vegetazione (CIRIA, 2015). La profondità minima del substrato consigliata è di 45 cm. Quando si mettono a dimora specie arboree, può essere opportuno uno strato profondo fino a 100 cm (Conner, et al., 2019). (Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Strato di transizione

Può essere presente al fine di limitare il lavaggio e la migrazione di particelle fini dal substrato allo strato di drenaggio; ha uno spessore di circa 10 cm (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; CVC, 2010). (Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Strato di drenaggio e infiltrazione

Spesso 25-30 cm e in ghiaia di granulometria maggiore rispetto allo strato di transizione, raccoglie l’acqua percolata dagli strati superiori, ne consente l’infiltrazione nel sottosuolo e la convoglia ai tubi di drenaggio, quando presenti (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

Questo strato deve essere sufficientemente spesso da consentire un flusso d’acqua verso il sottosuolo, o i tubi di drenaggio se presenti, più rapido rispetto a quello nello strato soprastante (CIRIA, 2015; DDC, 2005). Si può evitare in suoli con permeabilità sufficiente all’allontanamento dell’acqua raccolta nell’aiuola (City of Vancouver, 2016; UACDC, 2010).

Il fondo dello strato di drenaggio può essere piatto, per favorire l’infiltrazione nel sottosuolo, o concavo e con i tubi di drenaggio all’estremità inferiore, qualora si intenda favorire, parzialmente o totalmente, l’allontanamento dell’acqua tramite di essi (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

I dreni che raccolgono l’acqua proveniente dagli strati superiori e la convogliano fuori dall’aiuola (in un canale di scolo o verso altri SUDS, connessi tra loro in un sistema a cascata, oppure nella rete di drenaggio principale), sono consigliati in caso di suoli con velocità di infiltrazione inferiore a 15 mm/h, oppure quando non sia possibile infiltrare tutta l’acqua nel

sottosuolo o quando l'infiltrazione non sia prevista del tutto (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

Devono essere posizionati all'interno dello strato di drenaggio, ad almeno 5 cm di profondità (preferibilmente 10 cm), al fine di consentire una maggiore protezione degli stessi dall'ingresso di eventuali particelle fini provenienti dagli stati soprastanti (CIRIA, 2015), e ad almeno 10 cm dal fondo (CVC, 2010). Qualora, invece, l'aiuola di bioritenzione non sia progettato per infiltrare l'acqua nel sottosuolo e questa debba essere allontanata interamente utilizzando i tubi di drenaggio, questi vanno posti sul fondo dello strato di drenaggio (CIRIA, 2015). Hanno pendenza minima dello 0,5% (Carlson, et al., 2013) ed è consigliabile la presenza di uno o più pozzetti di ispezione per il monitoraggio e la pulizia degli stessi (CIRIA, 2015; DDC, 2005; TRCA, 2010). (Specifiche tecniche nella sezione Materiali)

## Troppopieno

Il troppopieno consente all'acqua in eccesso di uscire dall'aiuola. Si può realizzare con tubi verticali, eventualmente protetti con griglie (Fig. 2.12), stramazzi o canaline (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016) e deve essere il più possibile vicino al punto di ingresso dell'acqua per deviare le acque eccedenti la capacità dell'aiuola senza che queste lo attraversino (CIRIA, 2015).

Nella tipologia flow-through i troppopieno sono aperture nei cordoli analoghe a quelle di ingresso dell'acqua, così questa possa uscire di nuovo sulla strada (Conner, et al., 2019).

## Rivestimenti

Quando progettate per l'infiltrazione del run-off occorre inserire barriere che proteggano gli edifici e le infrastrutture vicine dalle infiltrazioni (Pelletier, et al., 2011; City of Edmonton, 2014). Nel caso opposto, si possono utilizzare geotessuti impermeabili per

chiudere il fondo delle aiuole.

## Vegetazione

La vegetazione influenza le prestazioni dell'aiuola di bioritenzione attraverso processi fisico-chimici di rimozione degli inquinanti, previene l'erosione del suolo e aiuta a mantenerne la permeabilità. Dà inoltre un contributo fondamentale all'aspetto dell'aiuola e al supporto alla biodiversità (CIRIA, 2015).

(Specifiche tecniche nella sezione Materiali)



Fig. 2.12: troppopieno con griglia di protezione. Fonte: <https://cob.org/>

## Materiali

### Strutture di contenimento

Si possono costruire in calcestruzzo, muratura, legno (non trattato chimicamente), acciaio o plastica (City of Edmonton, 2014; Philadelphia Water Department, 2014; Pelletier, et al., 2011; Carlson, et al., 2013).

### Pacciamatura

La pacciamatura può essere realizzata con materiale organico, come la corteccia (CIRIA, 2015; CVC, 2010; City of Vancouver, 2016), o inorganico, come la ghiaia (CIRIA, 2015). La pacciamatura organica viene più facilmente spostata dal flusso dell'acqua e può intasare i fori di troppopieno, mentre la ghiaia è più stabile, ma riduce l'espansione laterale delle piante (CIRIA, 2015). L'uso di tessuto non tessuto è sconsigliato, per via della tendenza di questo materiale a intasarsi (TRCA, 2010).

### Strato filtrante/substrato

Lo strato filtrante/substrato deve essere sufficientemente permeabile in modo da non causare ristagni nell'area di ritenzione: è generalmente sabbioso, molto drenante, e con buona presenza di sostanza organica per favorire la crescita delle piante

(CIRIA, 2015; CVC, 2010; City of Edmonton, 2014).

Si può utilizzare il suolo del sito, ammendandolo opportunamente con sabbia e compost (costituendo un mix di 55% sabbia, 30% suolo locale e 15% compost (CIRIA, 2015)) ottenendo un substrato con velocità d'infiltrazione di 25-50 mm/h (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016; CVC, 2010).

### Strato di transizione

Ghiaia lavata di granulometria 16 – 25 mm con particelle fini < 0,1% (City of Edmonton, 2014).

### Strato di drenaggio

Ghiaia lavata di granulometria 20 – 40 mm con particelle fini < 0,1% (City of Edmonton, 2014).

### Vegetazione

Nella selezione delle specie si devono considerare le caratteristiche del sito e delle aree circostanti, cercando se possibile di utilizzare piante autoctone, con buona resistenza alla siccità prolungata, buona adattabilità a suoli ben drenanti e sabbiosi e all'alternanza di periodi di allagamento e siccità.

Inoltre, le specie scelte devono avere alta tolleranza ad inquinanti e salinità e consentire un'adeguata visibilità a guidatori e pedoni (City of Edmonton,

## Specifiche tecniche del substrato:

- Permeabilità: 25-50 mm/h (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010), fino a 100-300 mm/h (CIRIA, 2015)
- Porosità (percentuale di vuoti in volume): > 30% (CIRIA, 2015)
- Sostanza organica: 3-5% (CIRIA, 2015; CVC, 2010) fino a un massimo del 10% (City of Edmonton, 2014)
- Argilla e limo < 5-10% (CIRIA, 2015; CVC, 2010) fino ad un massimo del 20% (City of Edmonton, 2014)
- Sabbia 60-85% (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; CVC, 2010)
- Scheletro (2-6 mm) < 10% (CIRIA, 2015).
- pH: 5.5-7.5 (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010)
- Conducibilità elettrica/salinità: < 3300  $\mu\text{S}$ /CaSO<sub>4</sub> (CIRIA, 2015)
- CSC: > 5-10 meq/100 g (TRCA, 2010; City of Edmonton, 2014)
- N totale: 0,10-0,30% (CIRIA, 2015)
- P estraibile: 10-30 mg/l (TRCA, 2010; City of Edmonton, 2014), fino a 100 mg/l (CIRIA, 2015)
- K estraibile: 120-900 mg/l (CIRIA, 2015)



2014; Carlson, et al., 2013; CVC, 2010). È consigliabile mettere a dimora le specie più tolleranti salinità e inquinanti vicino ai punti di ingresso del run-off, tenendo eventuali specie più sensibili lontane da questi (City of Edmonton, 2014).

In generale la capacità filtrante aumenta con la densità e l'altezza della vegetazione ed è consigliabile la scelta di specie con apparato radicale fascicolato e denso e vegetazione fitta per via della migliore capacità di filtrare gli inquinanti e rallentare la velocità dell'acqua. Apparat radicali densi, inoltre, aiutano a preservare la permeabilità del substrato (CIRIA, 2015; CVC, 2010). Le specie autoctone sono in linea generale più adatte alle condizioni climatiche locali (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013).

Nella scelta delle piante e del sesto d'impianto si deve considerare che la massa fogliare dovrebbe arrivare a coprire tutta la superficie alla fine del secondo anno di crescita. Per le perenni tappezzanti, si consiglia di utilizzare almeno 3-4 specie diverse, con radici fascicolate, crescita rapida e alta efficienza nella rimozione degli inquinanti (CIRIA, 2015). Per quanto riguarda gli arbusti, si consiglia la scelta di almeno 3 specie differenti (per aumentare la biodiversità), con apparati radicali fascicolati ed estesi. L'utilizzo di arbusti consente anche di realizzare una barriera efficace contro l'ingresso di persone nell'aiuola e limitare la crescita di infestanti.

È possibile anche realizzare dei prati fioriti che, pur richiedendo meno manutenzione, forniscono soluzioni progettuali abbastanza limitate (CIRIA, 2015).

I tappeti erbosi sono sconsigliati per via della scarsa tolleranza a periodi siccitosi (CIRIA, 2015), ma qualora sia previsto un basso regime di manutenzione e ci sia un possibile problema di accumulo di rifiuti possa essere un problema, è consigliabile utilizzare prevalentemente tappeti erbosi e alberi (TRCA, 2010).

### Irrigazione

L'irrigazione delle aiuole di bioritenzione potrebbe rendersi necessaria nel primo anno di impianto, per favorire la crescita della vegetazione messa a dimora (DDC, 2005; DNREC, 2016). Potrebbe, inoltre, rappresentare un utile rimedio, in alcuni periodi dell'anno, contro la siccità (CVC, 2010) e contro gli effetti dannosi per le piante dello spargimento di sale antighiaccio (City of Edmonton, 2014).

### Manutenzione

Una volta attecchita la vegetazione, la manutenzione delle aiuole di bioritenzione è quella tipica di un'area verde. È bene prevedere alcuni controlli periodici per accertarsi del mantenimento di una fitta copertura vegetale e della permeabilità del suolo, nonché rimuovere rifiuti e detriti (UACDC, 2010; DDC, 2005; Pelletier, et al., 2011; University of Tennessee, 2013). Rispetto ad un tappeto erboso, l'aiuola di bioritenzione è esteticamente più gradevole e richiede meno manutenzione (UACDC, 2010).

La causa maggiore di inefficienza delle aiuole di bioritenzione è l'intasamento del substrato, con conseguente riduzione della velocità d'infiltrazione dell'acqua nello strato drenante sottostante. Tali malfunzionamenti, spesso non rilevabili direttamente, si manifestano attraverso fenomeni di ristagno superficiale (CIRIA, 2015).

Si consiglia di effettuare il controllo delle aiuole di bioritenzione con cadenza trimestrale nei primi due anni e poi semestrale. Dopo eventi meteorici particolarmente intensi, è comunque consigliabile effettuare un ulteriore controllo per individuare eventuali problematiche di erosione e/o costipazione (CIRIA, 2015; DDC, 2005; City of Edmonton, 2014).

La manutenzione deve essere effettuata solo quando le aiuole sono asciutte (DDC, 2005).

La pulizia frequente dell'area di pertinenza delle aiuole aiuta a ridurre la quantità di rifiuti e sedimenti convogliata dalle acque (CIRIA, 2015).

È sconsigliabile l'utilizzo di prodotti fitosanitari (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; University of Tennessee, 2013; DDC, 2005).

Siti particolarmente inquinati possono richiedere attività di manutenzione e sostituzione del substrato più frequenti (City of Edmonton, 2014).

Potrebbe essere necessaria un'irrigazione al bisogno (DDC, 2005; CVC, 2010; DNREC, 2016)

Le operazioni di manutenzione periodica includono:

- controlli su sedimentazione e ristagno, calcolo del tempo di svuotamento e controllo dei tubi di drenaggio, ogni tre mesi per i primi due anni dopo l'impianto, in seguito ogni sei mesi o annualmente (DDC, 2005; City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015);
- controllo dello stato fitosanitario e della crescita delle piante, rimozione delle infestanti indesiderate e reintegrazione delle fallanze (CIRIA, 2015);
- reintegrazione della pacciamatura (University of Tennessee, 2013; City of Edmonton, 2014) (CIRIA, 2015);
- ispezione e pulizia dell'area/foro d'ingresso dell'acqua e del troppopieno quando presente (CIRIA, 2015; DDC, 2005; City of Vancouver, 2016);
- rimozione dei rifiuti (CIRIA, 2015; DDC, 2005);

- in primavera può rendersi necessaria una lavorazione leggera dei primi 25 cm di suolo tra le piante per evitare la formazione di croste superficiali (City of Vancouver, 2016) (CIRIA, 2015).

### Durata di vita

20-50 anni (AAVV, 2013; CVC, 2010; City of Edmonton, 2014).

Dopo un periodo di circa 20 anni dall'impianto, è consigliabile prevedere l'eventuale rimozione e sostituzione del substrato e della vegetazione, nonché di ogni altra componente eccessivamente deteriorata (CIRIA, 2015).

Secondo il Regolamento Regionale, è consigliabile rinnovare periodicamente lo strato filtrante, all'incirca una volta ogni 10 anni, per minimizzare il rischio di ri-mobilitazione degli inquinanti trattenuti dal substrato<sup>8</sup>.

### Riciclabilità

Il materiale di trasporto accumulato nelle aiuole di bioritenzione derivato da aree residenziali, strade comuni e tetti è generalmente sicuro e può essere riutilizzato per altri scopi. Per il run-off di siti industriali è essenziale condurre test sui sedimenti (CIRIA, 2015).

## Fruibilità e sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

Le aiuole di bioritenzione sono facilmente inseribili in molti contesti, rendendosi adatte anche a operazioni di riqualificazione (Conner, et al., 2019; City of Edmonton, 2014; Pelletier, et al., 2011; TRCA, 2010) e consentono l'inserimento di vegetazione all'interno di aree minerali.

### Sicurezza

È opportuno installare recinzioni lungo il perimetro delle aiuole di bioritenzione quando queste sono inserite in aree pavimentate con alto flusso pedonale (Fig. 2.13) (Conner, et al., 2019) e paletti o altre strutture per rendere evidente ai guidatori la presenza di aiuole inserite all'interno della carreggiata (DDC, 2005). In questo caso, inoltre, non devono verificarsi conflitti con le eventuali piste ciclabili (DDC, 2005).

Il posizionamento in corrispondenza degli incroci stradali consente di ridurre la lunghezza degli attraversamenti pedonali e rallenta il traffico, aumentando la sicurezza (DDC, 2005; Pelletier, et al., 2011; Carlson, et al., 2013). La vegetazione, inoltre, non deve impedire la visuale ai guidatori (City of Edmonton, 2014; Carlson, et al., 2013; TRCA, 2010).



## Costi

I costi di realizzazione delle aiuole di bioritenzione variano a seconda della tipologia dei materiali e delle soluzioni tecniche utilizzate. Mediamente, come ordine di grandezza, si può stimare un costo di realizzazione pari a 150-250 €/m<sup>2</sup> (Pelletier, et al., 2011) (City of Edmonton, 2014).

I costi annuali di manutenzione possono essere stimati pari a circa 5-8% del costo di realizzazione (AAVV, 2013) (City of Edmonton, 2014)

Fig. 2.13: recinzione a protezione di aiuola di bioritenzione inserita in area pavimentata.

Fonte: (Pelletier, et al., 2011)



[A LATO]

Schema costruttivo di aiuola di bioritenzione di tipo flow-through in area pavimentata.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.

[PAGINA A FIANCO, A SINISTRA]

Schema costruttivo di aiuola di bioritenzione tra marciapiede e carreggiata.

Elaborazione propria.

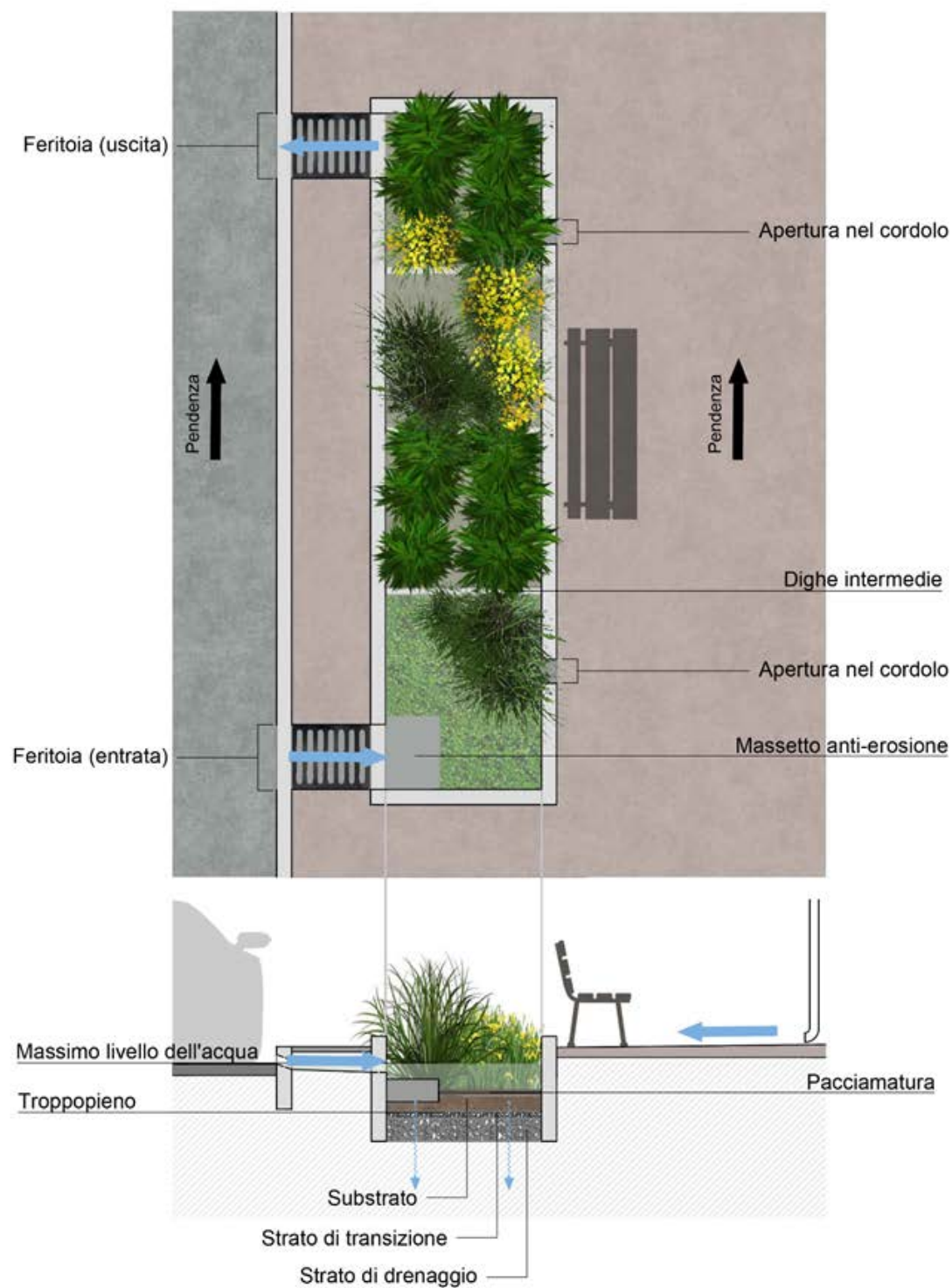
Autore: Raffaele Bonsignori.

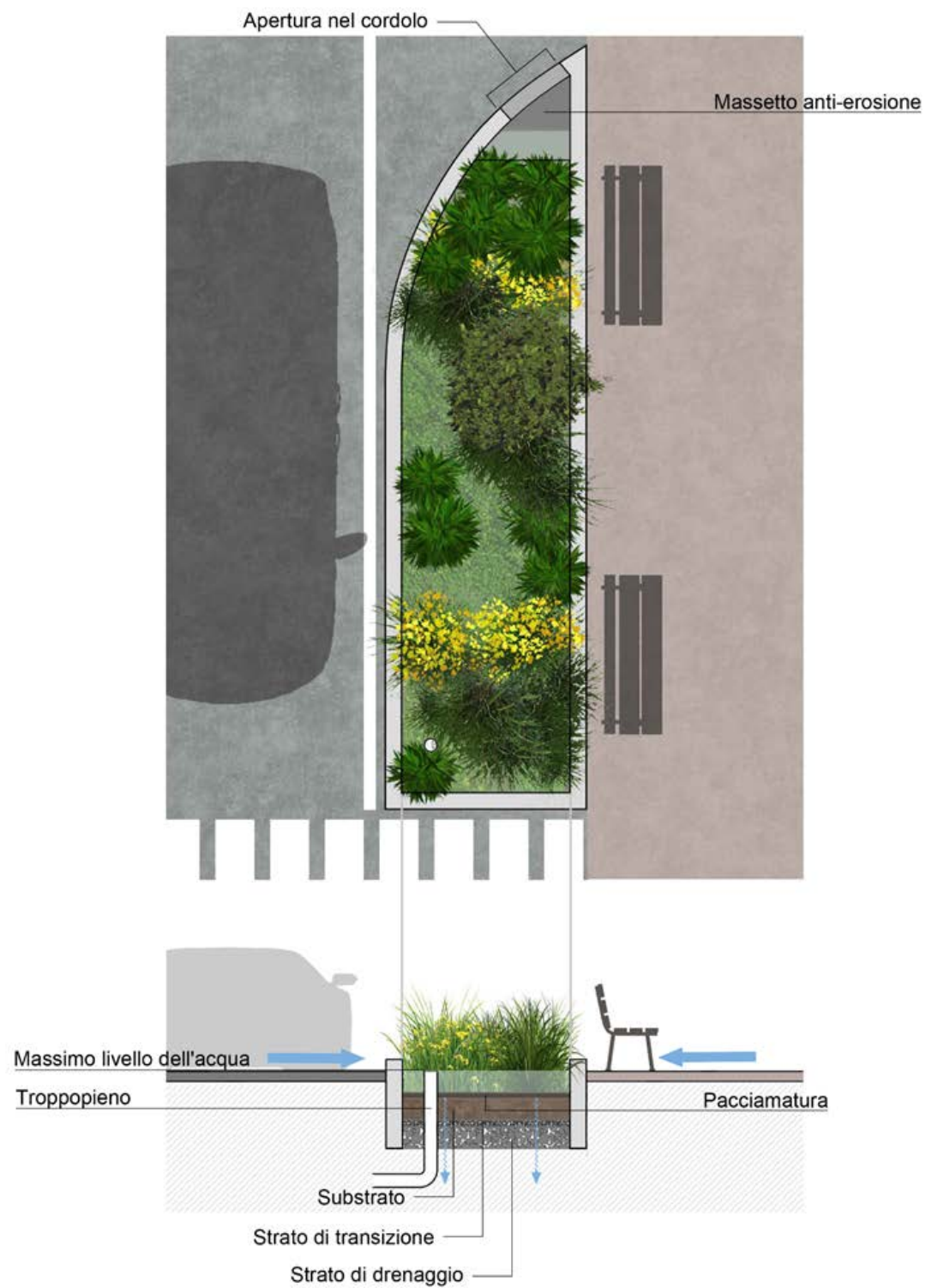
[PAGINA A FIANCO, A DESTRA]

Schema costruttivo di aiuola di bioritenzione rialzata.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.





## Note

6: “[...] per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati, il tempo di svuotamento dei volumi calcolati secondo quanto indicato alla lettera e) non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d’invaso quanto prima possibile. Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all’interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità, il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume calcolato secondo quanto indicato alla lettera e)”. (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 8).

7: “Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell’edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.” (Testo coordinato del regolamento

regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 92).

8: “È bene osservare che lo strato filtrante della struttura adibita all’infiltrazione, così come anche lo strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, è in grado di trattenere una quantità significativa di inquinanti per adsorbimento. È quindi importante che da un lato si esalti al massimo questo fenomeno modificando opportunamente le caratteristiche dello strato filtrante, dall’altro si deve rinnovare periodicamente (indicativamente almeno una volta ogni 10 anni) lo strato filtrante per minimizzare il rischio che gli inquinanti trattenuti siano rimobilizzati e quindi rilasciati in falda.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 59).





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

SUDS - SOLUZIONI PROGETTUALI TIPO DI INFRASTRUTTURE  
VERDI PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

RAFFAELE BONSIGNORI, GIULIO SENES



AIUOLE ALBERATE



# Defnizione

I box alberati filtranti (Fig. 3.1) sono contenitori in calcestruzzo, con fondo aperto o chiuso (Houston-Galveston Area Council, 2016), riempiti con substrato adatto alla coltivazione di alberi e uno strato di drenaggio sotterraneo. Nella parte superiore dei box si delinea un bacino nel quale viene raccolto il run-off generato dalle superfici impermeabili circostanti, che viene fatto infiltrare nel substrato, ed eventualmente nel sottosuolo, e depurato. A differenza delle altre aiuole di bioritenzione, i box alberati sono progettati per accogliere solo un albero e l'apertura superiore può essere schermata con griglie per alberature o pavimentazioni permeabili. Per la messa a dimora di alberi in aree pavimentate si possono inoltre utilizzare suoli

strutturali o strutture modulari. I primi sono mix di aggregati grossolani e substrato di coltivazione, mentre le seconde sono strutture tridimensionali, generalmente in materiale plastico, completamente riempibili di substrato (Fig. 3.2). Entrambe le soluzioni consentono di posare pavimentazioni mantenendo un sottofondo ad elevata porosità nel quale, a differenza di un sottofondo compattato, si può infiltrare un maggiore volume d'acqua e gli alberi trovano condizioni di crescita migliori, con conseguente maggiore salute e longevità.

[SOPRA] Fig 3.2: schema di strutture modulari.  
Fonte: [www.treanorhl.com](http://www.treanorhl.com)



| Funzione \ Struttura                           | Box        | Suoli strutturali | Strutture modulari |
|------------------------------------------------|------------|-------------------|--------------------|
| Infiltrazione                                  | Principale | Principale        | Principale         |
| Miglioramento della qualità del run-off        | Principale | Secondaria        | Secondaria         |
| Riduzione del volume di run-off                | Secondaria | Secondaria        | Secondaria         |
| Ottimizzazione della crescita delle alberature | Secondaria | Principale        | Principale         |

# Funzioni

[PAGINA A FIANCO] Fig 3.1: box alberato filtrante.  
Fonte: <https://www.exactstorm.com/>



## Scala e posizionamento

Queste soluzioni si possono utilizzare in molti contesti e sono ideali per le aree fortemente urbanizzate in cui è necessario pavimentare l'area immediatamente intorno al fusto dell'albero e sono molto adatte per gli interventi di riqualificazione urbana (UACDC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013).

Sono utili anche nel caso di alberature lineari, in quanto consentono di formare delle trincee di terreno continue che si sviluppano al di sotto delle pavimentazioni. La formazione di aiuole lineari continue tra gli alberi di un filare consente di massimizzare il volume di substrato disponibile per le piante e l'assorbimento dell'acqua (DDC, 2005).

## Sottosuolo/pendenza

Fare attenzione alla presenza di eventuali sottoservizi e prevedere, se del caso, l'utilizzo di apposite barriere anti-radice (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016).

## Distanze da altri elementi

È consigliabile collocare i box alberati a debita distanza da eventuali edifici per prevenire eventuali problemi da infiltrazione<sup>9</sup> (CIRIA, 2015; CVC, 2010), oltre agli eventuali problemi dovuti alla crescita della chioma.

## Principio di funzionamento

I box alberati raccolgono e fanno infiltrare le acque meteoriche, che vengono depurate dagli alberi e dal substrato e poi raccolte dal sistema di drenaggio sotterraneo o fatte infiltrare nel sottosuolo (Houston-Galveston Area Council, 2016; UACDC, 2010).

Gli alberi, inoltre, intercettano e trattengono l'acqua con rami e foglie, la assorbono tramite gli apparati radicali e la riemettono in atmosfera, facilitano l'infiltrazione, ombreggiano, migliorano il paesaggio e forniscono supporto alla biodiversità (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013; City of Vancouver, 2016). È fondamentale dimensionare opportunamente il box in funzione della specie vegetale da impiantare, in modo che ci sia sufficiente spazio per la crescita dell'apparato radicale e non sia necessario prevedere la loro sostituzione ogni 5-10 anni per ovviare, appunto, al deperimento delle piante per mancanza di spazio (UACDC, 2010).

Si può inserire uno strato di accumulo sotterraneo (CIRIA, 2015) e si può accumulare acqua in superficie, se questo non compromette la salute dell'albero, che deve essere allontanata entro 48 h (CIRIA, 2015).

Queste soluzioni consentono la posa di pavimentazione intorno agli alberi e supportano i carichi esercitati da persone e veicoli evitando la compattazione del suolo, in modo da fornire un ambiente ottimale per la crescita radicale e l'infiltrazione dell'acqua, che viene assorbita dal substrato e riutilizzata dagli alberi (University of Tennessee, 2013; CIRIA, 2015). Specialmente con l'utilizzo di suoli strutturali e strutture modulari, gli alberi crescono più velocemente e sono più sani, con conseguenti maggiori prestazioni in termini sia di servizi ecosistemici, sia di intercettazione e riutilizzo dell'acqua (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013; TRCA, 2010; Carlson, et al., 2013; City of Vancouver, 2016).

I suoli strutturali, composti all'80% in volume da aggregati grossolani, mantengono porosità e permeabilità adeguate anche dopo il compattamento necessario per la posa delle pavimentazioni; negli spazi vuoti tra le diverse particelle degli aggregati è presente il substrato, occupante il restante 20% in volume, adatto alla crescita degli apparati radicali (Carlson, et al., 2013). Le strutture modulari, invece, consentono di occupare con il substrato scelto il 90% del volume occupato (Carlson, et al., 2013).





Sono accostabili e impilabili per coprire superfici e profondità diverse e ottenere i volumi necessari per la crescita degli apparati radicali e la gestione delle acque meteoriche (TRCA, 2010; City of Edmonton, 2014). Entrambe le soluzioni vengono coperte in superficie con pavimentazioni e, in prossimità dell'albero, griglie per alberature (CIRIA, 2015). L'acqua penetra attraverso pavimentazioni permeabili, filtrazione laterale dall'aiuola dell'albero o tubi di drenaggio (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016).

Fig. 3.3: messa a dimora di alberi in area pavimentata dotata di sistemi modulari (a sinistra) e gli stessi alberi a realizzazione ultimata (a destra); si noti l'ottima salute delle piante nonostante la superficie risulti completamente pavimentata.

Fonti: [www.flickr.com](http://www.flickr.com); <https://images.squarespace-cdn.com>.



## Superficie impermeabile servita

Per il dimensionamento dei box alberati è consigliabile non superare il rapporto di 5:1 tra superficie impermeabile e box (City of Vancouver, 2016).

## Struttura e componenti

I box alberati filtranti sono, nella forma più semplice, composti da un box, a fondo aperto o chiuso, contenente uno strato di drenaggio e il substrato di crescita, nel quale viene messo a dimora un albero, ma sono realizzabili anche con suoli strutturali o apposite strutture modulari da inserire al di sotto delle pavimentazioni. Possono inoltre essere collegati tra di loro formando alberate lineari in cui l'acqua può muoversi da un box all'altro (CIRIA, 2015).

## Punti d'ingresso dell'acqua

L'acqua entra nel box alberato attraverso apposite caditoie, ricavate nella parete del box stesso o tombini (Fig. 3.4) (Philadelphia Water Department, 2014). Alternativamente, può entrare attraverso la griglia posta in superficie o le pavimentazioni permeabili poste a copertura del box (CIRIA, 2015).

Fig. 3.4: tombino posto lateralmente al box filtrante e caditoia ricavata sul lato dello stesso.

Fonte: [www.ecolandscaping.org](http://www.ecolandscaping.org)





## Aree di pretrattamento

Nel caso in cui il box alberato sia inserito in un'area il cui run-off abbia un alto carico di sedimenti, si possono inserire pozzetti di pretrattamento (Fig. 3.5), nei quali l'acqua entra prima di essere convogliata nel box e i sedimenti più grossolani possono decantare. Questo consente di ridurre il rischio di intasamento della superficie del substrato e agevola le attività di manutenzione per la rimozione dei sedimenti accumulati.

## Box

Generalmente sono moduli prefabbricati a fondo chiuso o aperto in calcestruzzo (Fig. 3.6), già provvisti dell'apertura in cui alloggiare la griglia superficiale ed eventualmente della caditoia laterale per l'ingresso dell'acqua.

Quando si formano aiuole lineari per filari (Fig. 3.7), la larghezza minima consigliata delle stesse è di 2,5 m per singoli filari e da 3,5 a 5,5 per doppi filari (DDC, 2005). Utilizzando le strutture modulari si rende necessario un volume di substrato di 0,54 m<sup>3</sup> per ogni m<sup>2</sup> di proiezione della chioma degli alberi a maturità, mentre per i suoli strutturali, in cui l'80% del volume è occupato da aggregati non utilizzabili dalle piante, questo valore sale a 2,7 m<sup>3</sup> (Carlson, et al., 2013).

[IN ALTO] Fig. 3.5: pozzetto di pretrattamento posto lateralmente al box alberato.

Fonte: [www.conteches.com](http://www.conteches.com)

[AL CENTRO] Fig. 3.6: box prefabbricati in calcestruzzo.

Fonte: [www.lid-stormwater.net](http://www.lid-stormwater.net)

[IN BASSO] Fig. 3.7: disposizione di strutture modulari per la realizzazione di un box alberato per filare.

Fonte: [www.deeprooot.com/](http://www.deeprooot.com/)





[A LATO] Fig. 3.8: griglia superficiale.

Fonte: [www.ecolandscaping.org](http://www.ecolandscaping.org)

Fonte: [www.deeprooot.com/](http://www.deeprooot.com/)

[SOTTO] Fig. 3.9: bacino all'interno del box alberato.

Fonte: <https://stormwater.wef.org>



## Protezioni superficiali

La superficie dell'aiuola è di norma protetta da griglie per alberature (Fig. 3.8), ad opportuna distanza dal fusto dell'albero e non a diretto contatto con il substrato (DDC, 2005). Nel caso di suoli strutturali e strutture modulari, la copertura si può effettuare anche con pavimentazioni permeabili.

## Bacino

Le acque di run-off si raccolgono nella parte sommitale del box, vuota, nel bacino che si delinea tra la quota delle pavimentazioni circostanti e la superficie del substrato (Fig. 3.8).

## Vegetazione

All'interno del box viene messo a dimora un singolo albero (o, nel caso di più box collegati, un filare) (CIRIA, 2015).

## Strato di pacciamatura

È consigliabile includere uno strato di pacciamatura spesso 5-10 cm (City of Vancouver, 2016; UACDC, 2010).

## Substrato

Il substrato, profondo 30-90 cm (UACDC, 2010), consente la messa a dimora dell'albero e filtra l'acqua di run-off. Maggiore è la profondità, maggiore è la capacità di assorbimento e trattamento dell'acqua (City of Vancouver, 2016).

Il volume di substrato dev'essere tale da consentire la crescita e la sopravvivenza della specie arborea scelta; a tal proposito, si può fare riferimento alla tabella sottostante.

## Strato di transizione

Può essere presente al fine di limitare il lavaggio e la migrazione di particelle fini dal substrato allo strato di drenaggio; ha uno spessore di circa 10 cm (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

## Strato di drenaggio e accumulo

Al di sotto del substrato si inserisce uno strato di drenaggio e accumulo in ghiaia, in cui si possono inserire tubi di drenaggio per aiutare l'allontanamento dell'acqua. Questo strato deve essere posto più in profondità rispetto agli strati colonizzati dalle radici, perché queste non devono rimanere a lungo in strati saturi d'acqua, pena asfissia radicale (CIRIA, 2015).

## Troppopieno

È necessario un sistema di uscita dell'acqua qualora il box abbia fondo chiuso, la permeabilità sia tale da causare saturazione del suolo per lunghi periodi (CIRIA, 2015) o venga raccolta troppa acqua nel box. È generalmente realizzato con tubi verticali.

## Rivestimenti

È opportuno inserire uno strato di geotessuto per evitare l'infiltrazione dell'acqua nel sottofondo delle pavimentazioni circostanti o nelle fondamenta di edifici quando necessario (CIRIA, 2015).

| Altezza a maturità (m) | Area di suolo richiesta* (m²) | Distanza colletto - pavimentazione (m) |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| < 8                    | 10                            | 0,6                                    |
| 8 - 15                 | 40                            | 2                                      |
| > 15                   | 80                            | 3                                      |

\* area indicata per substrato con profondità minima di 1 m (2021; DDC, 2005).



## Materiali

### Box

Si può realizzare con calcestruzzo, plastica o acciaio, a patto che la struttura supporti i carichi esercitati sulla pavimentazione soprastante. Sono utilizzabili anche appositi moduli prefabbricati in calcestruzzo a fondo chiuso, venduti già forniti di substrato, strato di drenaggio con relativi tubi e vegetazione, pronti per l'installazione (DNREC, 2016; TRCA, 2010).

### Suoli strutturali

I suoli strutturali sono mix di aggregati grossolani (80% del volume) e substrato minerale (20% del volume) che a seguito del compattamento per la posa in opera mantengono una porosità del 25-30% e permeabilità > 20 mm/h (Carlson, et al., 2013).

Generalmente ci sono tre tipi di suolo strutturale, che si differenziano per composizione e portanza (CIRIA, 2015):

- a base di sabbia, costituiti per la maggior parte da sabbia medio-grossolana (0,2-2 mm) miscelata con compost fine e 2-4% di argilla. Alcuni mix includono vetro riciclato e buoni esempi sono l'Amsterdam Tree Soil e il Rotterdam Tree Soil. Sono adatti per le aree pedonali (CIRIA, 2015);

- a base di aggregati di medie dimensioni, composti per lo più da aggregati angolosi di granulometria 2,5-10 cm; sono molto variabili, ma generalmente contengono suolo al 20-35%. Si possono compattare fino al 95% della massima densità da asciutti pur mantenendo una buona porosità, perché gli spazi vuoti (10-25% del volume), riempiti dal suolo, vengono protetti dalla compattazione dagli aggregati stessi. Questi mix sono adatti anche per aree soggette a traffico veicolare leggero (CIRIA, 2015);

- scheletro roccioso (tipo Stockholm system), simili ai secondi, ma con aggregati da 10-15 cm negli strati più profondi e da 6-9 cm in quelli superficiali e con percentuale in volume di spazi vuoti del 10-25%. Sono adatti a supportare anche traffico veicolare pesante (CIRIA, 2015).

### Strutture modulari

Le strutture modulari sono telai in materiale plastico impilabili e accostabili, progettate in modo da costituire una barriera anti-radici o uno strato d'aria tra la sommità del substrato e la pavimentazione soprastante, evitando la crescita delle radici a ridosso della stessa (City of Vancouver, 2016).

## Substrato

Il suolo locale è spesso inadatto, per via della permeabilità troppo bassa, per cui è necessario ammetterlo o sostituirlo con un mix costituito da 80% sabbia e 20% compost (DNREC, 2016; City of Vancouver, 2016). In generale il substrato deve essere omogeneo in tutto il box, senza grosse differenze tra i diversi strati, con un buon contenuto di sostanza organica (5%) e permeabilità di 100-300 mm/h (CIRIA, 2015).

### Strato di drenaggio

È fondamentale che il materiale utilizzato per questo strato abbia una permeabilità maggiore rispetto a quelli costituenti gli strati soprastanti (CIRIA, 2015).

Generalmente è composto da ghiaia lavata di granulometria fino a 40-50 mm (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010) e con contenuto di particelle fini inferiore alle 0,1% (City of Edmonton, 2014).

## Vegetazione

Le specie arboree messe a dimora nei box filtranti devono essere adeguate al volume di suolo disponibile all'interno degli stessi e al periodico allagamento. Queste soluzioni consentono di mettere a dimora qualsiasi specie vegetale arborea, anche se le più

performanti in termini di riduzione e depurazione del run-off sono le specie a rapida crescita e longeve, con chioma espansa e fitta, foglie a lamina ampia e tomentose, apparato radicale esteso e tolleranti a siccità, inquinanti e allagamenti (CIRIA, 2015).

## Manutenzione

Una volta attecchita la vegetazione, la manutenzione è quella tipica di un'area verde tradizionale.

La causa maggiore di inefficienza dei box alberati è l'intasamento del substrato, con conseguente riduzione della velocità d'infiltrazione dell'acqua nello strato drenante sottostante. Tali malfunzionamenti, spesso non rilevabili direttamente, si manifestano attraverso fenomeni di ristagno superficiale (CIRIA, 2015).

Si consiglia di effettuare il controllo dei box alberati con cadenza trimestrale nei primi due anni e poi semestrale e dopo eventi meteorici particolarmente intensi, è comunque consigliabile effettuare un ulteriore controllo per individuare eventuali problematiche di erosione e/o costipazione (CIRIA, 2015; DDC, 2005; City of Edmonton, 2014).

È sconsigliabile l'utilizzo di prodotti fitosanitari (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; University of Tennessee, 2013; DDC, 2005).

Siti particolarmente inquinati possono richiedere

attività di manutenzione e sostituzione del substrato più frequenti (City of Edmonton, 2014).

Potrebbe essere necessaria un'irrigazione (in particolare in fase di attecchimento) al bisogno (DDC, 2005; CVC, 2010; DNREC, 2016; CIRIA, 2015; Houston-Galveston Area Council, 2016)

Le operazioni di manutenzione periodica includono:

- controllo e pulizia dei punti di ingresso e uscita dell'acqua e della superficie del box e del troppopieno (CIRIA, 2015; DNREC, 2016; Philadelphia Water Department, 2014; City of Vancouver, 2016; DDC, 2005);
- controlli su sedimentazione e ristagno, calcolo del tempo di svuotamento e controllo dei tubi di drenaggio, ogni tre mesi per i primi due anni dopo l'impianto, in seguito ogni sei mesi o annualmente (DDC, 2005; City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015);
- controllo dello stato fitosanitario delle alberature ed eventuale potatura (CIRIA, 2015; Houston-Galveston Area Council, 2016);
- rimozione delle infestanti indesiderate (CIRIA, 2015);
- reintegrazione dello strato di pacciamatura (CIRIA, 2015; Philadelphia Water Department, 2014; City of Vancouver, 2016);
- rimozione di rifiuti e detriti (CIRIA, 2015; DDC, 2005);
- controllo ed eventuale sistemazione della griglia di copertura in base alla crescita dell'albero (City of Vancouver, 2016).

## Durata di vita

20-50 anni (AAVV, 2013; CVC, 2010; City of Edmonton, 2014).

Dopo un periodo di circa 20 anni dall'impianto, è consigliabile prevedere l'eventuale rimozione e sostituzione del substrato e della vegetazione, nonché di ogni altra componente eccessivamente deteriorata (CIRIA, 2015).

Secondo il Regolamento Regionale, è consigliabile rinnovare periodicamente lo strato filtrante, all'incirca una volta ogni 10 anni, per minimizzare il rischio di ri-mobilizzazione degli inquinanti trattenuti dal substrato<sup>10</sup>.

## Riciclabilità

I sedimenti provenienti da aree residenziali, strade minori e tetti sono generalmente sicuri e possono essere riutilizzati per operazioni di realizzazione di aree verdi, mentre per quelli di strade molto trafficate e aree inquinate devono essere necessariamente testati (CIRIA, 2015).

## Fruibilità è sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

I box consentono l'inserimento di alberi in aree pavimentate, apportando i benefici ecosistemici tipici delle alberature in ambiente urbano.

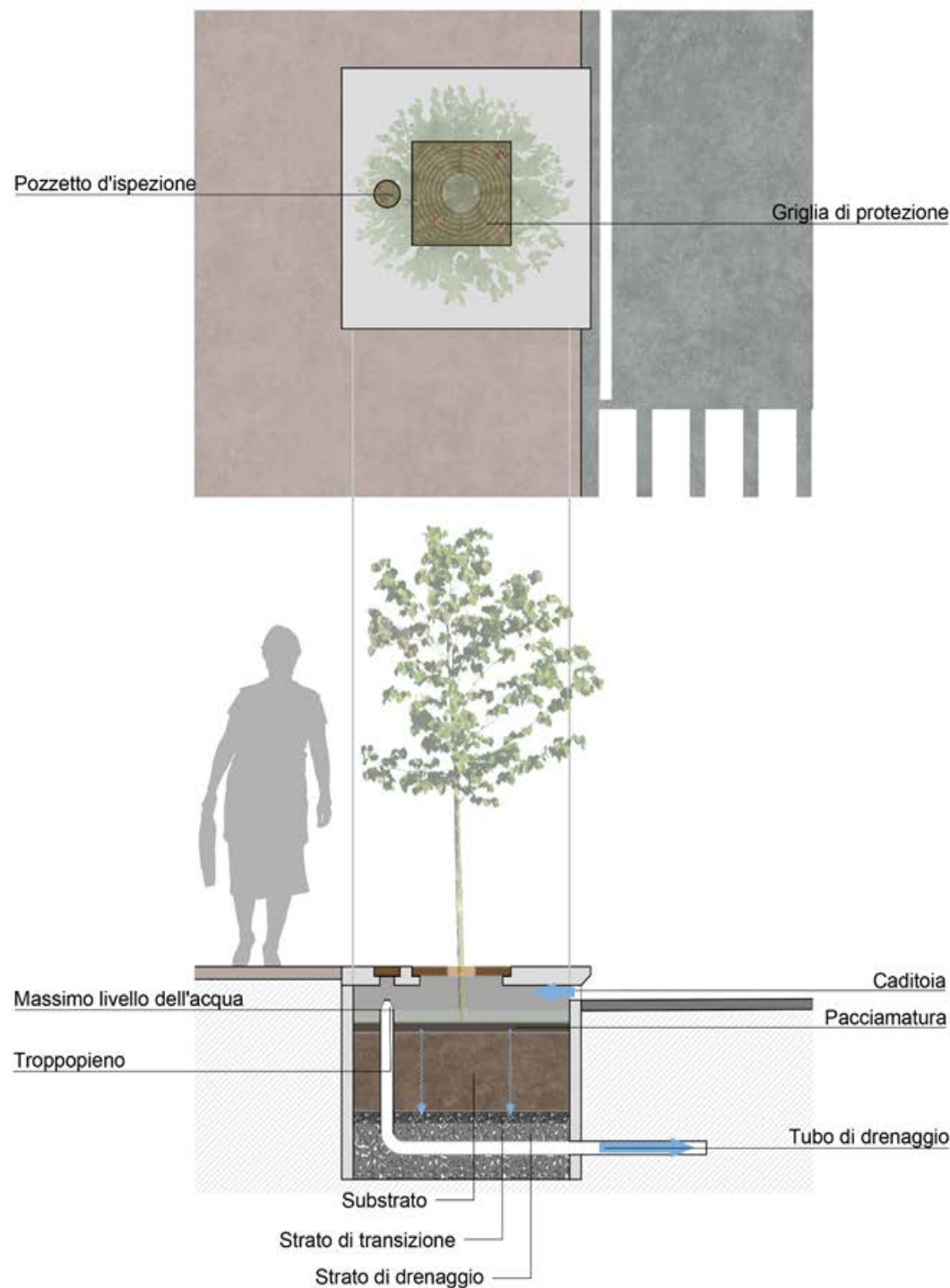
### Sicurezza

È necessario considerare adeguatamente le norme sulle alberature stradali. Gli alberi, inoltre, non devono impedire la visuale ai guidatori (City of Edmonton, 2014; Carlson, et al., 2013; CVC, 2010).

### Costi

Costo di realizzazione: 90-150 €/m<sup>2</sup> (Pelletier, et al., 2011).

Costo di manutenzione: 8-10% del costo di realizzazione (AAVV, 2013; City of Edmonton, 2014).



[AL CENTRO]

Schema costruttivo di box alberato.

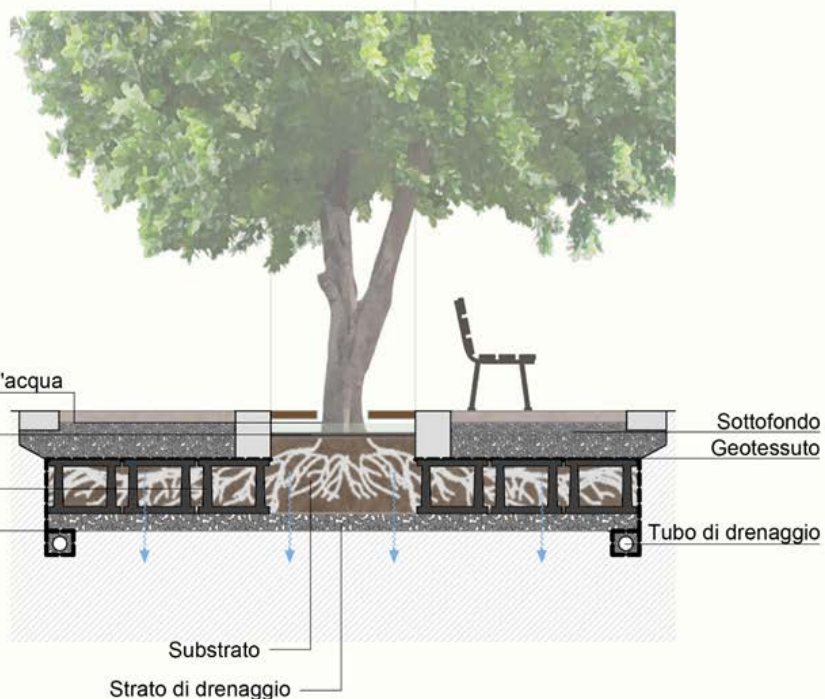
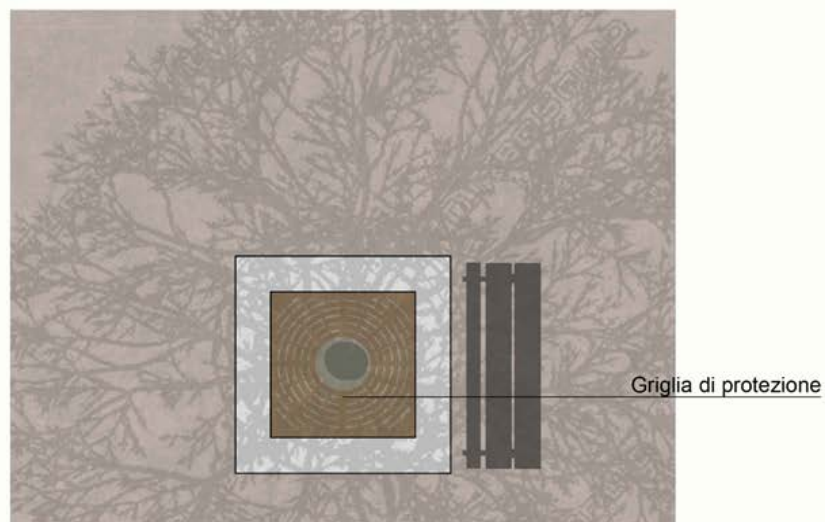
Elaborazione propria. Autore: Raffaele Bonsignori.

[A DESTRA]

Schema costruttivo di pavimentazioni con strutture modulari.

Elaborazione propria. Autore: Raffaele Bonsignori.





## Note

9: "Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell'edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 92).

10: "È bene osservare che lo strato filtrante della struttura adibita all'infiltrazione, così come anche lo strato superficiale di terreno in caso di aree verdi filtranti, è in grado di trattenere una quantità significativa di inquinanti per adsorbimento. È quindi importante che da un lato si esalti al massimo questo fenomeno modificando opportunamente le caratteristiche dello strato filtrante, dall'altro si deve rinnovare periodicamente (indicativamente almeno una volta ogni 10 anni) lo strato filtrante per minimizzare il rischio che gli inquinanti trattenuti siano rimobilizzati e quindi rilasciati in falda." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 59).



LAGHETTI

# Definizione

I laghetti (Fig. 4.1) sono bacini artificiali che trattengono l'acqua in essi convogliata riducendo la portata delle acque di run-off e migliorandone la qualità grazie ai processi di fitodepurazione attuati dalla vegetazione presente (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013).

Sono simili alle aree umide artificiali, dalle quali si distinguono per la maggiore profondità media del bacino, la minor presenza di vegetazione e la minor costituzione di habitat.

Regolazione della portata di run-off  
Trattenimento prolungato (*retention*)  
Trattenimento temporaneo (*detention*)  
Miglioramento della qualità del run-off

Infiltrazione

# Funzioni



## Scala e posizionamento

I laghetti possono presentare grande variabilità in termini di forma e dimensioni, per cui sono utilizzabili in molti contesti e sono generalmente realizzabili in ogni intervento, sia di nuova costruzione sia di riqualificazione, purché vi sia lo spazio necessario (CIRIA, 2015).

Dovendo mantenere uno specchio d'acqua con un livello minimo costante, sono poco adatti ad aree con basse precipitazioni o terreno troppo permeabile (in tal caso, lo si deve compattare o si deve aggiungere uno strato impermeabile), mentre sono ottimi per aree con precipitazioni frequenti (University of

Tennessee, 2013).

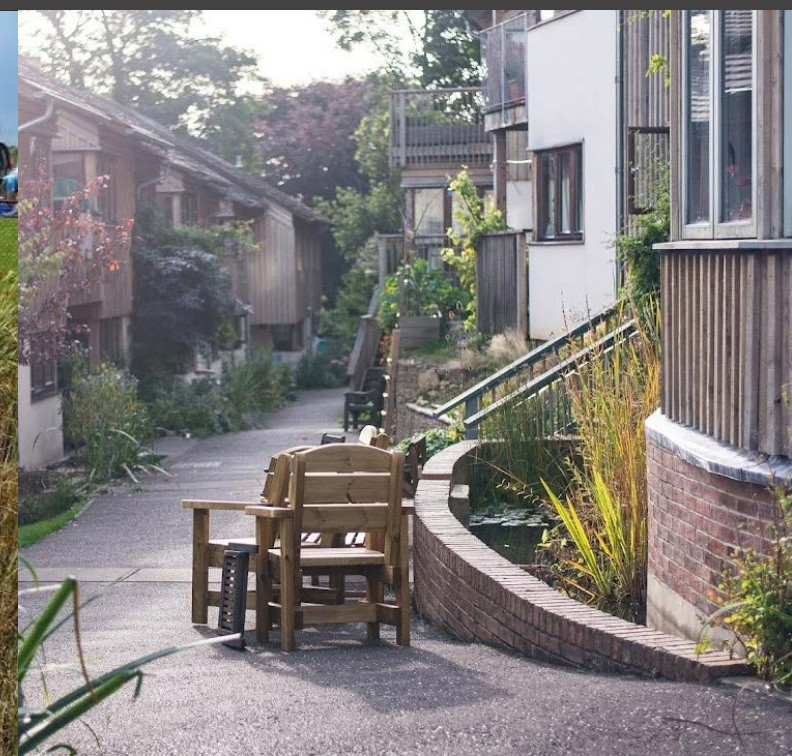
Quando sono costruiti come vasche (Fig. 4.2), adatte ad aree urbane ad alta densità, la pendenza delle sponde e la profondità del bacino devono essere valutate in base alle leggi sulla sicurezza; sponde verticali possono essere adatte in questi contesti, purché la profondità sia bassa, lo stagno sia ben inserito nel contesto e le necessità della fauna selvatica siano rispettate (CIRIA, 2015).

## Sottosuolo/pendenza

La realizzazione di laghetti su suoli carsici o strutturalmente instabili deve essere evitata; la loro realizzazione su suoli in pendenza è fattibile, anche se può risultare molto complicata (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013).

Fig. 4.2: laghetto con sponde vegetate (a sinistra) e realizzato all'interno di una vasca in muratura (a destra).

Fonti: <https://environmentblog.web.unc.edu/>; <https://uk-services.worldorgs.com>



## Corpi idrici naturali e aree circostanti

Non si devono utilizzare corpi idrici naturali già presenti come laghetti per la gestione del run-off, pena un aumento del rischio legato alla presenza di inquinanti, un peggioramento della qualità delle acque e una fluttuazione del livello dell'acqua con conseguenti impatti negativi sulla morfologia e l'ecologia del corpo idrico naturale (CIRIA, 2015). Tuttavia, la loro collocazione vicino a corpi idrici naturali può dare vantaggi in termini di biodiversità (CIRIA, 2015).

Quando possibile, è consigliabile posizionarli in, o vicino a, aree verdi in cui vi è una buona presenza di specie autoctone e/o che fungono da corridoio ecologico e lontano da fonti di luce artificiale, che influiscono negativamente su alcune specie animali (CIRIA, 2015).

## Principio di funzionamento

L'acqua di run-off proveniente dalle superfici impermeabili circostanti viene convogliata nel laghetto. Qui gli inquinanti vengono rimossi attraverso processi di sedimentazione e fitodepurazione, con intensità in funzione del tempo di permanenza dell'acqua all'interno del laghetto stesso e della dimensione del bacino: i bacini più grandi possono

far sedimentare gli inquinanti per un periodo di tempo maggiore e i processi di sedimentazione e fitodepurazione che vi avvengono sono più intensi (CIRIA, 2015; UACDC, 2010). I laghetti richiedono un costante apporto idrico che, insieme alla continua perdita per evapotraspirazione, incentivi il movimento dell'acqua all'interno del bacino, prevenendo fenomeni di stagnazione e la nidificazione di insetti nocivi (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013).

## Superficie impermeabile servita

I laghetti si utilizzano generalmente per gestire il run-off proveniente da bacini non inferiori a 4 ha (UACDC, 2010).

## Struttura e componenti

I laghetti possono essere progettati come bacini naturali, con sponde dolci, vegetate o meno, o come vasche delimitate da sponde in materiale minerale, più adatte a spazi ristretti (CIRIA, 2015).

È consigliabile realizzare aree con profondità diverse all'interno dello stesso bacino, in modo da fornire habitat differenti, e includere, ogni qualvolta possibile, parti profonde 1 m per consentire lo svernamento della fauna selvatica durante inverni particolarmente rigidi. L'inserimento di specie vegetali diverse in

aree a profondità diverse e la creazione di zone con differente irraggiamento solare, grazie alla presenza di alberi sulle sponde, contribuiscono alla formazione di differenti habitat (CIRIA, 2015).

È opportuno progettarli in modo che l'acqua entrandovi si distribuisca gradualmente e uniformemente evitando fenomeni di stagnazione in zone morte e che il flusso d'acqua segua percorsi della maggiore lunghezza possibile, così da massimizzare i processi di sedimentazione. A tal fine, è preferibile che i punti di ingresso e uscita dell'acqua siano il più distanziati possibile e si possono inserire elementi come deflettori e isole al fine di rendere il percorso dell'acqua ancora più lungo (CIRIA, 2015).

L'uso di un aeratore in laghetti con profondità maggiore di 1,5 m, inoltre, favorisce il mantenimento di un ambiente aerobico, necessario per la costituzione e il mantenimento delle forme di vita acquatiche e il controllo dei parassiti e per prevenire l'eutrofizzazione delle acque (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013; CIRIA, 2015).





### Punti di ingresso dell'acqua

L'acqua può entrare in modo diffuso, attraverso per esempio una fascia inerbita, o puntuale, tramite tubi o canali vegetati; nel caso in cui entri attraverso tubi è opportuno prevedere un'area di pretrattamento per ridurre la velocità e il contenuto di sedimenti prima dell'ingresso nello stagno, dissipando il flusso in entrata tramite pietre e barriere antierosione e sommergendo, del tutto o in parte, la sezione del tubo (Figg. 4.3, 4.4) (University of Tennessee, 2013; CIRIA, 2015). In ogni caso, è consigliabile ridurre a uno, o comunque al minimo, i punti di ingresso dell'acqua e devono essere disposti in modo che il percorso dell'acqua verso il punto di uscita sia il più lungo possibile (CIRIA, 2015).

### Aree di pretrattamento

Qualora siano convogliate nel laghetto acque di run-off con elevato carico di sedimenti, è opportuno prevedere la realizzazione di un bacino di pretrattamento in corrispondenza dei punti di ingresso dell'acqua, dove possono depositarsi i sedimenti più grossolani (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013). La dimensione di questo bacino deve essere almeno il 10% dell'area totale di quello principale e può essere sia un bacino a parte sia una porzione del laghetto separata tramite una berma formata da gabbioni riempiti di ciottoli o barriere di roccia (Figg. 4.5, 4.6 e 4.7) (CIRIA, 2015). Oltre a consentire l'immissione di acqua di qualità migliore nel laghetto, il bacino di pretrattamento consente di monitorare facilmente l'accumulo di sedimenti e concentra l'attività di dragaggio in una piccola superficie, minimizzando il disturbo arrecato al laghetto da questa operazione (CIRIA, 2015).

[IN ALTO] Fig. 4.3: tubo per l'ingresso dell'acqua parzialmente sommerso. Fonte: [www.swccanada.com](http://www.swccanada.com)

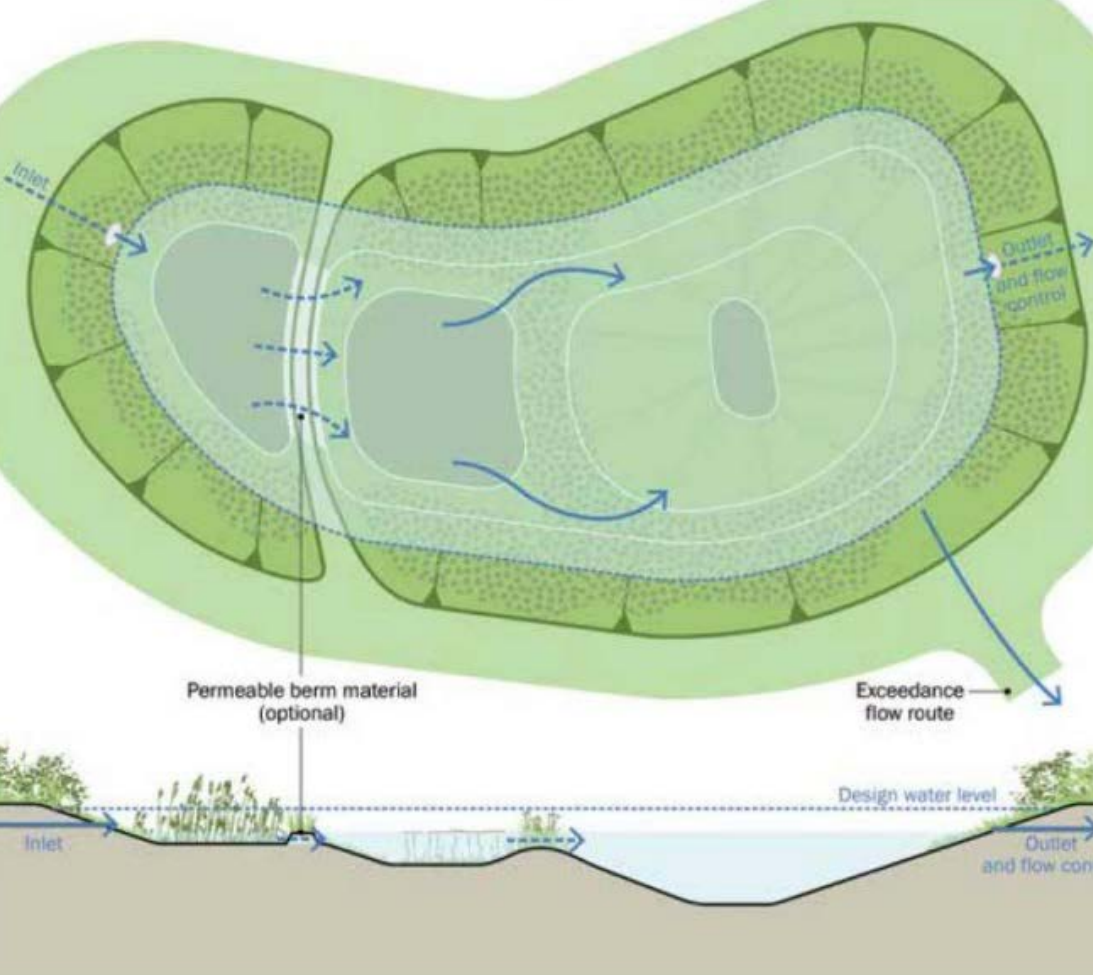
[IN BASSO] Fig 4.4: copertura del suolo in prossimità del punto d'ingresso dell'acqua con sassi per protezione dell'erosione. Fonte: [www.responseenviro.com](http://www.responseenviro.com)

[PAGINA A LATO, IN ALTO A SINISTRA] Fig. 4.5: planimetria e sezione di un laghetto, con disposizione dei punti di ingresso e uscita dell'acqua e del bacino di pretrattamento. Fonte: CIRIA, 2015.

[PAGINA A LATO, IN ALTO A DESTRA] Fig. 4.6: bacino di pretrattamento separato da argine realizzato con ciottoli e copertura in ciottoli anti-erosione in corrispondenza del punto di ingresso dell'acqua. Fonte: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

[PAGINA A LATO, IN BASSO] Fig 4.7: area di pretrattamento costituita da canale vegetato, griglie di protezione e bacino separato da argine ricoperto con ciottoli (in basso). Fonte: [www.richmondhill.ca](http://www.richmondhill.ca)





4





## Volume d'acqua permanente

È il volume d'acqua costantemente presente nel bacino, che in periodi particolarmente siccitosi può diminuire leggermente, dove avviene la maggior parte dei processi di trattamento e si depositano i sedimenti fini (CIRIA, 2015).

In laghetti di grandi dimensioni è preferibile suddividere questo volume in bacini più piccoli, aumentando le prestazioni del sistema in termini di attenuazione del volume di run-off, rimozione degli inquinanti (i sedimenti più pesanti si depositano prima dell'ingresso dell'acqua nell'area principale dello stagno), manutenzione (si possono effettuare interventi in tempi diversi per i diversi bacini) ed ecologia (le aree più profonde ospitano acque più pulite) (CIRIA, 2015).

L'altezza massima consigliata di questo strato d'acqua è di 2 m (laddove si pongano problematiche di sicurezza questo valore scende a 1,2 m), mentre quella minima è di 0,6 m (CIRIA, 2015; UACDC, 2010). Profondità maggiori possono portare a scarsa ossigenazione dell'acqua e anossia, mentre profondità minori espongono il laghetto a un maggiore rischio di fioriture algali ed eccessivo abbassamento del livello dell'acqua in periodi siccitosi. In ogni caso, è buona regola tenere un buon equilibrio tra aree profonde e superficiali, considerando inoltre che le

aree più profonde supportano meno specie vegetali e vegetazione in generale (CIRIA, 2015).

## Volume di attenuazione

È il volume d'acqua accumulabile temporaneamente sopra a quello permanente durante gli eventi meteorici, a cui si deve l'effetto di riduzione della portata di run-off (CIRIA, 2015). L'altezza massima di questo strato aggiuntivo è pari alla differenza tra il livello permanente e il margine inferiore delle strutture di deflusso (University of Tennessee, 2013); è consigliabile un'altezza massima di 0,5 m per laghetti piccoli e medi, aumentabile per bacini più grandi purché non si arrechi danno alle piante (CIRIA, 2015).

## Bacino principale

Il bacino del laghetto deve essere dimensionato in modo tale da poter contenere il volume d'acqua permanente e quello di attenuazione. Il fondo è piatto e la pendenza consigliata per le sponde è del 25-33% (CIRIA, 2015; UACDC, 2010). Tutta la superficie del bacino deve essere rivestita con materiale impermeabile, ancorato lungo tutto il perimetro del laghetto stesso, sopra al quale si pongono 5-15 cm di subsoil o ghiaia; qualora necessario a causa della pendenza delle sponde, è opportuno inserire strutture di trattenimento del subsoil, in modo che questo non

scivoli sullo strato impermeabile sottostante. (CIRIA, 2015)

Qualora si preveda l'inserimento di piante acquatiche nella fascia litorale del laghetto, le sponde possono essere terrazzate per consentire la messa a dimora delle piante e sopra allo strato di subsoil o ghiaia è necessario porre uno strato di topsoil adatto alla crescita di specie acquatiche spesso 10-45 cm (CIRIA, 2015). In alcuni casi può essere necessario ammendare il suolo che costituisce il fondale, evitando, però, di apportare nutrienti in suoli poveri, pena il rischio di fioriture algali ed eutrofizzazione (CIRIA, 2015).

## Sponde

Costituiscono la fascia perimetrale poco profonda (Fig. 4.8), nella quale si inseriscono specie vegetali radicate sul fondo che fitodepurano le acque e forniscono benefici dai punti di vista ecologico e paesaggistico (CIRIA, 2015). La larghezza della fascia vegetata può variare in base alle dimensioni dello stagno e la tipologia e densità di vegetazione in base a criteri di sicurezza ed estetici (CIRIA, 2015).

## Fascia litorale

È l'area pianeggiante posta intorno al laghetto, necessaria sia per motivi di sicurezza sia per consentire le operazioni di manutenzione (CIRIA, 2015). Sono consigliate una larghezza minima di 3,5 m e una pendenza massima del 6,6% e questi valori possono variare in base allo spazio disponibile, al tipo di accesso previsto e ai macchinari per la manutenzione utilizzati (CIRIA, 2015)

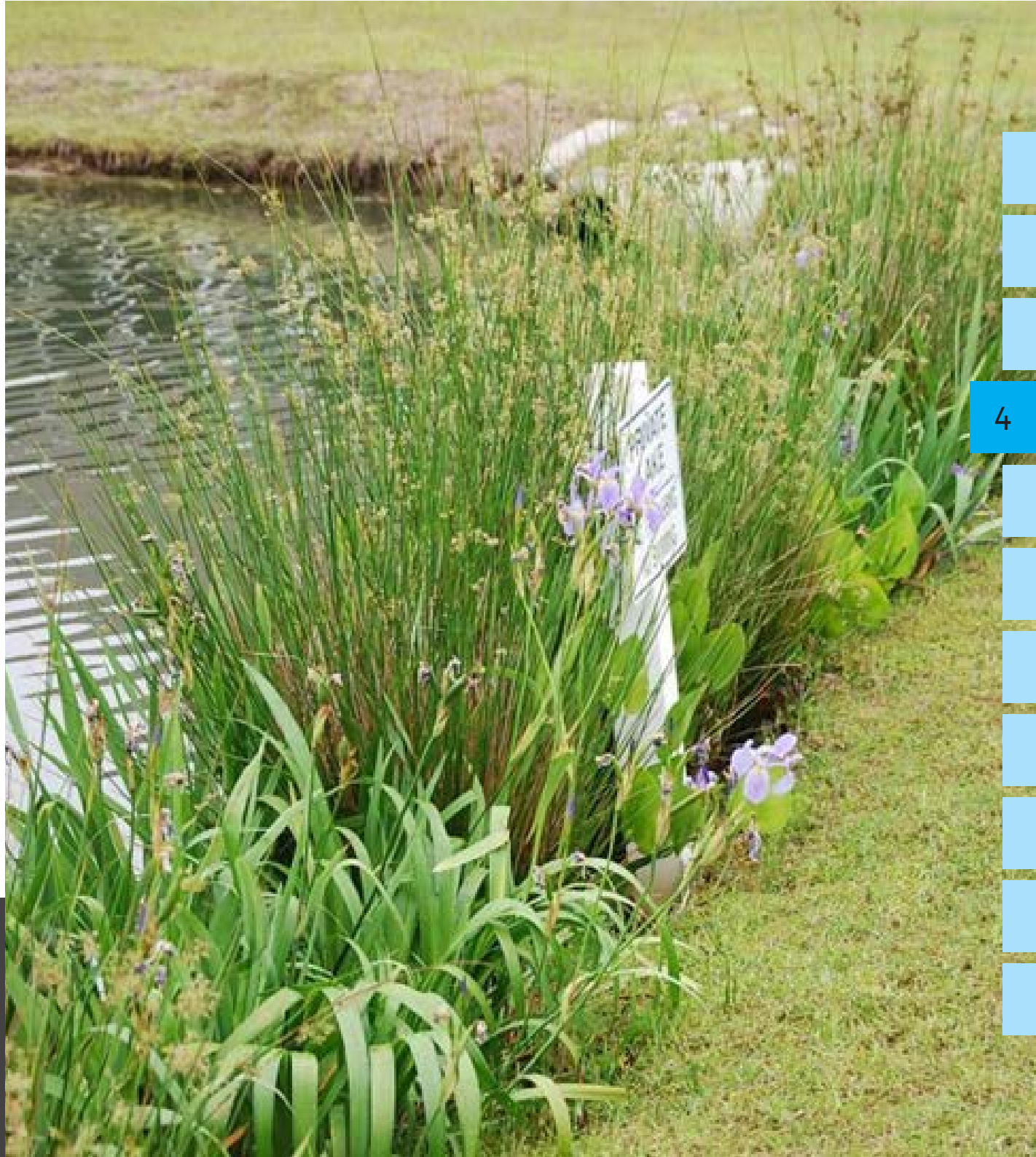
La parte più prossima al bacino può avere pendenza maggiore, fino al 30% (CIRIA, 2015).

## Trooppieno

È necessario prevedere un percorso per il deflusso dell'acqua per gestire le acque di eventi meteorici il cui volume eccede la capacità di accumulo del laghetto e nel caso di otturazione delle strutture per il deflusso dell'acqua. Per laghetti di piccole dimensioni sono generalmente sufficienti canali inerbiti, mentre per quelli più grandi si possono utilizzare stramazzi o tubi. Le strutture di trooppieno devono essere il più vicino possibile ai punti di ingresso dell'acqua (CIRIA, 2015).

Fig.4.7: fascia litorale inerbita e con specie acquatiche sulle sponde.

Fonte: <https://hgic.clemson.edu>





## Punti di uscita dell'acqua

A questo scopo si possono utilizzare box appositi (Figg. 4.8, 4.9), tombini, canali di scolo e stramazzi, ai quali è necessario aggiungere strutture di controllo del flusso in uscita per regolare il livello dell'acqua all'interno del laghetto. L'uso di griglie è sconsigliato per via del rischio di intasamento, ma qualora siano necessarie per motivi di sicurezza è opportuno strutturarle in modo che non riducano il flusso d'acqua in uscita. Può essere inoltre opportuno inserire un sistema di riduzione della velocità del flusso in uscita per ridurre l'erosione a valle del punto di scolo. (CIRIA, 2015).

La parte di bacino in prossimità dei punti di uscita dell'acqua deve essere la più profonda, in modo da ridurre il rischio di ri-sospensione dei sedimenti e mitigare eventuali problemi dovuti all'immissione di acqua a temperature più alte nei corpi idrici a valle (CIRIA, 2015).

## Vegetazione

La vegetazione svolge processi di fitodepurazione e promuove quelli di sedimentazione, rallenta il flusso dell'acqua, aiuta a stabilizzare le sponde e a prevenirne l'erosione e supporta la fauna locale. Ogni qualvolta possibile è consigliabile inserire piante sia nella fascia litorale e sulle sponde, sia nelle parti poco

profonde all'interno del bacino (CIRIA, 2015). L'uso di vegetazione fitta aiuta l'adesione degli inquinanti alle piante, la degradazione aerobica degli inquinanti e la stabilizzazione dei sedimenti prevenendone la rimobilizzazione, ma è sconsigliabile un sesto d'impianto fitto iniziale, per lasciare spazio alle specie spontanee che colonizzerebbero naturalmente le parti vegetate del laghetto (CIRIA, 2015).

Si possono inserire piante acquatiche radicate direttamente nel substrato in tutte le aree con una profondità massima del livello d'acqua permanente di 40 cm. Per profondità maggiori, occorre mettere a dimora le piante all'interno di contenitori (CIRIA, 2015).

## Rivestimenti

Il rivestimento è necessario per il mantenimento del volume d'acqua permanente. Può essere realizzato con diversi materiali e deve essere coperto con almeno 30 cm di substrato (CIRIA, 2015).



Figg. 4.8 e 4.9: box in calcestruzzo con funzione di troppopieno dotato di griglia di protezione (sopra) e calcestruzzo con funzione di struttura di efflusso e di troppopieno, dotato di pozzetto per ispezione e manutenzione (sotto). Fonti: <https://acfenvironmental.com>; <https://hgic.clemson.edu>

## Materiali

### Rivestimenti

I teli impermeabilizzanti, necessari al mantenimento del volume d'acqua permanente, possono essere di diversi materiali. I teli geosintetici in argilla, costituiti da uno strato di bentonite racchiuso tra due di geotessuto, tendono a essere meno stabili per via della loro struttura e devono essere protetti dalla disidratazione. Le geomembrane, come ad esempio quelle in butile, devono invece essere protette tra due strati di geotessuto.

Nel caso in cui si utilizzi geotessuto in argilla è necessario uno spessore di almeno 50 cm dello stesso e di almeno 100 cm di subsoil e topsoil al di sopra. La permeabilità minima dell'argilla compattata deve essere  $1 \times 10^{-9}$  m/s (CIRIA, 2015).

### Argini

Qualora siano necessari riempimenti degli argini si deve utilizzare suolo naturale privo di inquinanti e nutrienti che potrebbero essere rilasciati nell'acqua (CIRIA, 2015).

## Manutenzione

Nei laghetti sono necessarie operazioni di manutenzione ordinaria per assicurare ossigenazione dell'acqua e mantenimento in salute della vegetazione (UACDC, 2010). Rifiuti, detriti e sedimenti devono essere rimossi periodicamente, insieme a eventuali specie invasive, ma solo in un massimo del 25-30% del bacino ogni anno, per evitare conseguenze negative sulla biodiversità (CIRIA, 2015; UACDC, 2010).

Occorre aerare l'acqua frequentemente, controllare e pulire i punti di ingresso e uscita dell'acqua dopo gli eventi meteorici e dragare ove necessario quando l'accumulo di sedimenti di fa consistente (University of Tennessee, 2013).

Non devono essere utilizzati fertilizzanti nelle aree circostanti per prevenire l'eutrofizzazione delle acque (University of Tennessee, 2013).

Manutenzione mensile:

- rimozione dei rifiuti (CIRIA, 2015; UACDC, 2010);
- sfalcio del prato in aree fruibili (durante la stagione di crescita) (CIRIA, 2015);
- rimozione delle specie aggressive o invasive (per i primi tre anni, poi al bisogno) (CIRIA, 2015);
- controllo di punti di ingresso e uscita dell'acqua e di qualsiasi struttura possa intasarsi (CIRIA, 2015);
- controllo della qualità dell'acqua (da maggio a

ottobre) (CIRIA, 2015).

Manutenzione semestrale:

- sfalcio dei prati stabili (primavera prima della stagione di nidificazione e autunno) (CIRIA, 2015);
- controllo dell'accumulo di sedimenti e della loro qualità (CIRIA, 2015);
- controllo di ogni elemento meccanico (ad esempio saracinesche) (CIRIA, 2015).

Manutenzione annuale:

- sfalcio manuale di piante acquatiche sommerse ed emergenti ad un'altezza minima di 10 cm dal fondale per massimo il 25% dell'area (CIRIA, 2015);
- rimozione del 25% della vegetazione ripariale fino un minimo di 1 m sopra al livello dell'acqua (CIRIA, 2015);
- rimozione della vegetazione morta prima dell'inizio della stagione vegetativa (CIRIA, 2015).

Manutenzione pluriennale:

- rimozione dei sedimenti da ogni bacino di pretrattamento (ogni cinque anni o al bisogno) (CIRIA, 2015);
- rimozione dei sedimenti e delle piante da un quarto del bacino, escludendo i bacini di pretrattamento (ogni cinque anni o al bisogno) (CIRIA, 2015).

Manutenzione straordinaria:

- rimozione dei sedimenti quando il volume del bacino è ridotto del 20% (ogni 25-50 anni se è previsto un adeguato pretrattamento delle acque) (CIRIA, 2015).

Azioni di ripristino:

- riparazione di danni da erosione o di qualsiasi altra natura (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- integrazione della vegetazione mancante (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- aerazione dell'acqua al manifestarsi di fenomeni di eutrofizzazione (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- sistemazione delle barriere antierosione (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- riparazione/ripristino di strutture di ingresso e uscita dell'acqua e troppopieno (al bisogno) (CIRIA, 2015).

## Durata di vita

> 20 anni (AAVV, 2013).

## Riciclabilità

I sedimenti estratti dai laghetti derivati da run-off di aree residenziali, strade comuni e tetti possono essere smaltiti senza particolari problematiche, in accordo con i regolamenti locali. L'analisi chimica dei sedimenti può comunque essere richiesta per verificarne

la qualità. I sedimenti derivati da run-off di aree industriali, invece, necessitano obbligatoriamente di un'analisi chimica.

Nella maggior parte dei casi, quando la qualità dei sedimenti è buona, si possono riutilizzare in loco per la realizzazione di aree verdi (CIRIA, 2015).

## Fruibilità è sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

I laghetti, quando correttamente progettati e gestiti, sono molto attrattivi esteticamente e forniscono grande supporto alla fauna locale (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013). Devono essere inseriti nel contesto in modo che siano visibili dai fruitori e non nascosti, in modo da renderli elementi di pregio: l'accettazione dei laghetti da parte della popolazione è fortemente correlata al loro aspetto, al loro inserimento nell'area e alla loro fruibilità (CIRIA, 2015).

### Sicurezza

I laghetti, tuttavia, possono porre rischi per la sicurezza.

L'accesso ad aree poco profonde e vegetate rende più fruibili i laghetti, senza porre particolari rischi, mentre deve essere impedito l'accesso ad eventuali stramazzi

o strutture verticali con dislivello superiore a 1,2 m. In ogni caso, è sempre consigliabile realizzare i laghetti con sponde a bassa pendenza ed evitare bruschi dislivelli (CIRIA, 2015). La presenza di vegetazione nella fascia litorale previene l'ingresso delle persone nei laghetti e fornisce un filtro tra le aree frequentate dalla popolazione e l'habitat della fauna locale; alcune porzioni delle sponde, comunque, devono essere lasciate libere per consentire il movimento della fauna e non si deve nascondere la visuale delle sponde nelle aree fruibili, per consentire la supervisione dei bambini da parte degli adulti (CIRIA, 2015).

L'uso di recinzioni può ridurre il contributo paesaggistico-ricreativo; nel momento in cui queste si rendessero necessarie, sarebbe opportuno posizionarle distanti dai margini del laghetto e combinarle con la vegetazione (CIRIA, 2015).

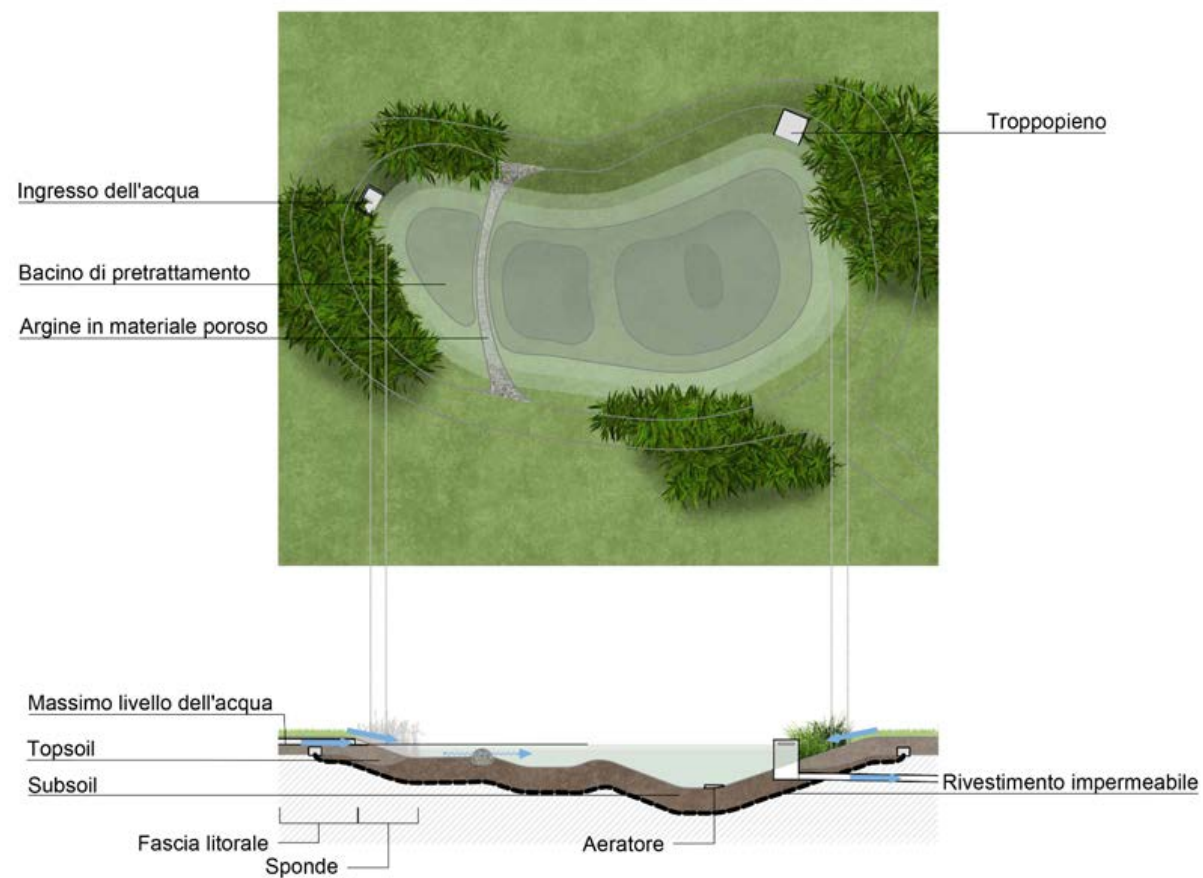
Può essere necessario, infine, installare cartelli informativi circa l'eventuale divieto di pesca e i rischi correlati alla fruizione dei laghetti (CIRIA, 2015).

## Costi

Costo di realizzazione: 4,5 €/m<sup>3</sup> (AAVV, 2013).

Costi di manutenzione annuale: 12% dei costi di realizzazione (AAVV, 2013).





Schema costruttivo di laghetto.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.



AREE UMIDE



# Definizione

Le aree umide artificiali (Fig. 5.1) sono bacini con un'alta percentuale di aree poco profonde, le quali promuovono la crescita di piante radicate sul fondo, una forte presenza di vegetazione e un elevato valore in termini di biodiversità. Ospitano uno specchio d'acqua permanente e raccolgono e trattengono l'acqua di run-off, riducendone la portata e migliorandone la qualità tramite processi di sedimentazione e fitodepurazione a carico della vegetazione presente, componente fondamentale (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013; Houston-Galveston Area Council, 2016; City of Vancouver, 2016)

Regolazione della portata di run-off  
Miglioramento della qualità del run-off  
Trattenimento prolungato (*retention*)  
  
Trattenimento temporaneo (*detention*)  
Infiltrazione

# Funzioni

[PAGINA A FIANCO] Fig. 5.1: area umida artificiale.

Fonte: <https://stormwater.pca.state.mn.us/>



## Scala e posizionamento

Le aree umide (Figg. 5.2, 5.3) possono essere molto variabili in termini di forma e dimensioni, per cui sono utilizzabili in molti contesti e sono generalmente realizzabili in ogni intervento, sia di nuova costruzione sia di riqualificazione, purché vi sia lo spazio necessario (CIRIA, 2015; DDC, 2005).

Dovendo mantenere uno specchio d'acqua con un livello minimo costante, sono poco adatte ad aree con basse precipitazioni o terreno troppo permeabile (in tal caso, lo si deve compattare o si deve aggiungere uno strato impermeabile), mentre sono ottimi per aree con precipitazioni frequenti (University of

Tennessee, 2013).

Quando le aree umide sono costruite come vasche in aree urbane ad alta densità la pendenza delle sponde e la profondità del bacino devono essere valutate in base alle leggi in materia di sicurezza; sponde verticali possono essere adatte in questi contesti, purché la profondità sia bassa, l'area umida sia ben inserita nel contesto e le necessità della fauna selvatica siano rispettate (CIRIA, 2015).

Per contesti in cui lo spazio disponibile è ridotto, inoltre, le aree umide possono essere realizzate scavando piccoli bacini in prossimità della falda, così da mantenere un flusso d'acqua continuo, o come trincee riempite di ciottoli e specie vegetali acquatiche

con uno specchio d'acqua permanente. Entrambe queste ultime tipologie sono molto efficienti nella rimozione degli inquinanti, ma è opportuno fornire sempre un'area di pretrattamento (DDC, 2005).

## Sottosuolo/pendenza

La realizzazione di aree umide su suoli carsici o strutturalmente instabili deve essere evitata; la loro realizzazione su suoli in pendenza è fattibile, anche se può risultare molto complicata (CIRIA, 2015).

Corpi idrici naturali e aree circostanti

Non si devono utilizzare corpi idrici naturali già presenti come laghetti per la gestione del run-off,



Fig. 5.2: area umida artificiale con sponde vegetate.

Fonte: <https://www.cleanwateriowa.org/>



pena un aumento del rischio legato alla presenza di inquinanti, un peggioramento della qualità delle acque e una fluttuazione del livello dell'acqua con conseguenti impatti negativi sulla morfologia e l'ecologia del corpo idrico naturale (CIRIA, 2015). Tuttavia, la loro collocazione vicino a corpi idrici naturali può dare vantaggi in termini di biodiversità (CIRIA, 2015).

Quando possibile, è consigliabile posizionarli in, o vicino a, aree verdi in cui vi è una buona presenza di specie autoctone e/o che fungono da corridoio ecologico e lontano da fonti di luce artificiale, che influiscono negativamente su alcune specie animali (CIRIA, 2015).

## Principio di funzionamento

L'acqua di run-off proveniente dalle superfici impermeabili circostanti viene convogliata nell'area umida. Qui gli inquinanti vengono rimossi attraverso processi di sedimentazione e fitodepurazione (CIRIA, 2015; DDC, 2005; UACDC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; Philadelphia Water Department, 2014), con intensità in funzione del tempo di permanenza dell'acqua all'interno del bacino (UACDC, 2010) e della dimensione dello stesso: i bacini più grandi possono far sedimentare gli inquinanti per un periodo di tempo maggiore e i processi di sedimentazione e fitodepurazione che vi avvengono sono più intensi

(CIRIA, 2015). Le aree umide richiedono un costante apporto idrico che, insieme alla continua perdita per evapotraspirazione, incentiva il movimento dell'acqua al loro interno, prevenendo fenomeni di stagnazione e la nidificazione di insetti nocivi (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013). In caso di grande disponibilità idrica, le aree umide possono non avere fondo impermeabilizzato e consentire l'infiltrazione dell'acqua nel terreno (Philadelphia Water Department, 2014; UACDC, 2010).

Fig. 5.3: area umida artificiale con sponde in calcestruzzo in contesto fortemente urbanizzato.

Fonte: <https://iwa-network.org>



## Superficie impermeabile servita

Le aree umide si utilizzano generalmente per gestire il run-off proveniente da bacini scolanti di 4 – 10 ha (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013).

## Struttura e componenti

Le aree umide possono essere progettate sia come bacini naturali, con sponde dolci, vegetate o meno, sia come vasche delimitate da sponde in materiale minerale, più adatte a spazi ristretti (CIRIA, 2015).

L'inserimento di specie vegetali diverse in aree a profondità diverse e la creazione di zone con differente irraggiamento solare, grazie alla presenza di alberi sulle sponde, contribuiscono alla formazione di differenti habitat e la presenza di aree profonde 1 m consente lo svernamento della fauna selvatica durante inverni particolarmente rigidi (CIRIA, 2015).

È opportuno progettarle in modo che l'acqua entrandovi si distribuisca gradualmente e uniformemente evitando fenomeni di stagnazione in zone morte e che il flusso d'acqua segua percorsi della maggiore lunghezza possibile, così da massimizzare i processi di sedimentazione. A tal fine, è preferibile che i punti di ingresso e uscita dell'acqua siano il più distanziati possibile (CIRIA, 2015).

L'uso di un aeratore, inoltre, favorisce il mantenimento

di un ambiente aerobico, necessario per la costituzione e il mantenimento delle forme di vita acquatiche e il controllo dei parassiti e per prevenire l'eutrofizzazione delle acque (UACDC, 2010; University of Tennessee, 2013).

## Punti di ingresso dell'acqua

L'acqua può entrare in modo diffuso, attraverso per esempio una fascia inerbata, o puntuale, tramite tubi o canali vegetati; nel caso in cui entri attraverso tubi è opportuno prevedere un bacino di pretrattamento per ridurre la velocità e il contenuto di sedimenti prima dell'ingresso nello stagno, dissipando il flusso in entrata tramite pietre e barriere antierosione e sommergendo, del tutto o in parte, la sezione del tubo (University of Tennessee, 2013; CIRIA, 2015; Philadelphia Water Department, 2014). In ogni caso, è consigliabile ridurre a uno, o comunque al minimo, i punti di ingresso dell'acqua e questi devono essere disposti in modo che il percorso dell'acqua verso il punto di uscita sia il più lungo possibile (CIRIA, 2015).

## Aree di pretrattamento

Qualora siano convogliate nell'area umida acque di run-off con elevato carico di sedimenti è opportuno prevedere la realizzazione di un bacino di pretrattamento in corrispondenza dei punti di ingresso dell'acqua, dove possono depositarsi i sedimenti più grossolani (CIRIA, 2015; DDC, 2005). La dimensione di questo bacino deve essere almeno il 10% dell'area totale di quello principale e può essere sia un bacino a parte sia una porzione dell'area umida separata tramite una berma formata da gabbioni riempiti di ciottoli o barriere di roccia. (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016).

Oltre a consentire l'immissione di acqua di qualità migliore, il bacino di pretrattamento consente di monitorare facilmente l'accumulo di sedimenti e concentra l'attività di dragaggio in una piccola superficie, minimizzando il disturbo arrecato da quest'operazione all'area umida (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013; DDC, 2005).



## Volume d'acqua permanente

È il volume d'acqua costantemente presente nel bacino, che in periodi particolarmente siccitosi può diminuire leggermente, dove avviene la maggior parte dei processi di trattamento e si depositano i sedimenti fini (CIRIA, 2015).

In aree umide di grandi dimensioni è preferibile suddividere questo volume in bacini più piccoli, aumentando le prestazioni del sistema in termini di attenuazione del run-off, rimozione degli inquinanti (i sedimenti più pesanti si depositano prima dell'ingresso dell'acqua nell'area principale dello stagno), manutenzione (si possono effettuare interventi in tempi diversi per i diversi bacini) ed ecologia (le aree più profonde ospitano acque più pulite) (CIRIA, 2015). L'altezza massima consigliata di questo strato d'acqua è di 2 m (laddove si pongano problematiche di sicurezza questo valore scende a 1,2 m), mentre quella minima è di 0,6 m. Profondità maggiori possono portare a scarsa ossigenazione dell'acqua e anossia, mentre profondità minori espongono l'area umida a un maggiore rischio di fioriture algali ed eccessivo abbassamento del livello dell'acqua in periodi siccitosi. In ogni caso, è buona regola tenere un buon equilibrio tra aree profonde e superficiali, considerando inoltre che le aree più profonde supportano meno specie vegetali e vegetazione in generale (CIRIA, 2015).

## Volume di attenuazione

È il volume d'acqua accumulabile temporaneamente sopra a quello permanente durante gli eventi meteorici, a cui si deve l'effetto di riduzione della portata di run-off (CIRIA, 2015). L'altezza massima di questo strato aggiuntivo è pari alla differenza tra il livello permanente e il margine inferiore delle strutture di deflusso (University of Tennessee, 2013); è consigliabile un'altezza massima di questo strato di 0,5 m per aree umide di piccole e medie dimensioni, aumentabile per bacini più grandi purché l'innalzamento del livello dell'acqua non arrechi danno alle piante (CIRIA, 2015).

## Bacino principale

Il bacino dell'area umida deve essere dimensionato in modo tale da poter contenere il volume d'acqua permanente e quello di attenuazione. Il fondo è ondulato, con berme di terreno da 2-5 m di larghezza, e la pendenza consigliata per le sponde è del 25-33%, con terrazzamenti che consentono la messa a dimora di piante acquatiche. Tutta la superficie del bacino deve essere rivestita con materiale impermeabile, ancorato lungo tutto il perimetro dell'area umida, sopra al quale si pongono 10-45 cm di topsoil adatto alla crescita di piante acquatiche (CIRIA, 2015; UACDC,

2010). Oltre alle profondità massime consigliate per il volume d'acqua permanente, è in generale consigliabile che almeno il 65% dall'area umida sia meno profondo di 45 cm per consentire una forte presenza di vegetazione (City of Vancouver, 2016). È consigliabile inoltre un rapporto tra lunghezza e larghezza dell'intera area umida tra 3:1 e 5:1 (City of Vancouver, 2016).

## Aree poco profonde

Sono le aree di profondità minore di 0,5 m, nelle quali si possono inserire specie vegetali radicate sul fondo, che fitodepurano le acque e forniscono benefici dai punti di vista ecologico e paesaggistico. Nelle aree umide queste aree non sono presenti solo nella fascia litorale, ma anche in porzioni interne al bacino, con isole e berme di terreno. È sempre fondamentale tenere in considerazione il volume di acqua perso per evapotraspirazione, in modo che le specie acquatiche di queste zone si trovino nelle condizioni ottimali anche nei periodi più asciutti (CIRIA, 2015).

Il bacino delle aree umide può essere suddiviso in quattro zone (Fig. 5.4), diverse per profondità e vegetazione:

- aree profonde, con profondità di 1,2 - 1,8 m, nelle quali avviene la maggior parte dei processi di sedimentazione;
- aree vegetate profonde, con profondità di 0,15 - 0,5

m, in cui si insediano specie acquatiche emergenti;  
- aree vegetate superficiali, con profondità  $< 0,15$  m, in cui si insedia una grande varietà di specie acquatiche;  
- zone di transizione, porzioni sommerse solo durante gli eventi meteorici (DDC, 2005).

Sulla base della struttura del bacino, le aree umide possono invece essere classificate come:

- acquitrini, composti principalmente da aree vegetate con percorsi di flusso sinuosi che promuovono la trattenuta dell'acqua all'interno del bacino e il suo trattamento;
- stagni, composti da uno o più bacini profondi collegati, dai quali l'acqua fluisce all'interno di

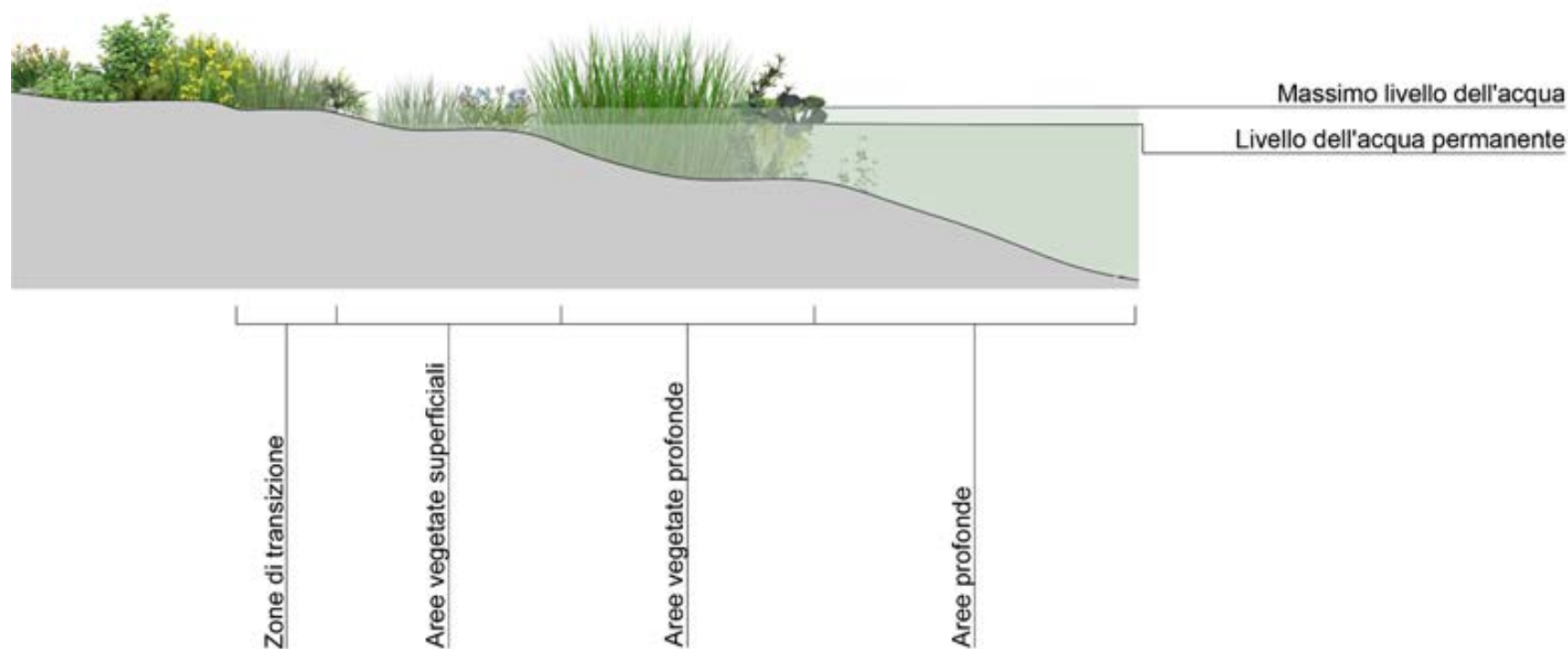
acquitrini; rispetto agli acquitrini consentono di gestire un maggiore volume di run-off a parità di superficie occupata e sono più efficienti nella rimozione degli inquinanti;

- aree umide per il trattenimento prolungato, progettate per trattenere l'acqua nelle zone di transizione sopra alle aree profonde e agli acquitrini per 12-14 ore; sono le più efficienti per gli spazi ristretti (DDC, 2005).

**Fig. 5.4 zone a diversa profondità all'interno delle aree umide.**

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.



## Sponde

Corrispondono all'area pianeggiante posta intorno all'area umida, necessarie sia per motivi di sicurezza sia per consentire le operazioni di manutenzione (CIRIA, 2015). Sono consigliate una larghezza minima di 3,5 m e una pendenza massima del 6,6% e questi valori possono variare in base allo spazio disponibile, al tipo di accesso previsto e ai macchinari per la manutenzione utilizzati (CIRIA, 2015).

La parte più prossima al bacino può avere pendenza maggiore, fino al 30% (CIRIA, 2015).

## Troppopieno

È necessario prevedere un percorso per il deflusso dell'acqua per gestire le acque di eventi meteorici il cui volume eccede la capacità di accumulo dell'area umida e nel caso di otturazione delle strutture per il deflusso dell'acqua. Per bacini di piccole dimensioni sono generalmente sufficienti canali inerbiti, mentre per quelli più grandi si possono utilizzare stramazzi o tubi. Le strutture di troppopieno devono essere il più vicino possibile ai punti di ingresso dell'acqua (CIRIA, 2015).

## Punti di uscita dell'acqua

A questo scopo si possono utilizzare tombini, canali di scolo e stramazzi, ai quali è necessario aggiungere strutture di controllo del flusso in uscita. L'uso di griglie è sconsigliato per via del rischio di intasamento, ma qualora siano necessarie per motivi di sicurezza è opportuno strutturarle in modo che non riducano il flusso d'acqua in uscita. Può essere inoltre opportuno inserire un sistema di riduzione della velocità del flusso in uscita per ridurre l'erosione a valle del punto di scolo. (CIRIA, 2015).

La parte di bacino in prossimità dei punti di uscita dell'acqua deve essere la più profonda, in modo da ridurre il rischio di risospensione dei sedimenti e la temperatura dell'acqua in uscita, mitigando eventuali problemi dovuti all'immissione di acqua a temperature più alte nei corpi idrici a valle (CIRIA, 2015).

## Vegetazione

La vegetazione svolge processi di fitodepurazione e promuove quelli di sedimentazione, rallenta il flusso dell'acqua, aiuta a stabilizzare le sponde e a prevenirne l'erosione e supporta la fauna locale. Ogni qualvolta possibile è consigliabile inserire piante sia nella fascia litorale e sulle sponde, sia nelle parti poco

profonde all'interno del bacino (CIRIA, 2015). L'uso di vegetazione fitta incentiva l'adesione degli inquinanti alle piante, la degradazione aerobica degli stessi e la stabilizzazione dei sedimenti prevenendone la rimobilizzazione, ma è sconsigliabile un sesto d'impianto fitto iniziale, al fine di lasciare spazio alle specie spontanee di colonizzare naturalmente l'area umida (CIRIA, 2015).

Si possono inserire piante acquatiche radicate direttamente nel substrato in tutte le aree con una profondità massima del livello d'acqua permanente di 40 cm. Per profondità maggiori, occorre mettere a dimora le piante all'interno di contenitori (CIRIA, 2015).

## Rivestimenti

L'inserimento di un telo impermeabile sul fondo, al di sotto del substrato, può essere necessario per il mantenimento del volume d'acqua permanente. Può essere realizzato con diversi materiali e deve essere coperto con almeno 30 cm di substrato (CIRIA, 2015; UACDC, 2010).



## Materiali

### Rivestimenti

I teli impermeabilizzanti, necessari al mantenimento del volume d'acqua permanente, possono essere di diversi materiali. I teli geosintetici in argilla, costituiti da uno strato di bentonite racchiuso tra due di geotessuto, tendono a essere meno stabili per via della loro struttura e devono essere protetti dalla disidratazione. Le geomembrane, come ad esempio quelle in butile, devono invece essere protetti tra due strati di geotessuto.

Nel caso in cui si utilizzi geotessuto in argilla è necessario uno spessore di almeno 50 cm dello stesso e di almeno 100 cm di subsoil e topsoil al di sopra. La permeabilità minima dell'argilla compattata deve essere  $1 \times 10^{-9}$  m/s (CIRIA, 2015).

### Argini

Qualora siano necessari riempimenti degli argini si deve utilizzare suolo naturale privo di inquinanti e nutrienti che potrebbero essere rilasciati nell'acqua (CIRIA, 2015).

## Vegetazione

È consigliabile evitare la messa a dimora di piante acquatiche galleggianti nella fascia litorale e l'adozione di sesti d'impianto eccessivamente fitti, così che vi sia spazio per la colonizzazione ad opera di specie spontanee. Tipicamente la densità di impianto è di 4-8 piante/m<sup>2</sup> e la messa a dimora dovrebbe essere effettuata in primavera in modo da garantire il massimo attecchimento prima dell'inverno; le piante devono attecchire rapidamente quando si instaura il flusso d'acqua superficiale, per prevenire l'erosione e rimuovere efficacemente gli inquinanti, per cui è preferibile scegliere specie a rapido attecchimento (CIRIA, 2015; DDC, 2005).

Le specie scelte per l'area umida, inoltre, devono tollerare la variabilità del livello dell'acqua. Le migliori sono quelle con un'alta densità di culmi nella porzione sommersa, perché massimizzano la superficie disponibile per la crescita dei microrganismi utili ai processi di depurazione dell'acqua e consentono una migliore distribuzione del flusso dell'acqua (CIRIA, 2015). L'uso di specie con diversa conformazione dell'apparato radicale, inoltre, migliora le prestazioni in termini di fitodepurazione (DDC, 2005).

Le specie alloctone sono più appropriate in contesti urbani e/o formali, e possono avere effetti benefici sugli insetti impollinatori e sull'aspetto dell'area

umida, ma è fondamentale scegliere specie alloctone non invasive. In ogni caso è preferibile evitare canneti monospecifici e monocolture (CIRIA, 2015).

## Manutenzione

Nelle aree umide sono necessarie operazioni di manutenzione ordinaria per assicurare ossigenazione dell'acqua e mantenimento in salute della vegetazione (UACDC, 2010). Rifiuti, detriti e sedimenti devono essere rimossi periodicamente, insieme a eventuali specie invasive, ma solo nel 25-30% del bacino ogni anno, per non avere effetti negativi sulla biodiversità (CIRIA, 2015; UACDC, 2010).

Occorre aerare l'acqua frequentemente, controllare e pulire i punti di ingresso e uscita dell'acqua dopo gli eventi meteorici e dragare ove necessario quando l'accumulo di sedimenti di fa consistente (University of Tennessee, 2013).

Non devono essere utilizzati fertilizzanti nelle aree circostanti per prevenire l'eutrofizzazione delle acque (University of Tennessee, 2013).

Manutenzione post-realizzazione:

- monitoraggio e ispezioni periodiche durante i primi due anni dopo la realizzazione (DDC, 2005);
- controllo della copertura vegetale e della salute delle piante dopo la seconda stagione di crescita e

reintegrazione delle eventuali fallanze (DDC, 2005);  
- monitoraggio della stabilità delle aree di transizione e della regolarità del flusso d'acqua (DDC, 2005).

#### Manutenzione mensile:

- rimozione dei rifiuti (CIRIA, 2015; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013)
- sfalcio del prato in aree fruibili (durante la stagione di crescita) (CIRIA, 2015);
- rimozione delle specie aggressive o invasive (per i primi tre anni, poi al bisogno) (CIRIA, 2015; DDC, 2005; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013)
- controllo di punti di ingresso e uscita dell'acqua e di qualsiasi struttura possa intasarsi (CIRIA, 2015; DDC, 2005)
- controllo della qualità dell'acqua (da maggio a ottobre) (CIRIA, 2015).

#### Manutenzione semestrale:

- sfalcio dei prati stabili (primavera prima della stagione di nidificazione e autunno) (CIRIA, 2015);
- controllo dell'accumulo di sedimenti e della loro qualità (CIRIA, 2015; DDC, 2005);
- controllo di ogni elemento meccanico (ad esempio saracinesche) (CIRIA, 2015; DDC, 2005);
- rimozione dei sedimenti durante i primi tre anni (UACDC, 2010).

#### Manutenzione annuale:

- sfalcio manuale di piante acquatiche sommerse ed emergenti ad un'altezza minima di 10 cm dal fondale per massimo il 25% dell'area (CIRIA, 2015);
- rimozione del 25% della vegetazione ripariale fino a un minimo di 1 m sopra al livello dell'acqua (CIRIA, 2015);
- rimozione della vegetazione morta prima dell'inizio della stagione vegetativa (CIRIA, 2015).

#### Manutenzione pluriennale:

- rimozione dei sedimenti da ogni bacino di pretrattamento (ogni cinque anni o al bisogno) (CIRIA, 2015);
- rimozione dei sedimenti e delle piante da un quarto del bacino, escludendo i bacini di pretrattamento (ogni cinque anni o al bisogno) (CIRIA, 2015).

#### Manutenzione straordinaria:

- rimozione dei sedimenti quando il volume del bacino è ridotto del 20% (ogni 25-50 anni se è previsto un adeguato pretrattamento delle acque) (CIRIA, 2015; UACDC, 2010);
- sostituzione del substrato in caso di elevato accumulo di inquinanti (ogni 5-10 anni circa) (University of Tennessee, 2013).

#### Azioni di ripristino:

- riparazione di danni da erosione o di qualsiasi altra natura (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- integrazione della vegetazione mancante (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- aerazione dell'acqua al manifestarsi di fenomeni di eutrofizzazione (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- sistemazione delle barriere antierosione (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- riparazione/ripristino di strutture di ingresso e uscita dell'acqua e troppopieno (al bisogno) (CIRIA, 2015).

## Durata di vita

> 20 anni (AAVV, 2013).

## Riciclabilità

I sedimenti estratti dalle aree umide derivati da run-off di aree residenziali, strade comuni e tetti possono essere smaltiti senza particolari problematiche, in accordo con i regolamenti locali. L'analisi chimica dei sedimenti può comunque essere richiesta per verificarne la qualità. I sedimenti derivati da run-off di aree industriali, invece, necessitano obbligatoriamente di un'analisi chimica. Nella maggior parte dei casi, quando la qualità dei sedimenti è buona, si possono riutilizzare in loco, spargendoli in aree adatte a questo scopo (CIRIA, 2015).

## Fruibilità è sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

Le aree umide sono molto attrattive esteticamente e forniscono grande supporto alla fauna locale e opportunità educative (Fig. 5.5) (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013).

### Sicurezza

L'accesso ad aree poco profonde e vegetate rende più fruibili i laghetti, senza porre particolari rischi, mentre deve essere impedito l'accesso ad eventuali stramazzi

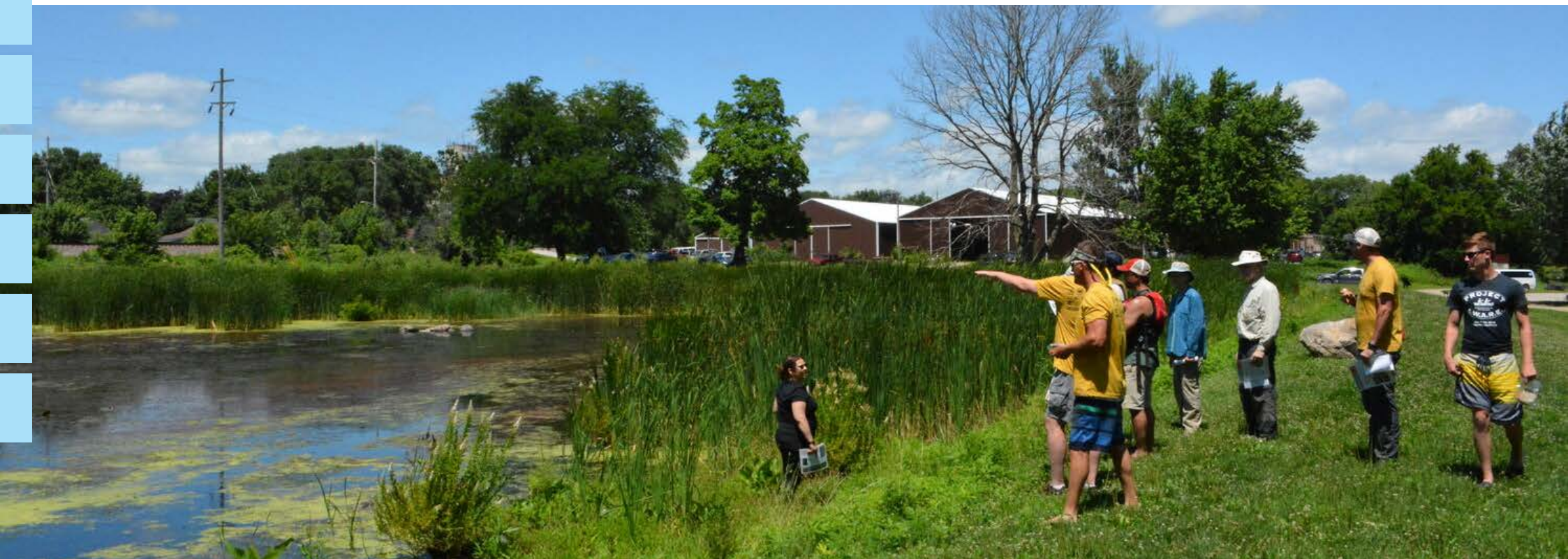
o strutture verticali con dislivello superiore a 1,2 m. In ogni caso, è sempre consigliabile realizzare i laghetti con sponde a bassa pendenza ed evitare bruschi dislivelli (CIRIA, 2015). La presenza di vegetazione nella fascia litorale previene l'ingresso delle persone nei laghetti e fornisce un filtro tra le aree frequentate dalla popolazione e l'habitat della fauna locale; alcune porzioni delle sponde, comunque, devono essere lasciate libere per consentire il movimento della fauna e non si deve nascondere la visuale delle sponde nelle aree fruibili, per consentire la supervisione dei bambini da parte degli adulti (CIRIA, 2015). L'uso di recinzioni può ridurre il contributo paesaggistico-ricreativo; nel momento in cui

queste si rendessero necessarie, sarebbe opportuno posizionarle distanti dai margini del bacino e combinarle con la vegetazione (CIRIA, 2015). Può essere necessario, infine, installare cartelli informativi circa l'eventuale divieto di pesca e i rischi correlati alla fruizione delle aree umide (CIRIA, 2015).

### Costi

Costi di realizzazione: 15-20 €/m<sup>3</sup> (AAVV, 2013)

Costi di manutenzione annuale: 6% dei costi di realizzazione (AAVV, 2013)





Schema costruttivo di area umida.

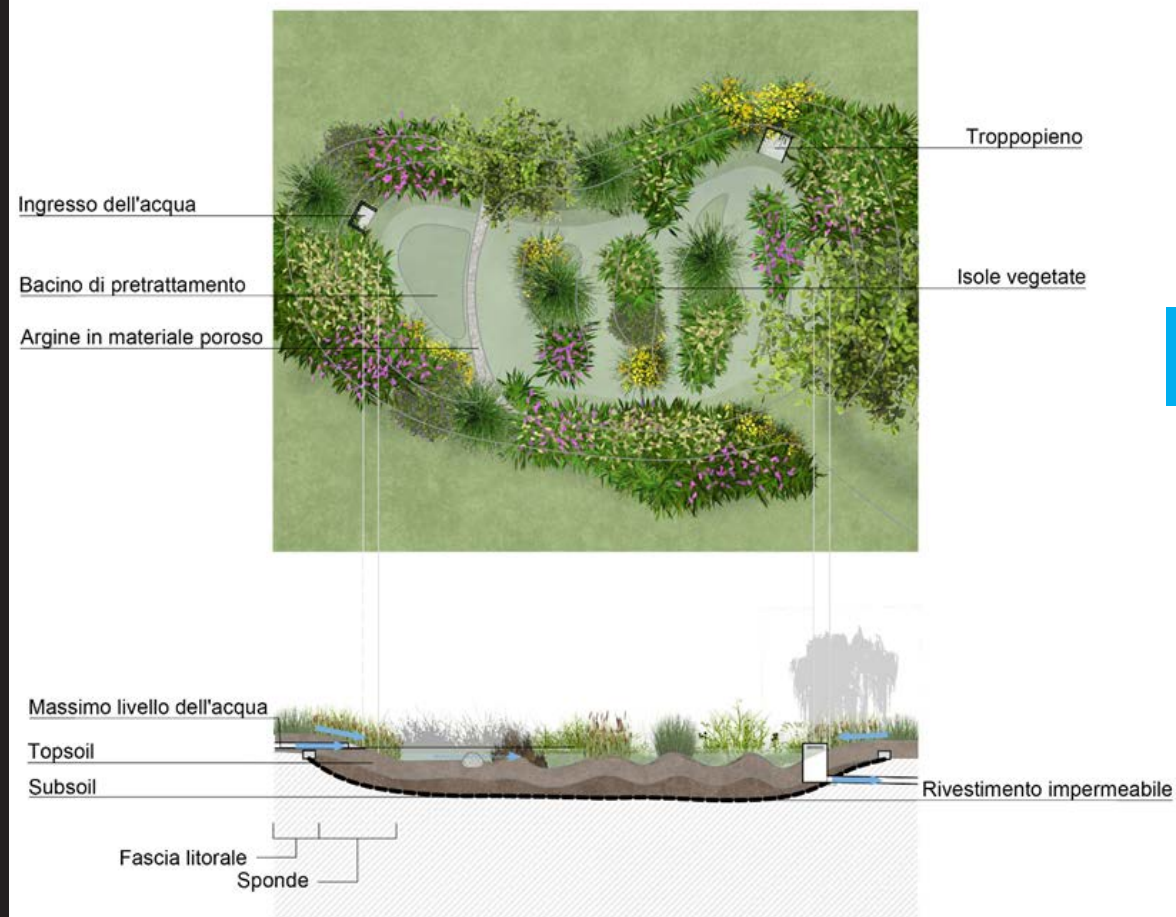
Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.

[PAGINA A LATO]

Fig. 5.5: visita naturalistica guidata a  
un'area umida artificiale.

Fonte: <https://www.cleanwateriowa.org>







# BACINI DI INFILTRAZIONE E LAMINAZIONE





# Definizione

I bacini di infiltrazione (Fig. 6.1) sono aree verdi depresse nelle quali l'acqua di run-off proveniente dalle superfici circostanti viene raccolta e trattenuta per un periodo limitato di tempo. L'acqua viene depurata tramite l'azione di vegetazione e substrato e fatta infiltrare nel sottosuolo e/o convogliata nel sistema di drenaggio principale con tempo di svuotamento massimo, stabilito da Regolamento Regionale, di 48 ore<sup>11</sup>: i bacini di infiltrazione sono quindi normalmente asciutti e, quando tali, possono essere utilizzati come tradizionali aree verdi fruibili dalla popolazione (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013).

Trattenimento temporaneo (*detention*)

Infiltrazione

Riduzione della portata di run-off

Miglioramento della qualità del run-off

Funzioni

[PAGINA A FIANCO] Fig. 6.1: bacino di infiltrazione  
e laminazione.

Fonte: <https://darrohnengineering.com/>



## Scala e posizionamento

I bacini di infiltrazione sono adatti per diversi contesti, anche in operazioni di riqualificazione e, a differenza dei rain gardens, sono indicati per servire grandi aree (UACDC, 2010; CIRIA, 2015). Per la loro realizzazione, ove opportuno, si possono utilizzare aree naturalmente depresse; il posizionamento in pieno sole consente una migliore crescita della vegetazione e una maggiore perdita di acqua per evapotraspirazione (University of Tennessee, 2013).

## Sottosuolo/pendenza

È necessario accertarsi che la falda, nel suo massimo livello di innalzamento, non causi fenomeni di ristagno nel bacino di infiltrazione e che la distanza minima dal fondo del bacino sia di 60 cm (University of Tennessee, 2013; CIRIA, 2015). Sono consigliati suoli con velocità d'infiltrazione minima di 7 mm/h per consentire una rapida infiltrazione dell'acqua raccolta (UACDC, 2010) e con pendenza non superiore al 20% (Pelletier, et al., 2011).

## Distanze da altri elementi

Nel posizionamento dei bacini di infiltrazione è doveroso rispettare le distanze di sicurezza previste dalla normativa vigente da pozzi, aree di ricarica della falda ecc. È inoltre consigliabile mantenere dagli edifici una distanza di sicurezza almeno pari ad un rapporto 1:1 tra la distanza del piano interrato dell'edificio e il dislivello tra fondo del bacino e quota del piano stesso, al fine di evitare infiltrazioni<sup>22</sup>.

## Principio di funzionamento

I bacini di infiltrazione raccolgono grandi volumi d'acqua, riducendo la portata del run-off. Il substrato consente l'infiltrazione e la depurazione dell'acqua, mentre la vegetazione favorisce la sedimentazione delle particelle sospese e attua processi di fitodepurazione (University of Tennessee, 2013; UACDC, 2010). Il tempo massimo di svuotamento è di 48 ore: un tempo così ridotto rende disponibile l'area per la raccolta delle acque meteoriche di un eventuale immediato evento successivo e, nello stesso tempo, impedisce lo sviluppo di zanzare (University of Tennessee, 2013).

I bacini di infiltrazione e laminazione possono essere progettati, in relazione alla rete di drenaggio principale, come elementi costituenti la rete stessa

(on-line) o accessori (off-line): nel primo caso costituiscono un passaggio obbligato per l'acqua e tutto il run-off raccolto dalla rete di drenaggio vi viene convogliato per essere accumulato temporaneamente durante gli eventi meteorici riducendo la portata del run-off; nel secondo caso, invece, agiscono come elementi di troppopieno che raccolgono le acque di run-off deviate dal sistema di drenaggio principale quando questo raggiunge la sua massima capacità, per poi riversarle di nuovo quando possibile. In entrambi i casi l'acqua viene fatta infiltrare nel suolo (CIRIA, 2015).

Grazie al loro aspetto e alla copertura vegetale, hanno un notevole valore in termini ecologici e ornamentali (University of Tennessee, 2013).

## Superficie impermeabile servita

I bacini di infiltrazione hanno un'estensione pari all'1 – 3% dell'area di cui raccolgono il run-off (University of Tennessee, 2013).

## Struttura e componenti

Per piccoli volumi d'acqua, al fine di massimizzarne il trattamento, è consigliabile che l'altezza massima dell'acqua raccolta sia inferiore a quella della vegetazione (generalmente < 10 cm), la velocità massima del flusso all'interno del bacino sia 0,3 m/s e il tempo di scorrimento dal punto di ingresso a quello di uscita sia superiore a 9 min (CIRIA, 2015).

### Punti di ingresso dell'acqua

Per i bacini di infiltrazione on-line è preferibile un singolo punto di ingresso dell'acqua e la sua collocazione deve essere tale da massimizzare la lunghezza del percorso dell'acqua all'interno del bacino verso il punto di uscita (CIRIA, 2015).

Al fine di ridurre il rischio di erosione dovuto al flusso di acqua in ingresso è opportuno inserire sistemi di controllo dell'erosione come coperture in ciottoli (Figg. 6.2, 6.3), barriere in roccia o strutture simili (CIRIA, 2015).

### Bacino di pretrattamento

La causa principale di malfunzionamento dei bacini di infiltrazione è l'accumulo di un'eccessiva quantità di sedimenti, per cui è consigliabile inserire sempre aree

di pretrattamento quando opportuno (UACDC, 2010). Si può prevedere la costruzione di un bacino di pretrattamento in prossimità del punto di ingresso dell'acqua (o uno per ogni punto di ingresso, nel caso siano più di uno) per ridurre la quantità di sedimenti raccolti nel bacino di infiltrazione e di conseguenza la manutenzione richiesta. Questo può essere realizzato come un bacino di dimensioni minori a parte o separando una porzione del bacino principale (Fig. 6.4) tramite un argine in materiale filtrante (pietre o gabbioni con ciottoli), ed è consigliata un'area minima pari al 10% del bacino totale.

Ogni bacino di pretrattamento deve essere facilmente accessibile per la manutenzione e l'installazione di un'asta di misurazione può facilitare il monitoraggio della quantità di sedimenti accumulati per la programmazione degli interventi di manutenzione (CIRIA, 2015).



[IN ALTO] Fig. 6.2: area in ciottoli in prossimità del punto di ingresso dell'acqua.

Fonte: <https://loisdevries.blogspot.com>

[IN BASSO] Fig. 6.3: area di ingresso dell'acqua senza protezione dall'erosione.

Fonte: <https://goodstream.se>.

## Bacino principale

I bacini di infiltrazione sono generalmente progettati con forme “naturali” (Fig. 6.5), in modo da integrarli facilmente all’interno del paesaggio, ma, laddove necessario, per esempio nel caso in cui sia previsto l’uso come campi sportivi, si possono realizzare di forme squadrate (Fig. 6.6). Qualsiasi sia la forma generale del bacino, è consigliabile un rapporto da 3:1 a 5:1 tra lunghezza e larghezza (CIRIA, 2015).

Il bacino deve avere profondità tale da poter raccogliere la quantità di run-off necessaria e la profondità massima consigliata è di 2 m (ma può essere inferiore in base ai regolamenti sulla sicurezza locali) (CIRIA, 2015). Il fondo deve essere piano e con un’inclinazione dell’1% dal punto di ingresso al punto di uscita dell’acqua, in modo da consentire una distribuzione uniforme dell’acqua e facilitare l’allontanamento anche di piccoli volumi d’acqua ed evitare fenomeni di ristagno (CIRIA, 2015). La pendenza massima consigliata per le sponde, sia per motivi di sicurezza, sia per facilitare lo sfalcio della vegetazione, è del 33%, soglia innalzabile nel caso di bacini particolarmente poco profondi (CIRIA, 2015).

Qualora, in particolare per motivi di fruibilità, si intenda tenere una parte del bacino asciutta dopo eventi meteorici di piccola intensità, si può modellare il bacino con fondo non piatto, ma con aree poste

a quote diverse in modo da raccogliere piccoli volumi di run-off solo nelle porzioni poste a quote inferiori (CIRIA, 2015). In prossimità dei punti di uscita dell’acqua, inoltre, si possono inserire piccoli laghetti o aree umide al fine di minimizzare il rischio di ri-sospensione dei sedimenti e di massimizzare la depurazione delle acque di eventi meteorici frequenti (CIRIA, 2015).

Nel caso in cui sia necessario, si può utilizzare un substrato ad hoc e inserire uno strato di drenaggio sotterraneo per facilitare l’allontanamento dell’acqua (CIRIA, 2015)

## Substrato

La profondità del topsoil può variare in base al tipo di vegetazione: 10 cm sono sufficienti laddove si prevedano prati fioriti, 15 cm per prati rasati e 45 cm per alberi e arbusti (CIRIA, 2015).

[PAGINA A LATO, IN ALTO A SINISTRA] Fig. 6.4:  
planimetria di bacino di infiltrazione con bacino di  
pretrattamento.

Fonte: CIRIA, 2015.

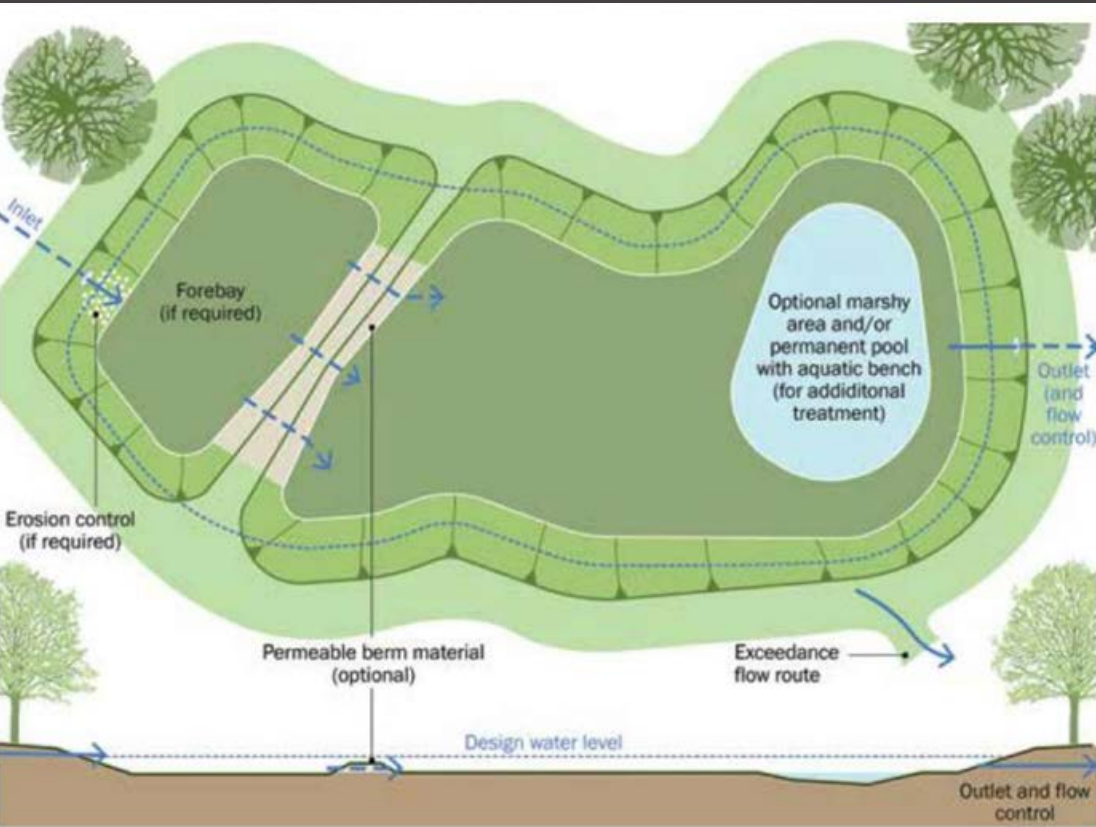
[PAGINA A LATO, IN ALTO A DESTRA] Fig. 6.5:  
bacino di infiltrazione con forme organiche, simile  
a un’area verde tradizionale.

Fonte: [www.susdrain.org](http://www.susdrain.org)

[PAGINA A LATO, IN BASSO] Fig 6.6: bacino di  
infiltrazione rettangolare, progettato per essere  
utilizzato come campo sportivo, allagato durante  
un evento meteorico.

Fonte: <https://tdhengineering.com/>





## Trooppieno

Occorre inserire, in prossimità dei punti di ingresso dell'acqua, strutture di trooppieno (Fig. 6.7) che consentano l'allontanamento del volume d'acqua superiore alla capacità del bacino. A questo scopo si possono utilizzare tubi, stramazzi o canali vegetati (CIRIA, 2015).

### Punti di uscita dell'acqua

I punti di uscita dell'acqua devono normalmente essere dotati di strumenti di regolazione della portata non intasabili. Si possono utilizzare tubi, canali o stramazzi ed è sconsigliato l'uso di griglie, per via del rischio di occlusione, ma queste possono essere necessarie per motivi di sicurezza (CIRIA, 2015).

### Vegetazione

La vegetazione aiuta a trattenere le acque meteoriche intercettate dal bacino e migliora la qualità delle acque favorendo processi di sedimentazione, filtrazione e fitodepurazione. L'uso di specie diverse e prati fioriti, nonché l'eventuale inserimento di piccole aree umide, consente di massimizzare i benefici forniti alla fauna selvatica (CIRIA, 2015). Generalmente i bacini di infiltrazione sono per la maggior parte ricoperti da tappeto erboso<sup>13</sup>.

## Rivestimenti

Possono essere necessari per porzioni di bacini di infiltrazione in cui si vuole mantenere uno specchio d'acqua permanente o per tutto il bacino qualora non sia prevista l'infiltrazione dell'acqua raccolta (CIRIA, 2015).

## Materiali

Non è previsto l'impiego di materiali particolari per la realizzazione dei bacini di laminazione e infiltrazione (CIRIA, 2015).

### Substrato

È consigliabile realizzare i bacini di infiltrazione su suoli limosi o franco-limosi (CIRIA, 2015).



Fig. 6.7: trooppieno costituito da box in calcestruzzo con pozzetto per ispezione e manutenzione.

Fonte: [www.cityofgadsden.com](http://www.cityofgadsden.com)



## Manutenzione

In generale, la manutenzione richiesta dai bacini di infiltrazione diminuisce con l'evoluzione della vegetazione presente (UACDC, 2010) ed è pari a quella richiesta per le tradizionali aree verdi (CIRIA, 2015).

L'operazione più onerosa è lo sfalcio dei prati, che è necessario solo in corrispondenza dei percorsi di accesso, delle aree fruibili, degli argini e della principale area di accumulo. Tutte le altre parti dei bacini di infiltrazione possono essere tenute a prato fiorito (CIRIA, 2015). È consigliabile che i prati falciati siano tenuti ad un'altezza di 75-150 mm per evitare l'allettamento delle piante durante gli eventi meteorici, ma, qualora possibile, l'altezza di taglio può essere superiore. Può essere anche inferiore nel caso di necessità particolari per la fruizione del bacino, ma in tal caso si riduce la capacità di rimozione degli inquinanti. I residui dello sfalcio devono essere allontanati dal bacino (CIRIA, 2015).

Nel caso in cui sia inserita un'area umida all'interno del bacino, la manutenzione della stessa deve seguire le linee guida previste per le aree umide (CIRIA, 2015).

Manutenzione mensile:

- rimozione di rifiuti e detriti (Philadelphia Water Department, 2014; CIRIA, 2015);

- rimozione di specie invasive (Philadelphia Water Department, 2014);
- sfalcio dei prati in corrispondenza dei punti di uscita dell'acqua e dei punti di accesso (Philadelphia Water Department, 2014; CIRIA, 2015);
- ispezione e pulizia dei punti di ingresso e uscita dell'acqua e dei troppopieno ed eventuale pulizia (CIRIA, 2015);
- ispezione delle sponde e delle eventuali tubature (CIRIA, 2015);
- monitoraggio dell'accumulo di sedimenti per il primo anno successivo alla realizzazione (CIRIA, 2015).

Manutenzione annuale:

- sfalcio dei prati fioriti (o semestrale, in base alla gestione) (Philadelphia Water Department, 2014; UACDC, 2010; CIRIA, 2015).
- monitoraggio dell'accumulo di sedimenti negli anni successivi al primo (CIRIA, 2015);
- rimozione dei sedimenti (University of Tennessee, 2013; CIRIA, 2015);
- ispezione delle saracinesche e di qualsiasi elemento meccanico (CIRIA, 2015);
- rimozione dell'eventuale vegetazione morta prima della ripresa vegetativa (CIRIA, 2015).

Manutenzione occasionale:

- trasemina delle aree con copertura vegetale rada (al

bisogno) (CIRIA, 2015);

- potatura degli alberi (al bisogno) (CIRIA, 2015).

Manutenzione straordinaria, al bisogno:

- risistemazione delle parti erose o danneggiate con trasemina o stesura di tappeto erboso (CIRIA, 2015);
- risistemazione delle eventuali barriere in pietra (CIRIA, 2015);
- riparazione delle strutture di ingresso e uscita dell'acqua e dei troppopieno (CIRIA, 2015);
- livellatura del terreno come da progetto (CIRIA, 2015);
- dissodamento del terreno ogni 5-10 anni<sup>14</sup>.

## Durata di vita

> 20 anni (AAVV, 2013).

## Riciclabilità

I sedimenti provenienti da strade comuni, aree residenziali e tetti sono generalmente privi di sostanze tossiche e possono essere riutilizzati per interventi in aree verdi o per riempimenti; può comunque essere necessario effettuare delle analisi per accertarsi della qualità degli stessi. Per i sedimenti provenienti da strade ad alto traffico l'analisi è invece essenziale. (CIRIA, 2015).



## Fruibilità e sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

I bacini di infiltrazione possono essere progettati come aree verdi naturalistiche, parchi o campi sportivi e vi si possono inserire diversi elementi minerali e vegetali, quali vialetti, piste ciclabili, alberature, canneti e prati fioriti. Quando sono progettati per attività ricreative oltre a quelle di gestione delle acque meteoriche, è preferibile che le parti destinate al primo scopo si allaghino meno frequentemente e sono opportuni cartelli che avvisino della possibilità di accumulo di acqua nell'area (CIRIA, 2015).

L'installazione di recinzioni è sconsigliabile, poiché sono esteticamente poco gradevoli e possono ostacolare la manutenzione e causare accumulo di detriti e scarti vegetali. Quando necessari, tuttavia, devono essere a prova di bambino e consentire lo spostamento della fauna selvatica (CIRIA, 2015).

### Sicurezza

Minore è l'inclinazione delle sponde, minori sono i rischi per la sicurezza; la pendenza massima consigliata è del 33%, aumentabile in caso di bacini particolarmente poco profondi (CIRIA, 2015).

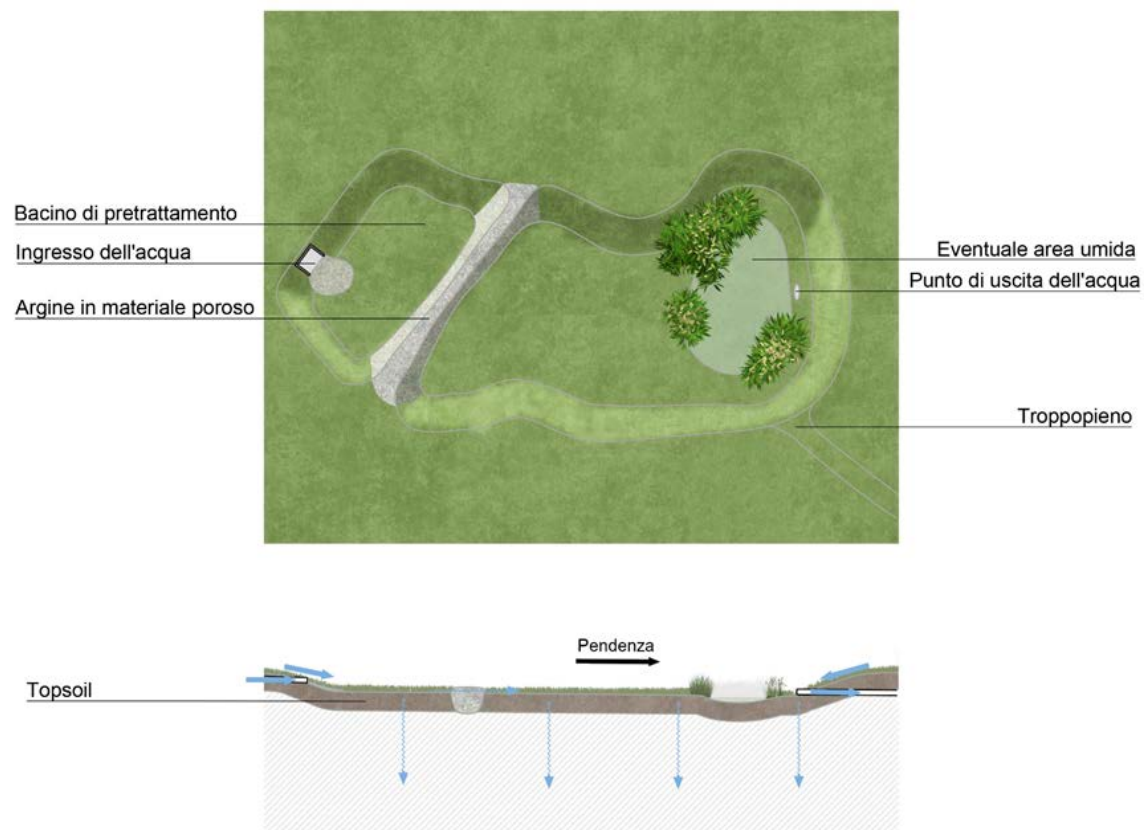
Gli eventuali tubi di ingresso e uscita dell'acqua

non devono essere accessibili alla popolazione ed eventuali dislivelli in corrispondenza delle aperture di tubi di grandi dimensioni devono essere provvisti di parapetti sulla sommità. L'uso di griglie per impedire l'accesso ai tubi è possibile, ma a causa del rischio di intasamento è richiesta maggiore manutenzione ed è possibile che vengano ridotte le prestazioni idrauliche (CIRIA, 2015).

### Costi

Secondo il Regolamento Regionale presentano un costo di costruzione dell'ordine massimo di 50 – 100 euro/m<sup>3</sup>.<sup>15</sup>

Schema costruttivo di bacino di  
infiltrazione e laminazione.  
Elaborazione propria.  
Autore: Raffaele Bonsignori.



## Note

11: “[...] per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati, il tempo di svuotamento dei volumi calcolati secondo quanto indicato alla lettera e) non deve superare le 48 ore, in modo da ripristinare la capacità d’invaso quanto prima possibile. Qualora non si riesca a rispettare il termine di 48 ore, ovvero qualora il volume calcolato sia realizzato all’interno di aree che prevedono anche volumi aventi altre finalità, il volume complessivo deve essere calcolato tenendo conto che dopo 48 ore deve comunque essere disponibile il volume calcolato secondo quanto indicato alla lettera e)”. (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 8).

12: “Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell’edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di

infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 92).

13: “Nei bacini d’infiltrazione, in genere le pareti e il fondo del bacino sono ricoperte da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare queste aree sia di esercitare un’azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di pioggia, come nutrienti e metalli disciolti.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 91).

14: “Occorre inoltre prevedere ogni 5÷10 anni di dissodare il terreno, in modo da rinnovare lo strato superficiale.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 92).

15: “Gli invasi di laminazione hanno costo di costruzione molto variabile in funzione della loro tipologia e configurazione adottata dal progetto. In particolare le “infrastrutture verdi”, oltre a soddisfare il generale interesse ambientale,

urbanistico e paesistico di riqualificazione dei territori urbani, presentano un costo di costruzione e manutenzione molto contenuto rispetto agli invasi realizzati in strutture murarie o in calcestruzzo aperte o chiuse. Infatti, un invaso realizzato modellando opportunamente un’area verde (Figura 46 a) presenta un costo di costruzione dell’ordine massimo di 50 – 100 euro/mc, ma in molti casi anche sensibilmente inferiore e al limite nullo, qualora esso sia attentamente considerato nell’insieme della progettazione multidisciplinare dell’intervento.” (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 102).





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

SUDS - SOLUZIONI PROGETTUALI TIPO DI INFRASTRUTTURE  
VERDI PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

RAFFAELE BONSIGNORI, GIULIO SENES





CANALIVEGETATI



# Definizione

I canali vegetati (Fig. 7.1) sono fossi vegetati poco profondi adibiti al trasporto, al trattamento, alla riduzione del volume e all'infiltrazione del run-off proveniente dalle superfici impermeabili circostanti (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; City of Vancouver, 2016; Pelletier, et al., 2011; Philadelphia Water Department, 2014). Sono strutturalmente e funzionalmente simili ai rain gardens, ma si sviluppano seguendo tracciati lineari (City of Edmonton, 2014) e proprio in virtù della loro conformazione sono particolarmente efficaci nel trasporto dell'acqua raccolta e possono sostituire i sistemi di trasporto dell'acqua tradizionali, rispetto ai quali risultano più economici (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; Pelletier, et al., 2011).

Trasporto del run-off raccolto  
Miglioramento della qualità del run-off

Riduzione del volume e della portata di run-off  
Infiltrazione

Funzioni



## Scala e posizionamento

I canali vegetati si possono realizzare su qualsiasi tipo di suolo (CVC, 2010) e sono utilizzabili in un'ampia gamma di contesti; sono un'ottima soluzione per la gestione del run-off proveniente da strade e parcheggi, per via della loro conformazione lineare (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; Philadelphia Water Department, 2014). Sono tuttavia poco adatti ad aree ristrette e/o ad alta densità per via dello spazio richiesto (CIRIA, 2015; Pelletier, et al., 2011).

Sono inoltre da evitare le aree con forte presenza di alberi, la cui ombra non consente una crescita ottimale delle piante presenti all'interno dei canali, essenziali per la funzionalità degli stessi, (CIRIA, 2015).

## Sottosuolo/pendenza

In caso di canali con pendenza talmente basse da rendere difficoltoso il movimento dell'acqua è consigliabile inserire tubi di drenaggio sotterranei o prevedere la realizzazione di canali umidi, cioè contenenti un volume permanente d'acqua similmente alle aree umide (CIRIA, 2015). Il fondo del canale deve stare ad almeno 0,6-1 m dalla falda (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; Pelletier, et al., 2011).

## Principio di funzionamento

Lo scopo principale dei canali vegetati è il trattamento dell'acqua di run-off mentre questa viene trasportata verso i punti di raccolta e, se opportuno, fatta infiltrare nel sottosuolo (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; UACDC, 2010). La vegetazione presente sul fondo e sulle sponde rallenta la velocità dell'acqua, promuovendo i processi di sedimentazione e infiltrazione e ne consente la perdita per evapotraspirazione (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014); l'aggiunta di dighe di controllo lungo il percorso e, nel caso dei canali vegetati umidi, la presenza di piccole aree umide all'interno degli stessi aumentano l'intensità dei processi di fitodepurazione e sedimentazione (City of Edmonton, 2014; Pelletier, et al., 2011).

Le acque degli eventi meteorici di volume inferiore a quello di progetto si infiltrano direttamente nel substrato e vengono raccolte dal sistema di drenaggio sotterraneo, quando presente, mentre quelli più intensi riempiono il canale e vi scorrono all'interno (CIRIA, 2015). Generalmente, l'altezza del flusso per gli eventi meteorici frequenti deve essere inferiore a 30 cm, mentre quella dell'acqua ferma inferiore a 15 cm (City of Edmonton, 2014). È preferibile che il run-off dell'evento meteorico di riferimento sia allontanato per metà del suo volume entro 48 ore,

così che si liberi sufficiente spazio per il run-off di un eventuale precipitazione successiva (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016; Pelletier, et al., 2011).

I canali vegetati migliorano la qualità dell'acqua di run-off attraverso processi di filtrazione, infiltrazione e fitodepurazione; processi di fotolisi e volatilizzazione degradano eventuali inquinanti organici (CIRIA, 2015). I canali vegetati umidi, inoltre, promuovono processi di fitodepurazione e sedimentazione più intensi (CIRIA, 2015).

In base al tipo di suolo, i canali vegetati possono consentire:

- infiltrazione totale, per volumi di run-off ridotti e subsoil con permeabilità maggiore di 30 mm/h; l'acqua viene filtrata dalla vegetazione per poi infiltrarsi nel substrato sabbioso (della profondità minima di 30 cm) e nel sottosuolo;
- infiltrazione totale con strato di riserva, per volumi di run-off ridotti e subsoil con permeabilità di 15 – 30 mm/h; si aggiunge uno strato di ghiaia spesso almeno 30 cm; intorno allo strato di riserva si inserisce uno strato di geotessuto.
- infiltrazione parziale con strato di riserva e drenaggio sotterraneo, per volumi di run-off maggiori e subsoil con permeabilità minore di 15 mm/h; si aggiunge, nella parte superiore dello strato di riserva, un tubo di drenaggio che consente l'allontanamento dell'acqua prima che questa possa riaffiorare in superficie

all'interno del canale in seguito al riempimento dello strato di drenaggio (City of Vancouver, 2016).

La massima velocità di flusso consigliata all'interno del canale è di 0,3 m/s, al fine di consentire un'adeguata filtrazione dell'acqua, e fino a 1 m/s per gli eventi particolarmente intensi (CIRIA, 2015).

## Superficie impermeabile servita

Si utilizzano generalmente per gestire il run-off proveniente da bacini scolanti inferiore ai 2 ha e solitamente vengono realizzati lungo strade e parcheggi (UACDC, 2010; Pelletier, et al., 2011); occupano una superficie pari al 10-20% delle superfici impermeabili servite (City of Edmonton, 2014).

## Struttura e componenti

In linea generale, i canali vegetati sono più larghi rispetto ai canali tradizionali, poco profondi e inerbiti e possono essere semplici canali ricavati nel suolo locale o essere dotati di substrato ammendato e strato di drenaggio come le aree di bioritenzione (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016); nel secondo caso l'aggiunta di uno strato di drenaggio consente una maggiore capacità di trattamento e un maggior volume disponibile (CIRIA, 2015).

Nei casi in cui è necessario prevenire l'infiltrazione

o la falda è troppo vicina al fondo del canale si può aggiungere una membrana impermeabile al di sotto dello stesso; in tal caso, come anche su suoli poco drenanti o in aree particolarmente pianeggianti, si possono realizzare canali vegetati umidi, che hanno substrato costantemente saturo e possono essere considerati come aree umide lineari (CIRIA, 2015).

Per quanto concerne i tracciati seguiti dai canali vegetati, è bene evitare bruschi cambi di direzione, che possono causare fenomeni erosivi, ma curve ampie possono essere utilizzate per motivi estetici (CIRIA, 2015).

Qualora siano previsti tratti intubati, per esempio al di sotto di strade intersecanti il tracciato del canale stesso, è importante prevedere un facile accesso per le attività di manutenzione (CIRIA, 2015).

## Aree di pretrattamento

In generale, come aree di pretrattamento sono consigliate fasce inerbite (di larghezza variabile in funzione della larghezza della strada servita), al fine di ridurre la quantità di sedimenti e inquinanti convogliata nei canali vegetati (City of Edmonton, 2014).

Nel caso di canali vegetati umidi, è doveroso prevedere delle aree di pretrattamento per evitare l'accumulo di sedimenti sul fondo, più difficile da ripulire rispetto a quello dei canali vegetati non umidi, e che nelle aree

## Punti di ingresso dell'acqua

È preferibile convogliare l'acqua nei canali vegetati lateralmente in modo diffuso attraverso, per esempio, fasce inerbite, così da minimizzare i fenomeni erosivi e massimizzare il trattamento del run-off. Quando il run-off proviene da superfici impermeabilizzate, è opportuno prevedere uno scalino di 5-10 cm tra queste e il canale collegato, con questo a una quota inferiore, in modo da prevenire la formazione di depositi di sedimenti (CIRIA, 2015).

I sistemi puntiformi, come aperture nei cordoli, canaline o simili, si possono utilizzare posizionandoli a un intervallo prestabilito lungo i margini del fosso, in modo da distribuire l'acqua il più uniformemente possibile (CIRIA, 2015; UACDC, 2010). In ogni caso, comportano maggiori rischi di erosione e accumulo di sedimenti, per cui è consigliabile aggiungere sistemi di diffusione del flusso, come fasce in ghiaia larghe 30 cm e profonde 60 cm, e sistemi anti-erosione e di pretrattamento (CIRIA, 2015).

Qualora i tubi dai quali l'acqua viene introdotta nei canali vegetati fossero posti a profondità superiori a quella della superficie del canale, è possibile scaricare l'acqua direttamente nello strato di drenaggio sotterraneo (in tal caso il bacino del canale viene allagato solo durante eventi particolarmente intensi; normalmente il canale non viene utilizzato

per depurare il run-off e si rende quindi necessario l'inserimento di altri metodi di trattamento) (CIRIA, 2015).

## Bacino

La sezione del bacino è tendenzialmente trapezoidale o parabolica (CIRIA, 2015).

La profondità è di 40-60 cm, aumentabile quando questo non pone rischi per la sicurezza; maggiore è la profondità del bacino, maggiori sono i costi di realizzazione, la superficie occupata e il volume di acqua accumulabile (CIRIA, 2015).

La larghezza del fondo è generalmente compresa tra 0,6 m e 2,4 m e la pendenza complessiva consigliata va da 0,5% a 6%. In caso di pendenze elevate longitudinali (sempre se superiori al 3%), al fine di massimizzare la fitodepurazione dell'acqua, il canale deve essere costruito come una catena di aree pianeggianti separate da piccole dighe poste a quote via via inferiori (Fig. 7.5) (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; City of Vancouver, 2016; City of Edmonton, 2014; Pelletier, et al., 2011). Tali dighe risultano, inoltre, essenziali al fine di prevenire fenomeni erosivi, (CIRIA, 2015; Pelletier, et al., 2011).

Per le sponde è consigliata una pendenza del 25%, con un massimo del 33% (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; City of Edmonton, 2014; Pelletier, et al., 2011), per massimizzare il trattamento del run-off, rendere

agevole la manutenzione e non porre rischi di sicurezza; sotto quest'ultimo aspetto, è possibile costruire canali vegetati con sponde maggiormente inclinate solo per canali particolarmente poco profondi (CIRIA, 2015).

## Substrato

È lo strato superiore del fondo del fosso, profondo almeno 15 cm, ma preferibilmente 30 cm, che supporta la vegetazione presente, consente l'infiltrazione dell'acqua e ne migliora la qualità (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016).

## Strato di transizione

Viene posto tra il substrato e lo strato di drenaggio per evitare l'ingresso di particelle fini in quest'ultimo. È generalmente realizzato in sabbia e profondo 10 cm (City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016) o realizzabile con geotessuto (UACDC, 2010).

### Strato di drenaggio e infiltrazione

Lo strato di drenaggio aumenta la quantità di acqua trattata dal canale, le prestazioni generali del sistema e la qualità dell'acqua infiltrata e riduce il rischio di stagnazione e formazione di aree umide non volute in porzioni pianeggianti (CIRIA, 2015).

Ha profondità minima di 30-45 cm ed è necessario laddove la permeabilità del suolo è minore di 13 mm/h

(City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016). E' costituito da ghiaia e vi possono essere inseriti tubi di drenaggio forati in PVC a 15 cm di profondità per aumentare la capacità drenante (CIRIA, 2015); è consigliato rivestire l'intero strato con geotessuto permeabile, al fine di evitare l'ingresso di particelle fini al suo interno (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016).

## Vegetazione

La vegetazione promuove i processi di sedimentazione rallentando la velocità dell'acqua, ne migliora la qualità e ne favorisce la perdita per evapotraspirazione (CIRIA, 2015). È necessaria una copertura vegetale molto fitta, con copertura del 100% dopo due anni dalla realizzazione (City of Edmonton, 2014), e, nel caso di tappeti erbosi, alta 7,5-15 cm per evitarne l'allettamento a causa del flusso dell'acqua durante gli eventi meteorici più intensi (CIRIA, 2015). I canali vegetati sono generalmente inerbiti (Fig. 7.2), ma si possono utilizzare anche perenni e arbusti (Fig. 7.3).





[IN ALTO] Fig. 7.2: canale vegetato inerbito.

Fonte: <https://megamanual.geosyntec.com>



[IN BASSO] Fig. 7.3: canale vegetato con erbacee  
perenni e arbusti messi a dimora sul fondo.

Fonte: <https://content.yardmap.org>.

## Trooppopieno

È necessario un sistema di trooppopieno per eventi meteorici di volume superiore a quello di progetto e queste strutture dovrebbero essere il più vicine possibile al punto di ingresso dell'acqua per ridurre al minimo l'erosione causata dal flusso d'acqua (CIRIA, 2015; UACDC, 2010).

## Punti di uscita dell'acqua

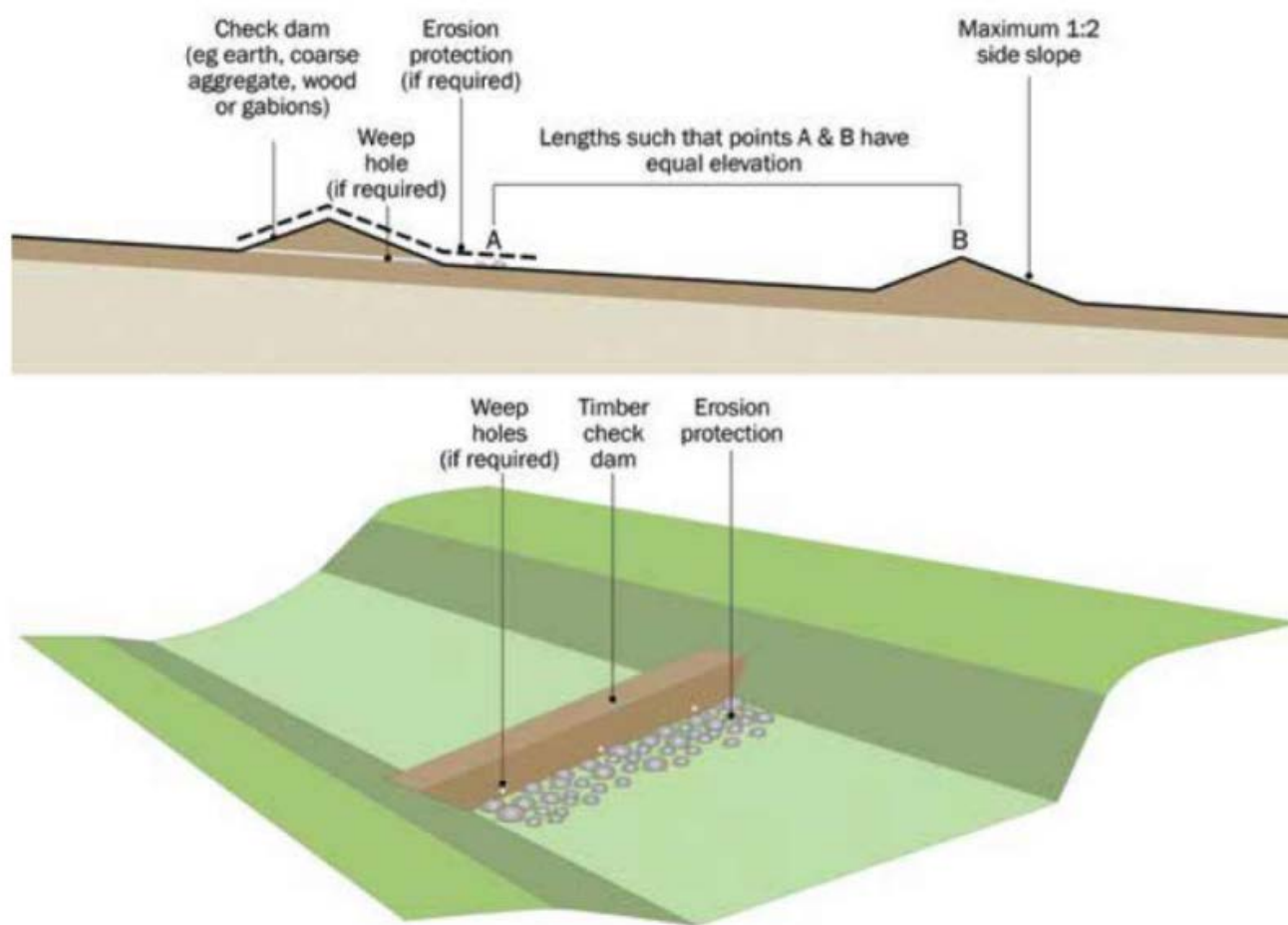
Occorre inserire strutture per l'efflusso dell'acqua alla fine del tracciato dei canali vegetati (Fig. 7.4); l'acqua può essere convogliata nella rete di drenaggio principale o verso altri sistemi di gestione delle acque meteoriche.

È necessario inoltre inserire pozzetti di ispezione verso il sistema di drenaggio sotterraneo che consentano il monitoraggio e la manutenzione dello stesso (CIRIA, 2015).

Fig. 7.4: punto di uscita dell'acqua con griglia di protezione. Fonte: [www.holemanlandscape.com](http://www.holemanlandscape.com)







## Strutture di regolazione del flusso

Si possono inserire dighe di controllo (Figg. 7.5, 7.6) lungo il percorso del canale per rallentare la velocità dell'acqua e massimizzare i processi di sedimentazione, fitodepurazione e infiltrazione, in particolare in aree con maggiore pendenza (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016; Pelletier, et al., 2011). È opportuno inserire queste strutture ogni 10-20 metri e in modo che la base di quella a monte sia allo stesso livello della soglia di quella successiva a valle e che entrino nelle sponde impedendo anche il passaggio laterale dell'acqua. È bene prevedere piccoli tubi o aperture alla base di questi sbarramenti, in modo che piccoli volumi d'acqua possano passarvi attraverso (CIRIA, 2015). Infine, è consigliabile aggiungere strutture di controllo dell'erosione, come coperture del terreno con ciottoli, che si devono estendere per 1-2 m a valle della diga sia sul fondo sia sulle sponde del canale (Fig.

[IN ALTO, A SINISTRA] Fig. 7.5: dighe di controllo realizzate con gabbioni riempiti di ciottoli.

Fonte: [www.granitec.co.jp](http://www.granitec.co.jp)

[IN ALTO, A DESTRA] Fig. 7.6: dighe di controllo in muratura. Fonte: [www.susdrain.org](http://www.susdrain.org)

[IN BASSO] Fig. 7.7: schema di disposizione delle dighe di controllo, con le relative strutture di protezione dall'erosione. Fonte: (CIRIA, 2015).



## Materiali

### Substrato

Può essere costituito da suolo locale, quando sufficientemente permeabile. In alternativa, si può ammendare lo stesso, per formare un mix di 45% sabbia, 35% top soil, 20% compost (UACDC, 2010) o scegliere un substrato, simile a quello utilizzato per i rain gardens, con le caratteristiche riportate nel box sottostante (City of Edmonton, 2014).

#### Specifiche tecniche del substrato:

- Permeabilità > 25 mm/h;
- Sabbia: 50-85%;
- Limo: 10-15%;
- Argilla: 3-10% argilla;
- Compost: 15-25% (opzionale);
- pH 5.5 – 7.5;
- P estraibile: 10-30 ppm;
- CEC > 5meq/100g.

### Strato di drenaggio

Lo strato di drenaggio è realizzabile con ghiaia pulita di granulometria 20-40 mm e contenuto di particelle fini < 0,1% (City of Edmonton, 2014; UACDC, 2010).

I tubi di drenaggio sotterranei, in PVC forato, devono avere un diametro di circa 15 cm (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; City of Vancouver, 2016).

### Vegetazione

Le specie vegetali scelte devono tollerare periodiche inondazioni, il flusso d'acqua generato e, nel caso in cui si raccolga run-off proveniente da strade su cui vengono sparsi sali antighiaccio, elevati livelli di salinità; si può utilizzare una grande diversità di specie vegetali, inclusi mix per prati fioriti (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014).

Sul fondo del canale è meglio utilizzare specie con apparati radicali fibrosi e copertura fitta (CIRIA, 2015).

Le specie utilizzate sulle sponde devono tollerare periodiche inondazioni e siccità prolungata; per queste aree sono adatte molte graminacee, ad esempio quelle appartenenti ai generi *Lolium* e *Festuca*, e arbusti tappezzanti. In generale, le graminacee e perenni fiorite più alte non pongono problemi in termini di prestazioni (CIRIA, 2015).

Nei fossi umidi si possono mettere a dimora specie

di aree umide ed è bene evitare sesti d'impianto densi, per consentire la colonizzazione naturale da parte delle specie spontanee. Maggiore è il numero di specie scelto, maggiore è la resilienza del sistema (CIRIA, 2015).

I tappeti erbosi, generalmente utilizzati per i canali vegetati, possono essere seminati o piantati in zolle o in plug; in particolare, l'uso di zolle consente protezione immediata del fosso, a patto che i giunti tra di esse siano perpendicolari alla direzione del flusso e ben compattati all'impianto e che siano assicurate con picchetti su sponde con pendenza maggiore del 25% e in canali con velocità di flusso elevata (CIRIA, 2015). I periodi migliori per seminare sono la primavera e l'inizio dell'estate ed è opportuno intervenire in questi momenti, in modo che il terreno sia inerbito fin da subito (CVC, 2010; CIRIA, 2015).

### Strutture di controllo del flusso

Le dighe di controllo possono essere realizzate con assi di legno (trattato a pressione o naturalmente resistente all'azione dell'acqua), terra o gabbioni riempiti con materiale poroso o come barriere costruite con pietre da 10-60 cm o calcestruzzo (CIRIA, 2015; Pelletier, et al., 2011). Le strutture di distribuzione del flusso d'acqua si possono realizzare con ghiaia di granulometria da 3-10 mm (CIRIA, 2015).

## Manutenzione

I canali vegetati richiedono manutenzione regolare, ma non specializzata; qualora siano inseriti in un'area in cui si effettua manutenzione regolare del verde, l'incidenza sui costi è trascurabile (CIRIA, 2015). L'operazione più onerosa è lo sfalcio dei tappeti erbosi, per cui si consiglia un'altezza di taglio di 7,5-15 cm, per evitare una riduzione delle prestazioni del sistema e l'allettamento delle lamine fogliari; è consigliabile sfalciare dopo la fioritura primaverile (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

Per i fossi umidi non è necessario lo sfalcio della vegetazione presente nelle aree umide, ma è consigliabile l'asportazione di vegetazione troppo densa in autunno dopo il disseccamento degli apparati epigei per evitare il conferimento di un carico eccessivo di sostanza organica nei corpi idrici a valle (CIRIA, 2015).

L'uso di fertilizzanti e diserbanti nei canali vegetati e nelle aree circostanti è da evitare (CIRIA, 2015).

Manutenzione post-realizzazione:

- irrigazione delle piante al bisogno, fino all'attecchimento (City of Edmonton, 2014);
- controllo del tasso di infiltrazione, erosione, sedimentazione e copertura vegetale ogni tre mesi per i primi due anni, poi ogni sei mesi (City of

Edmonton, 2014).

Manutenzione mensile:

- rimozione di rifiuti e detriti (o al bisogno) (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; Philadelphia Water Department, 2014);
- sfalcio dell'erba nel range di 7,5-15 cm con rimozione dello sfalcio (o più frequentemente) (CIRIA, 2015; Philadelphia Water Department, 2014);
- rimozione delle specie vegetali invasive o dannose (al bisogno a regime) (CIRIA, 2015; Philadelphia Water Department, 2014);
- ispezione e pulizia dei punti di ingresso e uscita dell'acqua (CIRIA, 2015);
- ispezione delle superfici adibite all'infiltrazione per controllare ristagno, compattazione e accumulo di sedimenti e annotazione di quelle in cui l'acqua permane per più di 48 h (CIRIA, 2015);
- controllo della copertura vegetale per i primi sei mesi (CIRIA, 2015).

Manutenzione trimestrale:

- controllo della copertura vegetale per i due anni successivi ai primi sei mesi (City of Edmonton, 2014).

Manutenzione semestrale:

- controllo dei punti di ingresso e della superficie del fosso per monitorare l'accumulo di sedimenti e

programmare eventuali interventi di rimozione (City of Vancouver, 2016);

- controllo della copertura vegetale;
- test della permeabilità del suolo (City of Edmonton, 2014; UACDC, 2010).

Manutenzione annuale:

- analisi della qualità del suolo in aree con run-off con alto carico di inquinanti (City of Edmonton, 2014);
- potatura delle piante legnose, se necessario (City of Edmonton, 2014);
- rimozione dei sedimenti in primavera quando lo strato è maggiore di 25 cm (CIRIA, 2015).

Manutenzione straordinaria:

- risemina delle aree scarsamente vegetate quando la copertura è < 90% (City of Edmonton, 2014).

Azioni di ripristino (al bisogno):

- riparazione dei danni da erosione e aggiunta di nuove zolle o semina di nuovo prato (CIRIA, 2015);
- livellamento delle superfici dissestate alle specifiche di progetto (CIRIA, 2015);
- scarificazione del topsoil per aumentare il tasso di infiltrazione, rompere i depositi di sedimenti e prevenire il compattamento del suolo (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014);
- rimozione dei sedimenti accumulati nelle fasce in

ghiaia presenti a lato dei fossi, nei distributori di flusso e nelle fasce filtranti (CIRIA, 2015);

- rimozione e smaltimento dei residui oleosi in conformità con le normative vigenti (CIRIA, 2015).

## Durata di vita

Durata di vita: 20-50 anni (AAVV, 2013).

## Riciclabilità

I sedimenti provenienti da aree residenziali e strade comuni possono essere reimpiegati in sistemazioni paesaggistiche poiché non tossici, ma in generale è opportuna un'analisi chimica per accertarsi delle loro proprietà (che si rende obbligatoria per sedimenti provenienti da strade fortemente trafficate e aree critiche) (CIRIA, 2015).

I residui di sfalcio devono essere asportati dai canali vegetati per rimuovere nutrienti e inquinanti (CIRIA, 2015).

## Fruibilità è sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

Quando ben integrati nel sito, i canali vegetati migliorano la qualità del contesto e forniscono benefici dai punti di vista estetico e di biodiversità,

integrandosi nel paesaggio come corridoi verdi (CIRIA, 2015).

Si possono inoltre inserire pannelli informativi lungo il fosso per descriverne il funzionamento e la flora e fauna ospitate (CIRIA, 2015).

## Sicurezza

I canali vegetati sono generalmente poco profondi e con sponde in lieve pendenza, per cui non pongono rischi per la sicurezza e la salute delle persone; è tuttavia consigliata un'altezza massima di 15 cm dell'acqua ferma, per motivi di sicurezza (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016). In alcuni contesti può essere opportuno inserire barriere lungo i bordi del fosso per evitare la sosta di veicoli sui bordi dello stesso, che compatterebbero il substrato riducendo le prestazioni del sistema (CIRIA, 2015).

## Costi

Costo di realizzazione: 3-30 €/m<sup>2</sup> (Pelletier, et al., 2011; City of Edmonton, 2014)

Costo di manutenzione annuale: 5-6% del costo di realizzazione (AAVV, 2013; Pelletier, et al., 2011; City of Edmonton, 2014)

[PAGINA A FIANCO, A SINISTRA]

Schema costruttivo di canale vegetato senza  
drenaggio.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.

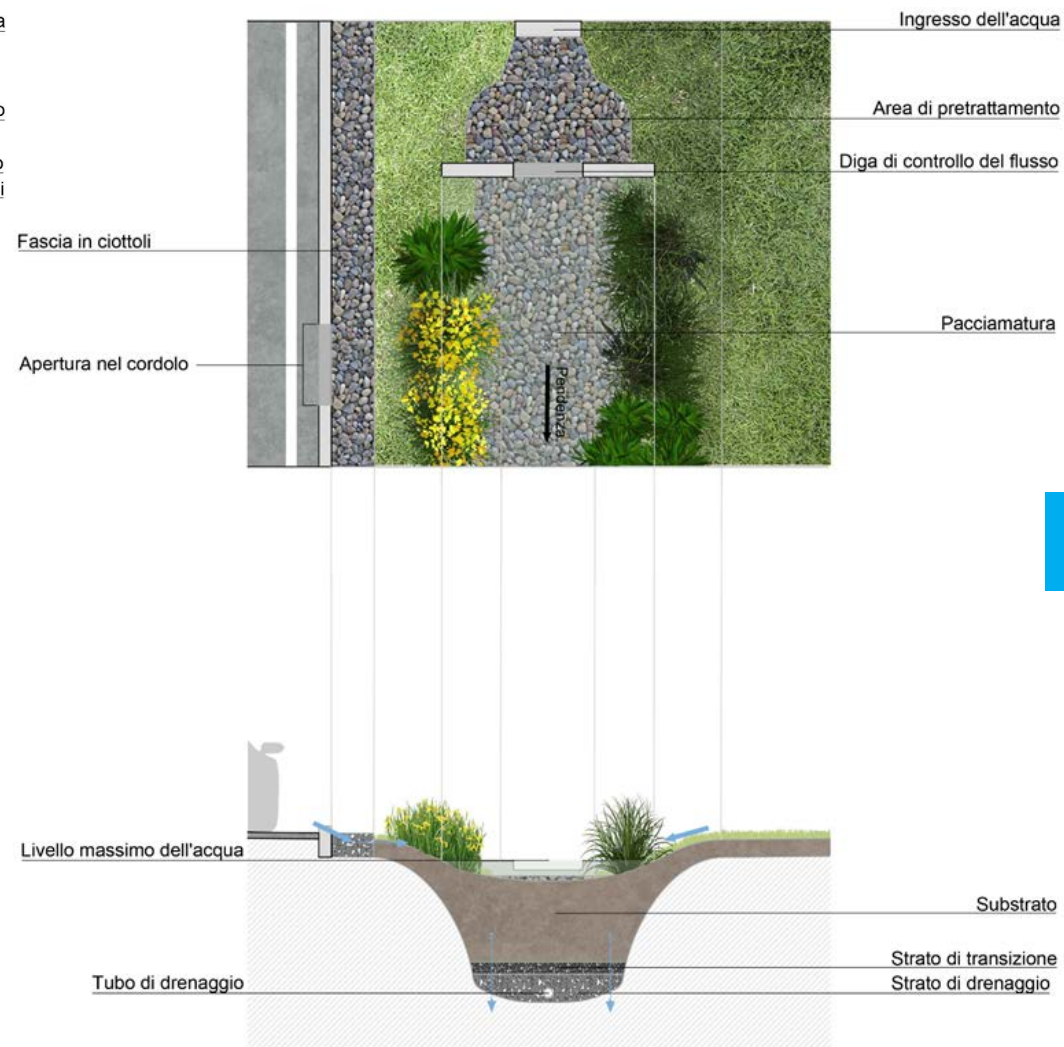
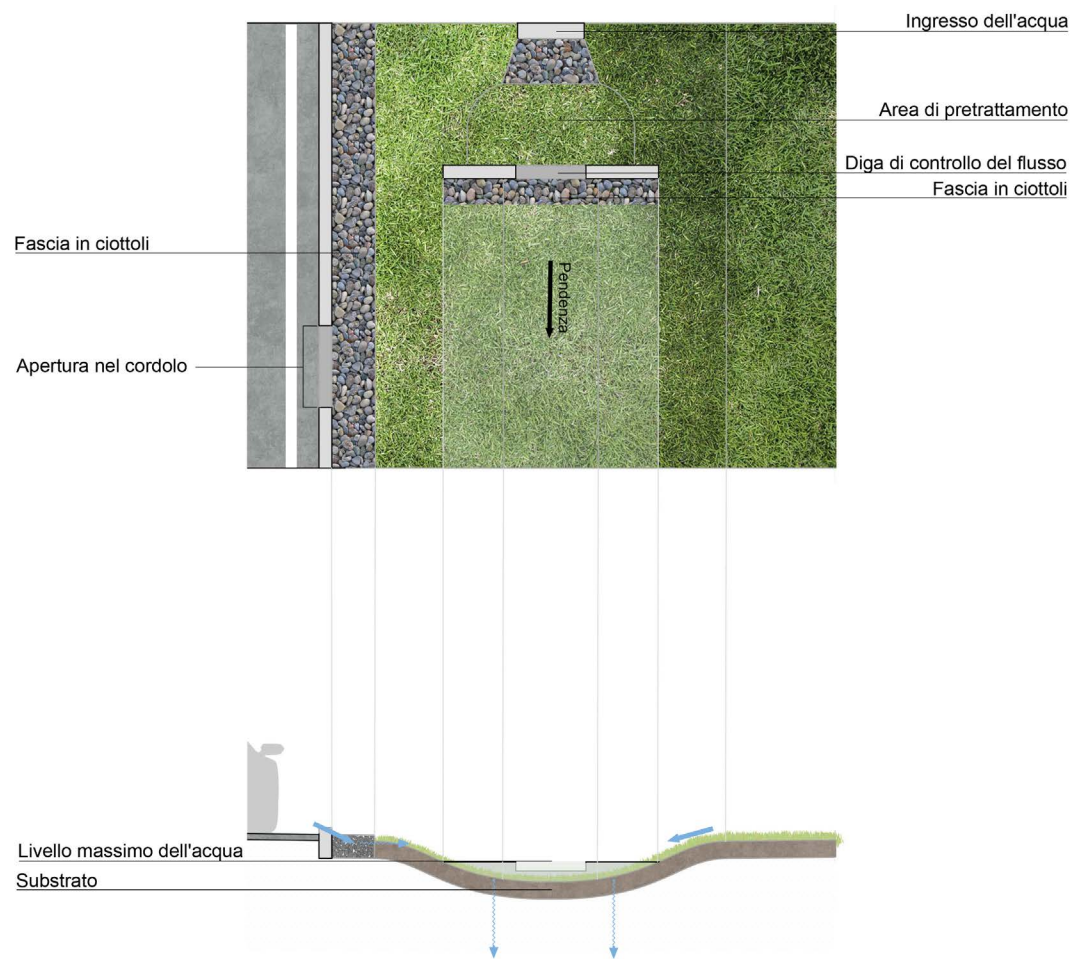
[PAGINA A FIANCO, A DESTRA]

Schema costruttivo di canale vegetato con  
drenaggio sotterraneo.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.









FASCE FILTRO VEGETATE





# Definizione

Le fasce filtro vegetate (Fig. 8.1) sono aree verdi in leggera pendenza, inerbite o coperte con vegetazione fitta, che ricevono le acque meteoriche provenienti dalle superfici circostanti, ne migliorano la qualità attraverso processi di sedimentazione e filtrazione e ne consentono l'infiltrazione nel terreno, per poi convogliarle verso altre soluzioni di gestione delle acque (CIRIA, 2015; DDC, 2005; UACDC, 2010; CVC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013).

Miglioramento della qualità del run-off

Infiltrazione

Funzioni



## Scala e posizionamento

Le fasce filtro sono adatte alla maggior parte dei suoli e a molti contesti (DDC, 2005; CVC, 2010), ma, a causa della superficie richiesta, sono poco indicate per aree densamente urbanizzate o in cui lo spazio a disposizione è scarso (CVC, 2010; University of Tennessee, 2013). Sono adatte per servire qualsiasi superficie impermeabile, ma in particolare le strade, con le quali sono facilmente integrabili per via della loro conformazione lineare (CIRIA, 2015; CVC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013).

In caso di run-off contenenti un alto carico di inquinanti, le fasce filtro consentono una rapida individuazione della fonte degli stessi e possono essere risanate facilmente. In tal caso è opportuno evitare l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo attraverso l'inserimento di uno strato impermeabile (CIRIA, 2015).

È consigliabile evitare la realizzazione di fasce filtro laddove alberi, edifici o altri elementi potrebbero ombreggiarle eccessivamente, sfavorendo la crescita di una fitta copertura vegetale (CIRIA, 2015; UACDC, 2010).

## Sottosuolo/pendenza

Quando è consentita l'infiltrazione dell'acqua nel suolo, la distanza minima dalla falda consigliata è di 1 m (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

## Principio di funzionamento

Il run-off attraversa la superficie delle fasce filtro in modo uniforme e a bassa velocità, con conseguente riduzione del contenuto di sedimenti, materia organica e metalli pesanti (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; CVC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013); maggiore è la lunghezza del percorso attraversato dall'acqua, maggiore è l'intensità della depurazione della stessa (CIRIA, 2015). L'infiltrazione dell'acqua nel suolo, inoltre, consente la rimozione di determinati inquinanti attraverso processi di fitodepurazione; il tasso di infiltrazione è generalmente basso per gli eventi meteorici più intensi, mentre per quelli più leggeri tutta l'acqua può essere infiltrata nel suolo (CIRIA, 2015).

Possono essere utilizzate come aree di pretrattamento a monte di canali vegetati, rain gardens o trincee drenanti al fine di ridurre la quantità di sedimenti contenuta nel run-off, o come sistemi di trattamento delle acque indipendenti (CIRIA, 2015).

La rimozione di inquinanti, tuttavia, può variare di caso in caso ed è quindi consigliabile inserire sempre altre strutture di gestione delle acque meteoriche a valle delle fasce filtro (CIRIA, 2015).

## Superficie impermeabile servita

La fascia filtro vegetata è utilizzabile per gestire l'acqua proveniente da superfici impermeabili di larghezza massima tra i 25 e i 50 m (CIRIA, 2015; UACDC, 2010) (Claytor, et al., 1996; CVC, 2010) e una pendenza massima della stessa del 3% (CVC, 2010).

## Dimensionamento

Le fasce filtro vegetate generalmente occupano un'area pari al 50-100% della superficie impermeabile servita (University of Tennessee, 2013).

## Struttura e componenti

### Punti di ingresso dell'acqua

L'acqua entra nelle fasce filtro in modo diffuso e, al fine di distribuirla uniformemente, è opportuno inserire strutture di diffusione del flusso a monte delle fasce filtro, quali, ad esempio, cordoli con aperture distribuite uniformemente o trincee riempite con ghiaia (Fig. 8.2); alcune di queste strutture agiscono anche da pretrattamento, favorendo la deposizione di parte dei sedimenti (CIRIA, 2015; CVC, 2010). Sono consigliate una larghezza minima di 15 cm e una profondità minima di 5 cm per tutte le strutture di distribuzione del flusso (CIRIA, 2015).

È inoltre consigliabile prevedere un dislivello di almeno 5 cm rispetto alla superficie impermeabile servita, con la fascia filtro posta a una quota inferiore, al fine di evitare l'accumulo di sedimenti nella parte iniziale della fascia filtro (CIRIA, 2015).



Fig. 8.2: aperture nei cordoli per l'ingresso dell'acqua, dislivello tra pavimentazione e fascia filtro e fascia in ghiaia per la distribuzione dell'acqua.  
Fonte: CVC, 2010.





## Sponda

È consigliata una pendenza da 1 a 5 % al fine di evitare ristagni e fenomeni erosivi, con le parti sommitale e basale con pendenza intorno all'1%. In caso di valori superiori a questo range è opportuno modellare la sponda in modo da uniformare il più possibile il flusso dell'acqua prevenendo canalizzazioni (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; CVC, 2010; Barrett, et al., 2004).

La sponda deve essere strutturata in modo da mantenere una velocità di flusso massima di 1,5 m/s per prevenire fenomeni erosivi e massimizzare la lunghezza del percorso seguito dall'acqua (CIRIA, 2015; UACDC, 2010).

La larghezza minima della fascia filtro consigliata è di 5 m (CIRIA, 2015; CVC, 2010; UACDC, 2010) fino a, generalmente, un massimo di 30-35 m (UACDC, 2010; City of Edmonton, 2014).

## Vegetazione

La vegetazione contribuisce al miglioramento della qualità del run-off attraverso processi di filtrazione e fitodepurazione e, rallentandone la velocità, favorisce i processi di sedimentazione. Al fine di massimizzare gli effetti della vegetazione sulle acque di run-off, è opportuna una copertura vegetale molto fitta (Fig. 8.3) (CIRIA, 2015).

## Strato filtrante/substrato

Consente la crescita della vegetazione e l'infiltrazione dell'acqua. È consigliata una profondità minima di questo strato pari a 15 cm (CIRIA, 2015).

## Punti di uscita dell'acqua

L'acqua uscente dalle fasce filtro viene generalmente direzionata verso altre strutture di gestione della stessa, come canali vegetati o rain gardens, per cui non servono particolari dispositivi o accorgimenti per l'uscita dell'acqua dalle fasce filtro (CIRIA, 2015). Qualora la fascia filtro venga, invece, utilizzata come unico sistema di gestione del run-off, è opportuno inserire a valle un argine poroso alto 15- 30 cm, contenente un tubo di drenaggio per l'allontanamento dell'acqua verso la rete di drenaggio principale; durante gli eventi meteorici più intensi l'argine può essere superato e l'acqua viene convogliata verso punti di raccolta collegati al sistema di drenaggio principale (Cappiella, et al., 2006).

## Rivestimenti

Qualora sia necessario impedire l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo è opportuno inserire un telo impermeabile alla profondità di 50 cm (CIRIA, 2015).

Materiali

## Strutture di diffusione del flusso

Devono essere realizzate in materiale non tossico e durevole (CIRIA, 2015).

## Substrato

Qualora il terreno del sito sia eccessivamente compattato è necessario lavorarlo per una profondità di 30 cm e, eventualmente, ammendarlo affinché sia sufficientemente permeabile e in grado di supportare la vegetazione (CIRIA, 2015; CVC, 2010). Un buon esempio è il mix proposto come substrato per i rain gardens.

## Vegetazione

Le fasce filtro sono generalmente vegetate con prato rasato ad altezza compresa tra 7,5 e 15 cm, ma si possono utilizzare anche prati fioriti. La scelta delle specie deve tenere in considerazione la presenza di inquinanti e sali nel run-off convogliato sulla fascia filtro. È sconsigliato l'impianto di macchie arbustive fitte e alberi, poiché rendono difficoltoso il mantenimento di una fitta copertura del suolo. Qualora sia inserita una barriera per l'accumulo dell'acqua a valle della fascia filtro, la vegetazione presente in quest'area deve essere resistente a periodici allagamenti (CIRIA, 2015; CVC, 2010).

## Manutenzione

La manutenzione delle fasce filtro è simile a quella effettuata per le tradizionali aree verdi; sono necessari controlli sulla deposizione di sedimenti e la rimozione di detriti e rifiuti, ma l'operazione più onerosa è lo sfalcio del tappeto erboso. È essenziale asportare i residui di sfalcio al fine di rimuovere i nutrienti e gli eventuali inquinanti in essi contenuti (CIRIA, 2015) ed evitare l'utilizzo di diserbanti e prodotti fitosanitari (DDC, 2005).

Manutenzione mensile:

- sfalcio del tappeto erboso a 7,5-15 cm e asportazione dei residui (CIRIA, 2015; Houston-Galveston Area Council, 2016);
- rimozione di detriti, rifiuti e specie invasive (CIRIA, 2015; Houston-Galveston Area Council, 2016);
- monitoraggio della copertura vegetale e di fenomeni di intasamento, erosione, compattamento, sedimentazione e contaminazione per il primo periodo successivo alla realizzazione (CIRIA, 2015).

Manutenzione semestrale:

- monitoraggio della copertura vegetale e di fenomeni di intasamento, erosione, compattamento, sedimentazione e contaminazione (CIRIA, 2015;

Houston-Galveston Area Council, 2016).

Manutenzione pluriennale:

- rimozione dei sedimenti, da effettuare quando lo strato depositato supera i 25 mm (CIRIA, 2015).

Manutenzione straordinaria:

- trasemina del tappeto erboso quando il terreno nudo supera il 10% dell'area totale (CIRIA, 2015);
- riparazione di eventuali danni dovuti all'attività di rimozione dei sedimenti o a fenomeni erosivi (CIRIA, 2015);
- sistemazione delle pendenze, qualora alterate (CIRIA, 2015);
- scarificazione del suolo per ripristinarne la permeabilità, qualora ridotta (CIRIA, 2015).

## Riciclabilità

I sedimenti rimossi, quando provenienti da aree residenziali e strade comuni, possono essere riutilizzati in loco o per operazioni di riempimento; l'analisi degli stessi è opzionale, mentre è obbligatoria per i sedimenti provenienti da aree industriali e strade ad alto traffico (CIRIA, 2015).

## Fruibilità e sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

Le fasce filtro costituiscono spazi verdi e aperti inseribili in prossimità di aree impermeabilizzate e sono facilmente integrabili con il contesto (CIRIA, 2015).

### Sicurezza

Quando inserite a lato strada, è opportuno inserire cordoli o barriere simili tali da impedire l'accesso ai veicoli, ma lasciare comunque passare l'acqua; a tale scopo si possono utilizzare, ad esempio, alberi, dissuasori, guardrails o cordoli con aperture (CIRIA, 2015).

È inoltre consigliabile evitare il più possibile il passaggio di pedoni e biciclette sulle fasce filtro (CIRIA, 2015).

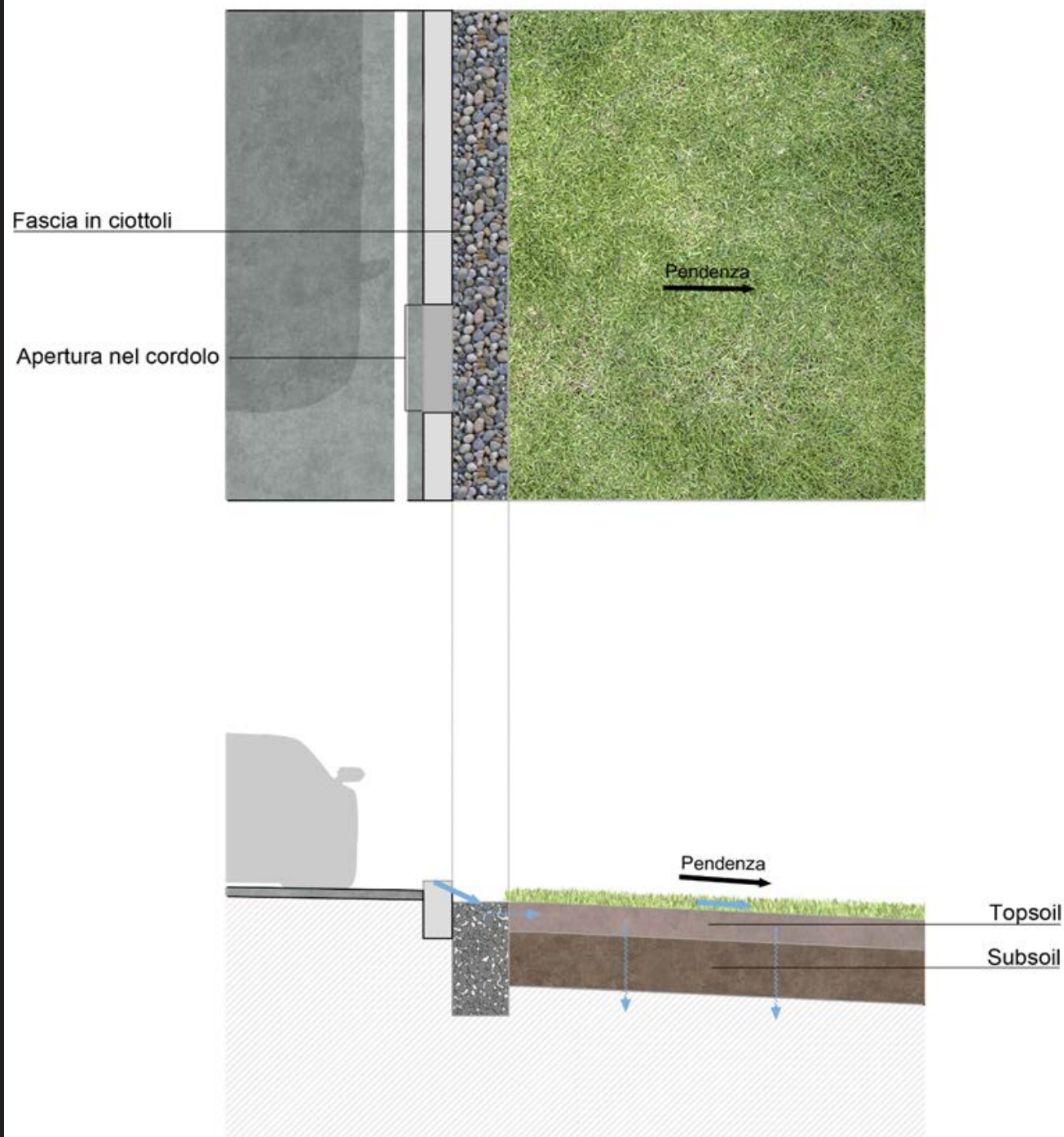
### Costi

Generalmente il costo di realizzazione delle fasce filtro vegetate è paragonabile a quello del tappeto erboso, indicativamente 3 €/m<sup>2</sup> in caso di semina e 8 €/m<sup>2</sup> per il prato in rotoli (CVC, 2010).

Schema costruttivo di fascia filtro  
vegetata.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.







# TRINCEE FILTRANTI





# Definizione

Le trincee filtranti (Fig. 9.1) sono trincee scavate nel terreno e riempite con ciottoli o altro materiale drenante, nel quale viene spesso inserito, sul fondo, un tubo di drenaggio, ed eventualmente ricoperte con vegetazione o pavimentazioni drenanti. Raccolgono il run-off proveniente dalle superfici circostanti, ne migliorano la qualità, aiutano a regolarne la portata, ne consentono l'infiltrazione nel sottosuolo e lo convogliano verso la rete di drenaggio principale o ad altre strutture di gestione delle acque meteoriche (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005; UACDC, 2010; City of Vancouver, 2016). Possono sostituire i tradizionali sistemi di trasporto dell'acqua (CIRIA, 2015).

Miglioramento della qualità del run-off  
Riduzione del volume e della portata di run-off  
Trasporto del run-off raccolto

Infiltrazione

Funzioni

Fig. 9.2: trincea filtrante realizzata sotto a pavimentazione permeabile.

Fonte: Philadelphia Water Department, 2014.

## Scala e posizionamento

Le trincee filtranti sono utilizzabili in diversi contesti, anche sotto a superfici sia minerali che vegetate (Fig. 9.2) (CIRIA, 2015; Philadelphia Water Department, 2014; City of Vancouver, 2016) e sono spesso utilizzate su suoli scarsamente drenanti, ove facilitano l'allontanamento delle acque meteoriche (CVC,

2010; Houston-Galveston Area Council, 2016). Sono raramente utilizzate in operazioni di riqualificazione a causa della facilità di interferenza con altri sottoservizi (CIRIA, 2015).

È consigliabile evitare il posizionamento vicino a grandi alberi, le cui radici causerebbero problemi di intasamento (UACDC, 2010).

## Sottosuolo/pendenza

Quando è consentita l'infiltrazione dell'acqua nel suolo, la distanza minima dalla falda consigliata è di 0,6 – 1 m (CIRIA, 2015; CVC, 2010; City of Vancouver, 2016).

Per aree con pendenza superiore al 2%, è necessario disporre le trincee in modo che la pendenza delle stesse non superi questo valore (CIRIA, 2015).

## Principio di funzionamento

Il run-off proveniente dalle superfici circostanti si infila nel materiale poroso contenuto nelle trincee drenanti e viene fatto infiltrare nel sottosuolo e/o convogliato nei tubi di drenaggio presenti all'interno delle stesse per essere trasportato verso la rete di drenaggio principale o altre strutture di gestione delle acque meteoriche (CIRIA, 2015; CVC, 2010; DDC, 2005; UACDC, 2010; Philadelphia Water



Department, 2014). Infiltrandosi viene depurato dagli inquinanti disciolti, ed eventualmente dai sedimenti, attenuando il volume e la portata di run-off. Le trincee drenanti devono potersi svuotare completamente tra un evento meteorico e l'altro (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016).

## Superficie impermeabile servita

È consigliata una superficie impermeabile servita pari a 8 - 10.000 m<sup>2</sup> (UACDC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016), fino ad un massimo di 20.000 m<sup>2</sup> (Pelletier, et al., 2011).

## Struttura e componenti

Le trincee filtranti possono essere collocate in superficie o nel sottosuolo; nel primo caso il materiale di riempimento della trincea è visibile in superficie, mentre nel secondo la trincea può essere ricoperta, ad esempio, da substrato con vegetazione o pavimentazioni permeabili<sup>16</sup>.

## Punti di ingresso dell'acqua

Non sono concepite come strutture per l'accumulo dei sedimenti, per cui è sempre opportuno inserire una fascia filtro vegetata a monte al fine di prevenirne l'intasamento (CIRIA, 2015): una fascia filtro larga anche solamente 50 cm è in grado di ridurre significativamente la quantità di sedimenti convogliati nella trincea, riducendo la manutenzione richiesta (CIRIA, 2015). Quando questo non è possibile, è necessario inserire uno strato di geotessuto permeabile nella parte superiore della trincea, in modo che sia facilmente sostituibile quando intasato; questa soluzione, tuttavia, richiede manutenzione molto più frequente per via della tendenza di questo materiale a intasarsi (CIRIA, 2015). Qualora il run-off sia convogliato alle trincee drenanti in modo puntiforme, tramite tubature, il pretrattamento può essere effettuato con pozzetti di sedimentazione (Fig. 9.3) (CIRIA, 2015; DDC, 2005).



[IN ALTO] Fig. 9.3: fasce inerbite come forma di pretrattamento del run-off per una trincea filtrante superficiale in ghiaia. Fonte: [www.montgomerycountymd.gov](http://www.montgomerycountymd.gov)  
[IN BASSO] Fig 9.4: caditoia con pozzetto di sedimentazione per l'ingresso dell'acqua in una trincea filtrante sotterranea. Fonte: Philadelphia Water Department, 2014.

## Trincea

Può essere realizzata come un semplice scavo nel terreno rivestito con geotessuto (Fig. 9.5) lungo il fondo e le pareti laterali, permeabile o impermeabile (nel secondo caso solo quando si vuole evitare l'infiltrazione dell'acqua nel terreno), oppure essere costituita da elementi in calcestruzzo. La profondità varia generalmente tra 0,5 m e 3 m<sup>17</sup> (City of Vancouver, 2016; CIRIA, 2015), ma può arrivare anche a 4 m (UACDC, 2010), mentre la larghezza varia generalmente da 0,5 a 2,5 m (UACDC, 2010; CVC, 2010; City of Vancouver, 2016).

La pendenza massima consigliata è del 2%; pendenze maggiori comportano un flusso dell'acqua troppo veloce a discapito della capacità di depurazione delle acque raccolte (CIRIA, 2015). Secondo il Regolamento Regionale la pendenza in superficie può arrivare fino al 5%<sup>18</sup>, mentre è consigliabile che il fondo non sia in pendenza per evitare che l'acqua trovi percorsi preferenziali d'infiltrazione.

## Riempimento

Si effettua con un materiale granulare poroso che abbia permeabilità tale da consentire un rapido movimento dell'acqua e prevenire il rischio di intasamento, generalmente ghiaia o ghiaietto. Nel caso in cui la trincea sia sottoposta a carichi in superficie, come in caso di traffico pedonale o veicolare, è necessario utilizzare un materiale in grado di supportarli (CIRIA, 2015).

Unitamente ai ciottoli si possono utilizzare sistemi geocellulari, che hanno un maggiore volume disponibile per l'accumulo, ma non contribuiscono alla depurazione delle acque raccolte (CIRIA, 2015).

Il riempimento viene suddiviso in uno strato superficiale in ghiaia, posto al di sopra del geotessuto, e in uno strato in sabbia al di sotto del geotessuto (DDC, 2005).



## Tubi di drenaggio

Può essere necessaria l'aggiunta di un tubo di drenaggio per facilitare il trasporto a valle delle acque raccolte (Fig. 9.6); questo deve essere posizionato nella metà superiore della trincea quando viene consentita l'infiltrazione dell'acqua, mentre nella metà inferiore quando questa non è prevista (CIRIA, 2015). Lungo i tubi di drenaggio devono essere posizionati, a intervalli regolari (da 10 a 90 m), tubi verticali di 10-20 cm di diametro chiusi alla sommità con pozzetti di ispezione dai quali sia possibile effettuare la manutenzione necessaria al corretto funzionamento dei tubi e verificare il livello dell'acqua all'interno della trincea<sup>20</sup> (CIRIA, 2015).



## Punti di uscita dell'acqua

Le tubature per il deflusso dell'acqua verso la rete di drenaggio principale o altre strutture di gestione delle acque meteoriche devono avere portata maggiore rispetto a quelle di ingresso (CVC, 2010).

## Troppopieno

È consigliabile installare strutture di troppopieno, munite di pozzetti d'ispezione, per la gestione delle acque di eventi meteorici che superano la capacità delle trincee filtranti (CIRIA, 2015; CVC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; City of Vancouver, 2016).

## Geotessuti

Qualora si inserisca geotessuto come forma di pretrattamento nella parte alta della trincea, questo deve essere facilmente rimuovibile e sostituibile (CIRIA, 2015). È inoltre consigliabile inserire geotessuto permeabile lungo i lati della trincea per prevenire l'ingresso di particelle fini dal terreno circostante<sup>21</sup> (CIRIA, 2015; CVC, 2010; UACDC, 2010; City of Vancouver, 2016).

## Materiali

### Riempimento

Qualora si voglia ricoprire la trincea con vegetazione, è opportuno aggiungere uno strato, profondo almeno 10 cm, di substrato adatto alla coltivazione delle piante, eventualmente separato dal riempimento tramite uno strato di sabbia profondo 20 cm al di sotto del quale si pone il geotessuto.

Il riempimento si effettua con ghiaia o ghiaietto di granulometria 40-80 mm e porosità del 30-40 %<sup>18</sup> (CVC, 2010; DDC, 2005). Materiali più grossolani consentono un movimento più rapido dell'acqua, mentre materiali più fini filtrano particelle più fini (CIRIA, 2015). Uno dei materiali migliori è la sabbia, ottima per la rimozione dei solidi sospesi in soluzione,

mentre suoli ricchi di sostanza organica sono migliori per la rimozione di metalli pesanti e fosforo (CIRIA, 2015).

Si possono aggiungere strati di sabbia, carbone attivo granulare (GAC), graniglia o compost per intensificare i processi di depurazione del run-off, ma queste aggiunte (abbastanza eccezionali) comportano un aumento dei costi (CIRIA, 2015).

## Tubi di drenaggio

Si utilizzano tubi porosi, in HDPE o simili, da 10-20 cm di diametro (CVC, 2010).

## Vegetazione

È possibile inserire substrato di coltivazione nella parte sommitale delle trincee drenanti al fine di mettervi a dimora piante ornamentali. Nel caso in cui la vegetazione sia costituita da tappeto erboso, questa può aiutare a prevenire l'intasamento della superficie (CIRIA, 2015).

[PAGINA A FIANCO, A SINISTRA] Fig. 9.5: trincea rivestita con geotessuto permeabile.

Fonte: [www.externalworksindex.co.uk](http://www.externalworksindex.co.uk)

[PAGINA A FIANCO, A DESTRA] Fig. 9.6: trincea filtrante in fase di realizzazione; si notino il materiale di riempimento, il tubo di drenaggio e il geotessuto di separazione con il topsoil di copertura.

Fonte: <https://wiki.sustainabletechnologies.com>



## Manutenzione

Nel caso in cui le trincee filtranti siano utilizzate per la rimozione dei sedimenti del run-off, è necessaria una manutenzione molto più frequente, al fine di sostituire o ripristinare il materiale di riempimento e/o il geotessuto intasati rimuovendo i sedimenti (CIRIA, 2015).

Manutenzione mensile:

- rimozione dei detriti dalla superficie delle trincee e dalle aree di pretrattamento (al bisogno) (CIRIA, 2015; DDC, 2005);
- ispezione delle trincee per eventuali fenomeni di ristagno e danni (CIRIA, 2015).

Manutenzione semestrale:

- ispezione delle aree di pretrattamento, dei punti di ingresso dell'acqua e delle tubature per verificare l'accumulo di sedimenti e programmare gli interventi di rimozione degli stessi (CIRIA, 2015);
- pulizia delle aree di pretrattamento e dei troppopieno (DDC, 2005).

Manutenzione annuale:

- pulizia dei punti di ingresso e uscita dell'acqua (CVC, 2010; Philadelphia Water Department, 2014).

Manutenzione straordinaria:

- controllo di eventuali radici di alberi in conflitto con le trincee drenanti (CIRIA, 2015);
- pulizia o sostituzione del geotessuto e del materiale di riempimento quando intasato (ogni 5 anni o al bisogno) (CIRIA, 2015);
- pulizia dei tubi di drenaggio se intasati (CIRIA, 2015).

## Riciclabilità

I sedimenti rimossi, quando provenienti da aree residenziali e strade comuni, possono essere riutilizzati in loco o per operazioni di riempimento; l'analisi degli stessi è opzionale, mentre è obbligatoria per i sedimenti provenienti da aree industriali e strade ad alto traffico (CIRIA, 2015).

## Fruibilità e sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

Le trincee filtranti possono essere facilmente inserite in diversi ambiti e, se opportunamente progettate, possono fungere da elementi lineari, come aiuole o percorsi, integrabili nel contesto. (CIRIA, 2015).

## Sicurezza

Il passaggio e la sosta di veicoli sulla superficie delle trincee filtranti, quando non progettate per supportare tali carichi, è la maggior causa di danno alle stesse e può comportare problemi di sicurezza per i mezzi in transito; per questo motivo, è essere opportuno l'inserimento di barriere, come guardrails, dissuasori, ecc. (CIRIA, 2015).

## Costi

Costo di realizzazione: 60-90 €/m<sup>3</sup> (Pelletier, et al., 2011).

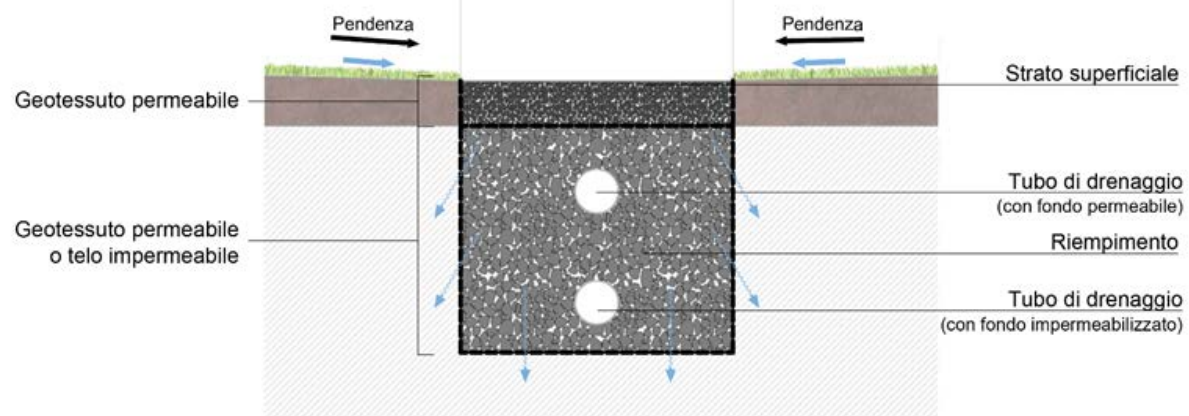
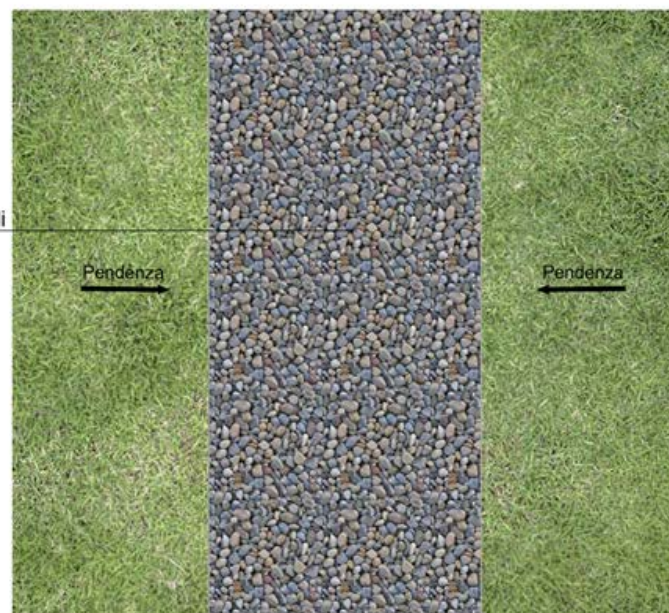
Costi di manutenzione: 5-10% dei costi di realizzazione (Pelletier, et al., 2011; Keating, et al., 2015).

Schema costruttivo di trincea filtrante.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.

Strato superficiale in ciottoli



## Note

16: "Le trincee possono essere allocate in superficie o nel sottosuolo: quelle in superficie ricevono il deflusso superficiale direttamente dalle aree adiacenti mentre quelle nel sottosuolo possono ricevere il deflusso da altre reti drenanti, ma richiedono l'utilizzo di ulteriori pretrattamenti per impedire che particolato grossolano, terreno e foglie occludano la struttura." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 86).

17: "La trincea d'infiltrazione può descriversi, schematicamente, come uno scavo lungo e profondo (generalmente la profondità è compresa tra 1 e 3 metri) riempito con materiale ad alta conduttività idraulica, ad esempio ghiaia o ghiaietto." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 85).

18: "La pendenza in superficie della trincea d'infiltrazione deve essere inferiore al 5%, mentre è consigliabile che quella del fondo sia

prossima a zero per evitare che il liquido trovi delle traiettorie preferenziali d'infiltrazione." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 87).

19: "Per quel che riguarda il materiale di riempimento dello strato di base della struttura, può essere convenzionale (es. granito frantumato) ovvero non convenzionale (es. gabbie modulari in materiale plastico) che a parità di volume di scavo garantiscono un maggiore volume dei vuoti). Nel primo caso il diametro massimo degli aggregati non deve eccedere i 40÷80 mm, il volume dei vuoti del riempimento deve aggirarsi intorno il 30-40% e l'intero strato di riempimento è circondato da un tessuto filtrante." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pagg. 86-87).

20: "Infine, nella trincea si colloca una condotta verticale forata, avente un diametro di circa 100÷200 mm e munita di coperchio in superficie, allo scopo di osservare in ogni momento il livello

idrico nello strato di base." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 86).

21: "Al contorno dello strato di detenzione è, generalmente, collocato un tessuto permeabile (geotessuto) che ostacola l'ingresso delle particelle fini all'interno del sistema." (Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 86).





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

SUDS - SOLUZIONI PROGETTUALI TIPO DI INFRASTRUTTURE  
VERDI PER LA GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

RAFFAELE BONSIGNORI, GIULIO SENES



PRATI ARMATI



# Definizione

I prati armati (Fig. 10.1) sono tappeti erbosi che, grazie all'aggiunta di strutture di rinforzo, sono adatti al traffico pedonale e/o veicolare e accumulano le acque meteoriche nel sottofondo, per poi lasciarlo infiltrare nel sottosuolo, con conseguente riduzione del volume del run-off generato e miglioramento della qualità dello stesso (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014).

Riduzione del volume e della portata di run-off

Miglioramento della qualità del run-off

Infiltrazione

Funzioni

[PAGINA A FIANCO] Fig. 10.1: prato armato con autobloccanti in calcestruzzo utilizzati come pavimentazione per gli stalli di un parcheggio. Fonte: [www.paviblok.it/](http://www.paviblok.it/)



## Scala e posizionamento

I prati armati sono adatti ad aree pedonali, con traffico veicolare leggero e di sosta (CIRIA, 2015; CVC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; University of Tennessee, 2013), ma sono sconsigliati laddove il run-off contenga un alto carico di sedimenti o inquinanti (CIRIA, 2015; TRCA, 2010; City of Edmonton, 2014; CVC, 2010; Houston-Galveston Area Council, 2016; Conner, et al., 2019; Masseroni, et al., 2018).

Sono ideali per la realizzazione di pavimentazioni in cui inserire alberature, perché consentono l'ingresso di acqua e aria nel terreno (CIRIA, 2015) e per spazi ristretti nei quali non è possibile inserire altre strutture di gestione delle acque meteoriche (City of Edmonton, 2014).

## Sottosuolo/pendenza

I prati armati sono consigliati per aree con pendenza dall'1 al 5% (CVC, 2010; City of Vancouver, 2016).

Quando l'infiltrazione dell'acqua è consentita, è opportuna una distanza minima dalla falda di 1 m (CVC, 2010). E', invece, opportuno aggiungere uno strato impermeabile sul fondo quando il sottosuolo ha scarsa permeabilità ( $< 15$  mm/h (City of Edmonton, 2014)), o quando l'infiltrazione può porre problemi dal punto di vista idro-geologico o di protezione della

falda acquifera, o quando si vuole convogliare l'acqua a sistemi di accumulo per il riutilizzo (CIRIA, 2015).

## Principio di funzionamento

I prati armati costituiscono una superficie inerbita in grado di supportare i carichi esercitati dal traffico di veicoli e persone e nella quale il substrato di crescita per il tappeto erboso viene protetto dalla compattazione, con benefici per la vegetazione (UACDC, 2010).

Consentono la gestione diretta delle acque meteoriche intercettate, che vengono fatte infiltrare nel sottofondo, ed eventualmente di quelle provenienti dalle superfici impermeabili circostanti. Durante l'infiltrazione attraverso gli strati inferiori le acque vengono depurate grazie a fenomeni di sedimentazione, adsorbimento da parte del materiale poroso e biodegradazione (CIRIA, 2015).

I prati armati possono essere progettati per infiltrare tutta o in parte l'acqua intercettata nel sottosuolo o essere dotati di impermeabilizzazione e tubi di drenaggio sotterranei per l'allontanamento dell'acqua verso la rete di drenaggio principale o altre strutture di gestione delle acque meteoriche (CIRIA, 2015; CVC, 2010; Conner, et al., 2019; Philadelphia Water Department, 2014; Masseroni, et al., 2018). In entrambi i casi, i materiali costituenti il sottofondo,

essendo porosi, consentono l'accumulo temporaneo di acqua riducendo il volume del run-off (CIRIA, 2015).

## Superficie impermeabile servita

Qualora i prati armati vengano progettati per ricevere acque di run-off dalle superfici impermeabili circostanti, queste devono essere al massimo il doppio rispetto ai prati stessi 2:1 (City of Vancouver, 2016; CIRIA, 2015; CVC, 2010).

## Struttura e componenti

A differenza dei tappeti erbosi tradizionali, i prati armati sono dotati di griglie di rinforzo, tipicamente in materiale plastico o calcestruzzo, che consentono di supportare carichi maggiori (CIRIA, 2015). Al di sotto delle griglie vi sono il substrato di coltivazione, uno strato di geotessuto e un sottofondo drenante composto da strati di ghiaia di granulometria via via crescente. Sul fondo dello strato di drenaggio può essere inoltre steso un telo impermeabile per evitare l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo (Masseroni, et al., 2018).

## Punti di ingresso dell'acqua

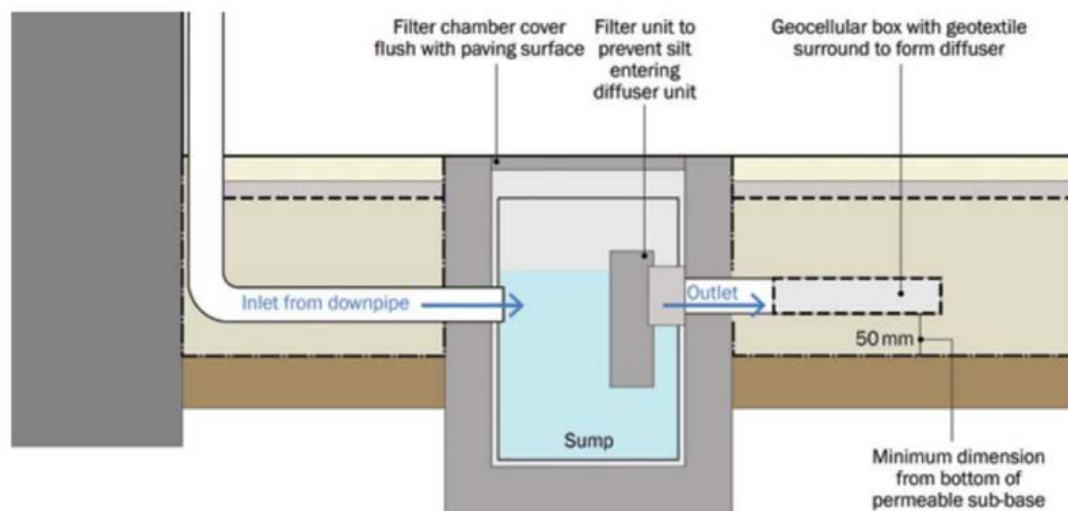
Generalmente l'acqua entra nei prati armati per infiltrazione direttamente dalla superficie degli stessi, ma, qualora il sottofondo abbia elevata capacità di accumulo, vi si può convogliare anche l'acqua proveniente dalle superfici circostanti: in tal caso è sempre opportuno che il run-off sia distribuito sulla superficie dei prati armati in modo diffuso e non puntiforme, al fine di prevenire l'intasamento della superficie (CIRIA, 2015).

Il run-off proveniente da tetti, invece, avendo generalmente un basso contenuto di sedimenti, può essere convogliato direttamente nel sottofondo

tramite tubature; in tal caso è comunque preferibile inserire pozzetti di laminazione (Fig. 10.2) in corrispondenza dei punti di ingresso dell'acqua e distribuire l'acqua all'interno del sottofondo con appositi distributori di flusso (CIRIA, 2015).

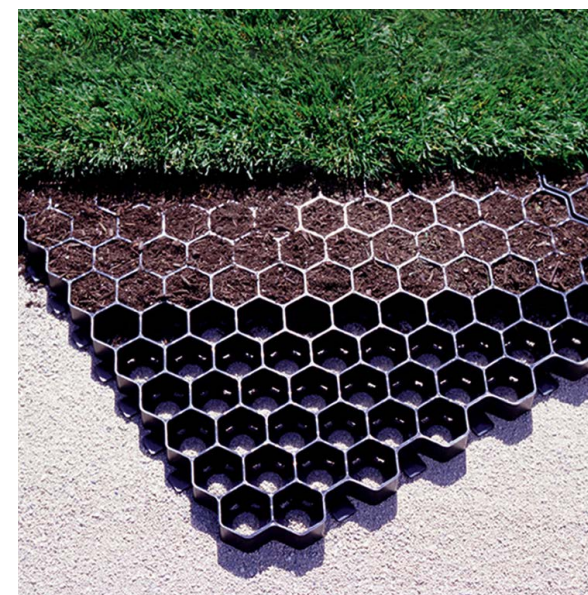
## Griglie

Le griglie, in materiale plastico (Fig. 10.3) o calcestruzzo, conferiscono al tappeto erboso resistenza ai carichi esercitati dal passaggio di persone e veicoli, proteggendo il substrato dalla compattazione (CIRIA, 2015; CVC, 2010).



[IN BASSO, A SINISTRA] Fig. 10.2: schema di pozzetto di laminazione per la riduzione del carico di sedimenti contenuti nell'acqua convogliata direttamente nel sottofondo del prato armato. Fonte: CIRIA, 2015.

[IN BASSO, A DESTRA] Fig. 10.3: struttura reticolare in HDPE per prati armati. Fonte: [www.landscapediscount.net/](http://www.landscapediscount.net/)



## Substrato

Al di sotto delle griglie, per una profondità di 10 cm, e all'interno delle stesse, è necessario inserire il substrato di coltivazione del tappeto erboso, generalmente costituito da terreno sabbioso con un contenuto di sostanza organica tale da supportare la vegetazione (Masseroni, et al., 2018; Carlson, et al., 2013; CIRIA, 2015). Il riempimento di substrato non deve arrivare al livello superiore delle griglie, ma essere leggermente al di sotto (CIRIA, 2015).

## Geotessuto

È consigliabile inserire uno strato di geotessuto tra il substrato di coltivazione e lo strato di drenaggio per evitare la migrazione verticale di particelle fini all'interno di quest'ultimo e tra il sottofondo dei prati armati e il terreno circostante (Masseroni, et al., 2018; Carlson, et al., 2013).

## Strato di drenaggio

Raccoglie l'acqua proveniente dagli strati soprastanti, funge da strato di accumulo temporaneo e consente l'infiltrazione nel sottosuolo. Se il fondo è impermeabilizzato devono essere inseriti tubi di drenaggio che raccolgono l'acqua e la convogliano alla rete di drenaggio principale o ad altre strutture

di gestione delle acque meteoriche. Nel caso siano progettati per l'infiltrazione, il fondo di questo strato è piatto, nel caso di fondo impermeabile, è consigliata una pendenza minima dello 0,1% per facilitare l'allontanamento delle acque (City of Vancouver, 2016).

## Troppopieno

Può essere opportuno inserire un sistema di troppopieno per la gestione delle acque meteoriche in eccesso in caso di eventi meteorici particolarmente intensi (Masseroni, et al., 2018).

## Materiali

### Griglie

Si possono utilizzare griglie in HDPE o autobloccanti in calcestruzzo vibrocompresso appositamente disegnati per l'inserimento di substrato e vegetazione negli spazi vuoti (CIRIA, 2015; City of Vancouver, 2016; CVC, 2010; Masseroni, et al., 2018). Gli autobloccanti in calcestruzzo lasciano l'80% della superficie disponibile per la coltivazione del tappeto erboso<sup>22</sup>.

### Substrato

Sono consigliati substrati sabbiosi con un contenuto

di sostanza organica tale da supportare la vegetazione (CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013; Masseroni, et al., 2018) e permeabilità minima di 50 mm/h (Pelletier, et al., 2011).

## Geotessuto

I geotessuti utilizzati per i prati armati devono supportare i carichi esercitati dai veicoli (superiori per i geotessuti posti più in superficie) e avere una durata di vita pari a quello dei prati stessi. Possono essere realizzati in poliestere (PE), polipropilene (PP) o materiali con caratteristiche simili (CIRIA, 2015).

Gli eventuali teli impermeabili sono tipicamente in polietilene ad alta densità (HDPE), gomme EPDM e materiali analoghi che possano supportare i carichi esercitati in superficie, essere resistenti a tagli e fessurazioni, essere inalterabili da parte di eventuali inquinanti disciolti in soluzione ed essere uniti tra di loro e con le strutture di deflusso dell'acqua con giunti a tenuta stagna (CIRIA, 2015).

## Strato di drenaggio

Lo strato di drenaggio è composto generalmente da ghiaia lavata di granulometria crescente verso il basso: partendo dal fondo, si posano 15 cm di granulometria di 25-75 mm, quindi 10 cm di granulometria 5-40 mm (Masseroni, et al., 2018). È necessario inserire tubi di



drenaggio quando il suolo ha permeabilità < 15 mm/h (CVC, 2010; City of Vancouver, 2016).

## Vegetazione

È opportuno scegliere specie da tappeto erboso resistenti al calpestio (Masseroni, et al., 2018).

## Manutenzione

Al fine di preservare la copertura vegetale dei prati armati è opportuno, nei contesti nei quali ve ne è necessità, spargere sali antighiaccio solo quando strettamente necessario (CVC, 2010).

Manutenzione mensile:

- sfalcio dei tappeti erbosi (lunghezza minima 10 cm, al bisogno) con asportazione dei residui (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015);
- irrigazione (al bisogno) (CIRIA, 2015);
- pulizia delle aree il cui run-off viene convogliato ai prati armati (al bisogno) (CIRIA, 2015; CVC, 2010; University of Tennessee, 2013).

Manutenzione trimestrale:

- rimozione di rifiuti, detriti e specie invasive (al bisogno) (City of Edmonton, 2014).

Manutenzione semestrale:

- controllo per elementi danneggiati e fenomeni di ristagno (City of Edmonton, 2014);
- controllo della permeabilità tramite test d'infiltrazione (City of Edmonton, 2014).

Manutenzione straordinaria, effettuata al bisogno:

- sostituzione di elementi danneggiati e riparazione di eventuali sfondamenti (CIRIA, 2015);
- rimozione e sostituzione o ripristino dello strato superficiale quando intasato (ogni 10-15 anni) (CIRIA, 2015);
- trasemina del tappeto erboso quando l'area con piante malate o morte supera il 10% del totale (CIRIA, 2015);
- sostituzione dello strato drenante in ghiaia, quando non più sufficientemente permeabile (> 30 anni) (City of Edmonton, 2014);
- sostituzione dei tubi di drenaggio, quando necessario (> 30 anni) (City of Edmonton, 2014).

## Durata di vita

I prati armati perdono il 60-75% della permeabilità iniziale dopo 20-40 anni (UACDC, 2010; AAVV, 2013; City of Edmonton, 2014).

## Fruibilità e sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

I prati armati sono spazi fruibili dalla popolazione e possono avere un aspetto simile ai comuni tappeti erbosi (CIRIA, 2015).

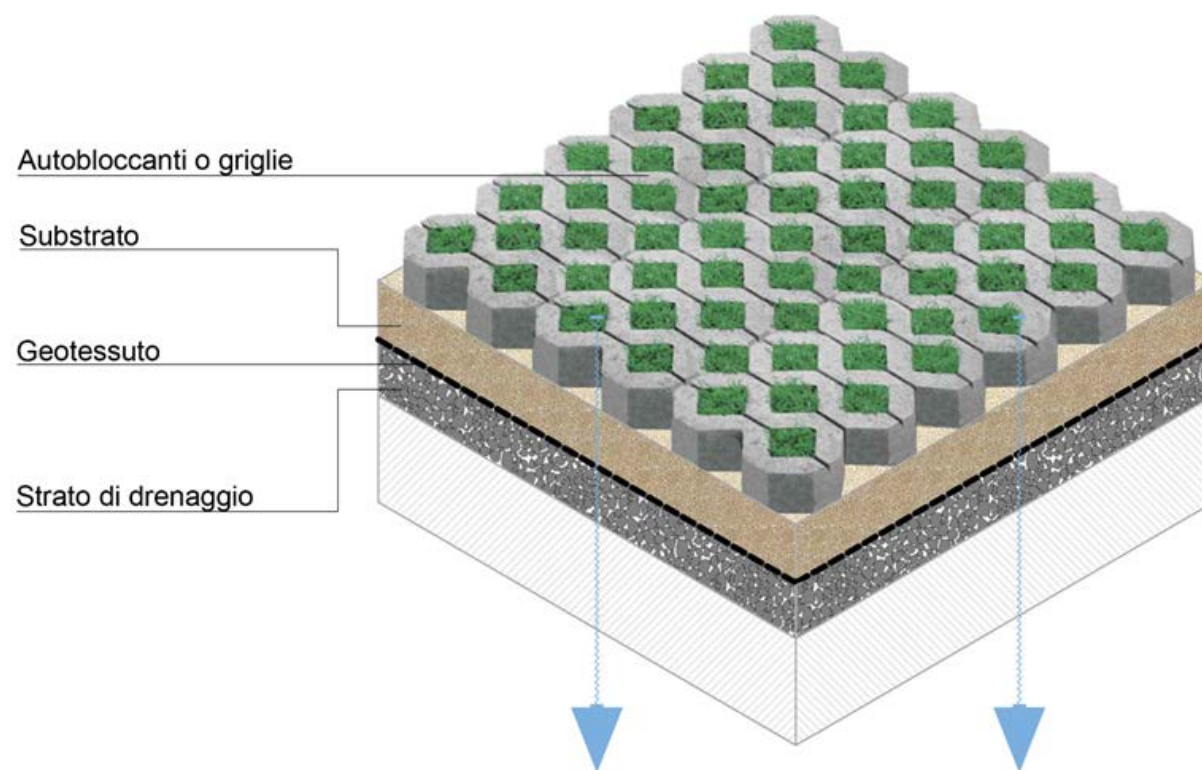
### Sicurezza

I prati armati non pongono particolari problematiche di sicurezza.

### Costi

25-50 €/m<sup>2</sup> (Masseroni, et al., 2018).

Schema costruttivo di prato armato.  
Elaborazione propria.  
Autore: Raffaele Bonsignori.





## Note

22: “[...] i blocchi di calcestruzzo ed erba che formano una griglia di vuoti circondati da calcestruzzo compresso e offrono uno spazio di circa l’80% della superficie complessiva per far crescere l’erba e far infiltrare l’acqua.”  
(Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7. BURL Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019, pag. 92).





TETTI VERDI



# Definizione

I tetti verdi (Fig. 11.1) sono superfici vegetate installate su soletta che intercettano e trattengono le acque meteoriche, riducendo il volume e la portata del run-off generato dalle coperture degli edifici, ritardandone l'ingresso nel sistema di drenaggio e in fognatura, migliorandone la qualità e disperdendo l'acqua trattenuta per evapotraspirazione (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; CVC, 2010; City of Edmonton, 2014; Houston-Galveston Area Council, 2016; Pelletier, et al., 2011; University of Tennessee, 2013; Carlson, et al., 2013; Masseroni, et al., 2018).

Riduzione del volume e della portata di run-off  
Miglioramento della qualità del run-off

Funzioni

[PAGINA A FIANCO] Fig. 11.1: tetto verde.

Fonte: <https://www.thegrmc.com/>

Fig. 11.2: tetto verde piano e in pendenza.

Fonte: <https://zinc-greenroof.com>

## Scala e posizionamento

I tetti verdi estensivi sono realizzabili su coperture sia piatte sia in pendenza (generalmente con pendenza fino al 30%) (CIRIA, 2015; UACDC, 2010; City of Edmonton, 2014; Pelletier, et al., 2011) (Fig. 11.2); al di sopra del 10% di pendenza sono necessarie strutture di contenimento del substrato per evitarne

lo spostamento (CVC, 2010; Pelletier, et al., 2011; Carlson, et al., 2013).

Generalmente, il carico esercitato da un tetto verde è di 60-400 kg/m<sup>2</sup> (Masseroni, et al., 2018; CVC, 2010; Pelletier, et al., 2011; CIRIA, 2015; DNREC, 2016; Carlson, et al., 2013), con massimi fino a 1000-1500 kg/m<sup>2</sup> per tetti intensivi (CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013). Quando installati su solette già esistenti, quelli estensivi, più leggeri, si possono facilmente inserire su strutture non appositamente progettate, mentre quelli intensivi, più pesanti per via della maggiore profondità del substrato, possono richiedere il rinforzo della struttura (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014).

## Principio di funzionamento

I tetti verdi trattengono, in quantità variabile in base alla profondità del substrato, le acque meteoriche cadenti sugli stessi, evitando o ritardando lo scarico nel sistema di drenaggio dell'edificio e, di conseguenza, in fogna, migliorandone, inoltre, la qualità grazie all'attività di piante e substrato (CIRIA, 2015; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013; Pelletier, et al., 2011; University of Tennessee, 2013). L'acqua trattenuta viene poi riutilizzata dalla vegetazione e persa per evapotraspirazione e la scelta delle specie influenza le prestazioni del sistema per via della diversa tendenza di diverse specie a prelevare acqua dal substrato





(CIRIA, 2015). Le massime prestazioni si hanno in estate, quando la perdita per evapotraspirazione è più alta, e con eventi meteorici di bassa intensità, durante i quali lo scarico nel sistema di drenaggio dell'edificio può essere nullo (CIRIA, 2015).

I tetti verdi, inoltre, aumentano l'isolamento termico e acustico degli edifici e riducono la manutenzione richiesta dalle coperture, riducono l'effetto isola di calore, migliorano la qualità dell'aria, creano habitat anche in contesti fortemente urbanizzati e aumentano l'efficienza dei pannelli fotovoltaici installati sopra gli stessi (CIRIA, 2015; CVC, 2010; University of Tennessee, 2013).

## Superficie impermeabile servita

I tetti verdi gestiscono le acque meteoriche intercettate direttamente dagli stessi e non da altre superfici (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010).

## Dimensionamento

In generale, a parità di struttura, i tetti verdi su soletta inclinata hanno meno capacità di accumulo di acqua e drenano più in fretta, a meno che il fondo non sia progettato per controllare il flusso dell'acqua nello strato di drenaggio (CIRIA, 2015).

## Struttura e componenti

Solitamente il pacchetto di tetto verde è composto da più strati (Fig. 11.3): substrato di coltivazione con piante, geotessuto permeabile, strato di drenaggio, barriera anti-radice e isolamento per la soletta sottostante (City of Edmonton, 2014; CIRIA, 2015; DNREC, 2016; Philadelphia Water Department, 2014; CVC, 2010). In alcuni casi, invece, il pacchetto di tetto verde è omogeneo (per esempio sola perlite) e composto da un unico strato (CIRIA, 2015).

Sulla base della profondità del pacchetto si possono distinguere in estensivi e intensivi: i primi hanno bassa profondità del substrato, ospitano specie di piccole dimensioni e richiedono meno manutenzione; i secondi, invece, hanno substrato più profondo, che consente la messa a dimora anche di arbusti e alberi, e generalmente sono più onerosi anche in termini di manutenzione (CIRIA, 2015; Pelletier, et al., 2011).

## Aree di pretrattamento

Non è necessario inserire aree di pretrattamento (CIRIA, 2015).

## Vegetazione

Disperde l'acqua trattenuta dal substrato per evapotraspirazione e crea habitat. La scelta delle specie può essere più o meno ampia in base allo spessore del substrato e al clima locale, ma in ogni caso è opportuno evitare monoculture e diversificare il più possibile la vegetazione, per aumentare la resilienza del tetto verde (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013).

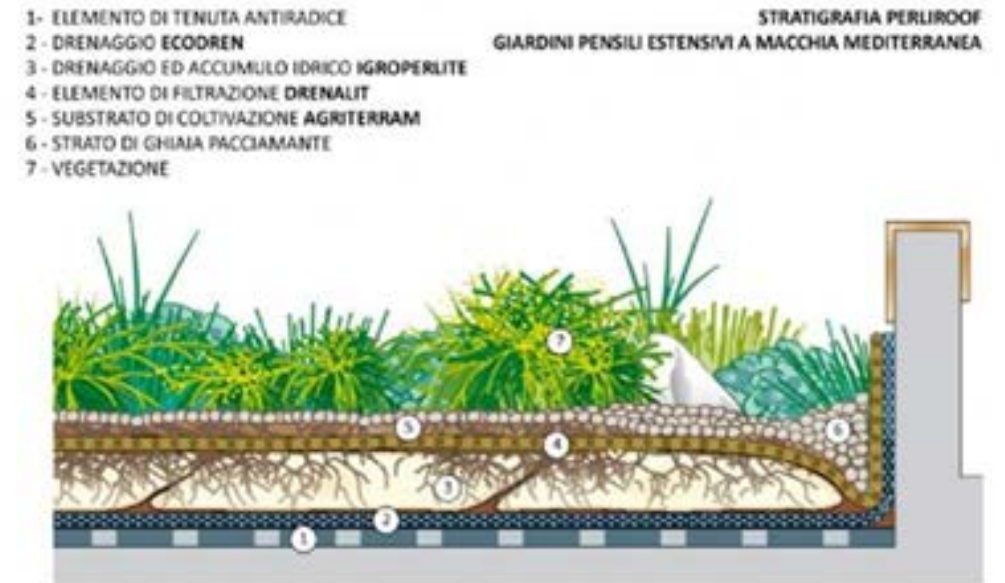
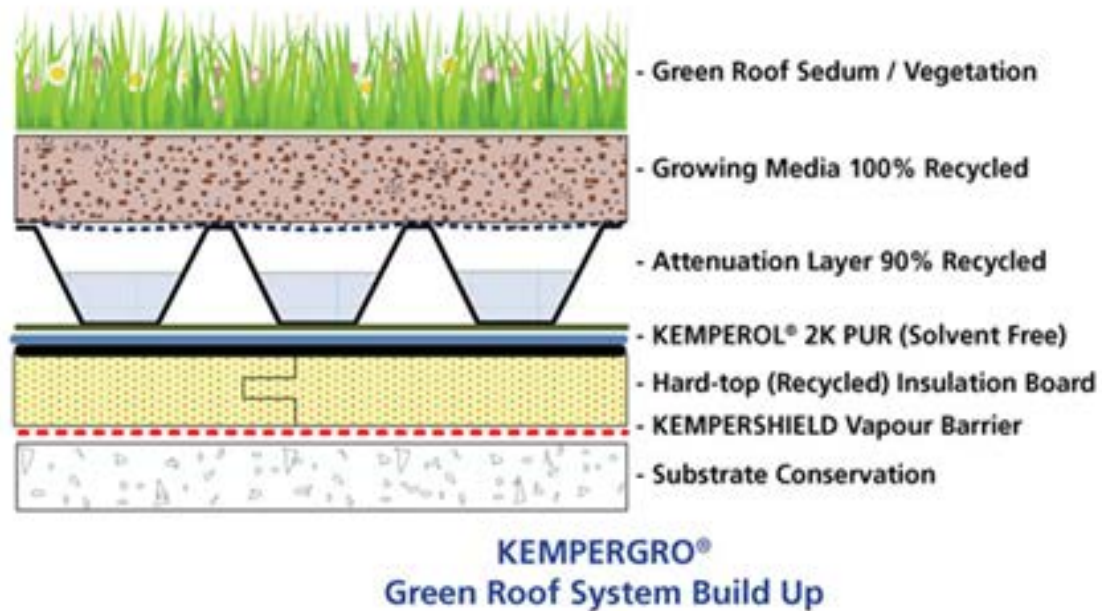


Fig. 11.3: pacchetti per tetto verde con substrato e strato di drenaggio e riserva idrica separati (a sinistra) e con strato di drenaggio in perlite penetrabile dalle radici, con funziona anche di substrato di coltivazione (a destra). Fonti: [www.kemper-system.com/](http://www.kemper-system.com/); [www.perlite.it/](http://www.perlite.it/)

## Substrato

Il substrato (Fig. 11.4) consente la coltivazione delle piante ed è leggero e con ottima capacità di ritenzione idrica (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014). La profondità minima consigliata è di 8 cm; maggiore è la profondità, maggiori sono la varietà di specie vegetali inseribili, i benefici apportati e il peso esercitato sulla struttura sottostante (CIRIA, 2015).

I tetti verdi estensivi hanno substrato profondo meno di 15 cm, mentre gli intensivi tra 15 e, generalmente, 60 cm (CIRIA, 2015; CVC, 2010; University of Tennessee, 2013; Pelletier, et al., 2011; Carlson, et al., 2013).

## Geotessuto

Uno strato di geotessuto tra substrato di coltivazione e strato di drenaggio e riserva idrica può essere necessario per prevenire l'intasamento di quest'ultimo (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014).

## Strato di drenaggio e riserva idrica

Drena l'acqua in eccesso e può essere progettato per trattenere anche un determinato volume d'acqua, fungendo da riserva idrica sfruttabile dalla vegetazione (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014). È connesso al sistema di drenaggio dell'edificio; è

consigliabile prevedere una fascia perimetrale di 30-40 cm in ghiaia, al fine di aumentare il drenaggio in prossimità dei punti di uscita dell'acqua, e dei troppopieno (Fig. 11.5) (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013).

## Barriera anti radice

Previene la crescita delle radici verso la barriera impermeabile, proteggendola. Può non essere necessaria qualora quest'ultima sia progettata per resistere all'azione delle radici (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014).



Fig. 11.4: porzione di tetto verde estensivo in cui sono visibili vegetazione, substrato, strato di drenaggio e strati di protezione della soletta.

Fonte: [www.greenroofguide.com](http://www.greenroofguide.com)



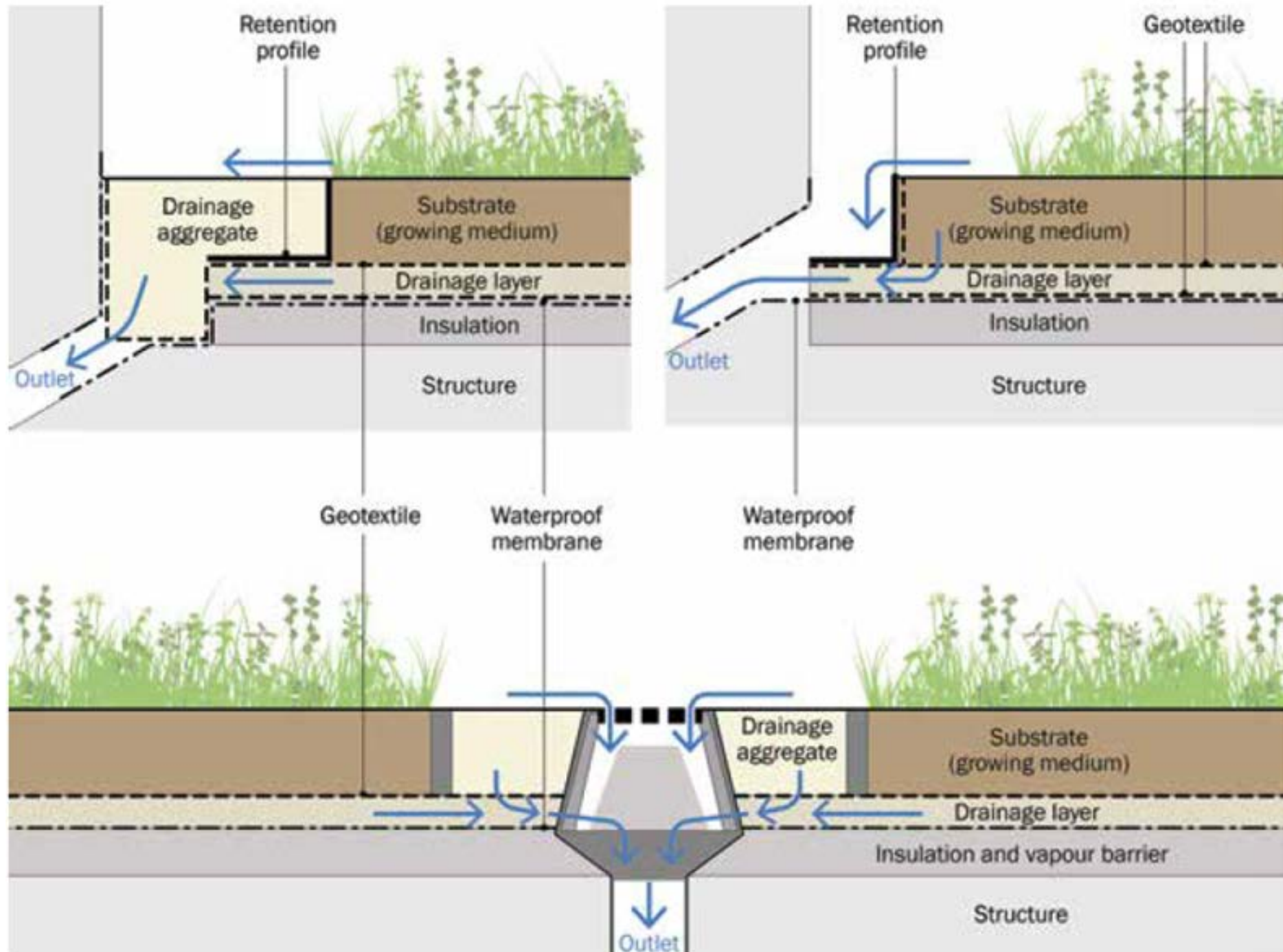


Fig. 11.5: tipologie di troppopieno e strutture di drenaggio per tetti verdi. Fonte: (CIRIA, 2015)

## Barriera impermeabile

È necessaria per proteggere la soletta dall'acqua (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014). Deve essere ben ancorata per evitare spostamenti a causa del vento, resistere alla crescita delle radici ed essere ben protetta da eventuali danni meccanici e dovuti agli sbalzi termici (CIRIA, 2015). La protezione fornita dal pacchetto soprastante consente una durata della barriera impermeabile maggiore nei tetti verdi rispetto ai tetti convenzionali (City of Edmonton, 2014; Carlson, et al., 2013; Masseroni, et al., 2018).

## Isolamento della soletta

Posto tra gli strati superiori e la soletta, serve a proteggere quest'ultima. È composto da uno strato rigido che funge da supporto per la barriera impermeabile, uno strato di isolante termico e una barriera al vapore (City of Edmonton, 2014).

## Troppopieno

I tetti verdi hanno sempre bisogno di un sistema di troppopieno attraverso il quale scaricare le acque in eccesso nella rete di drenaggio dell'edificio, che deve essere strutturato in modo da ridurre il più possibile il rischio di intasamento ed essere facilmente accessibile per la manutenzione (CIRIA, 2015). È essenziale che i troppopieno siano separati dal substrato di coltivazione delle piante tramite una fascia in materiale minerale, ad esempio ciottoli, al fine di evitare la crescita di piante al loro interno o l'ingresso del substrato stesso (CIRIA, 2015).

## Impianto d'irrigazione

Normalmente per i tetti verdi estensivi, per i quali l'irrigazione non è generalmente prevista, è comunque necessario irrigare nei primi due anni dalla realizzazione per consentire l'attecchimento delle piante e a tale scopo si può prevedere l'installazione di un impianto d'irrigazione, da utilizzare a maturità solo per irrigazioni di soccorso. Per i tetti verdi intensivi, invece, è sempre opportuno installare un impianto d'irrigazione da utilizzare ordinariamente per tutta la vita del tetto verde (CIRIA, 2015).

## Materiali

### Vegetazione

Si utilizzano specie adatte al clima locale e resistenti a siccità, gelo, vento e substrati poco profondi, poveri e ben drenati, a rapido attecchimento e a crescita lenta (CIRIA, 2015; CVC, 2010; Carlson, et al., 2013). Mentre sui tetti verdi estensivi si mettono a dimora per lo più succulente ed erbacee di piccole dimensioni, su quelli intensivi si possono includere anche arbusti e alberi (CIRIA, 2015; University of Tennessee, 2013; Pelletier, et al., 2011).

Per substrati con profondità inferiore a 5 cm si consiglia la messa a dimora di Sedum e altre piccole succulente. Con profondità da 5 a 10 cm, è possibile utilizzare perenni di prati aridi, graminacee, alpine e bulbi di piccole dimensioni. Con profondità da 10 a 20 cm, è possibile prevedere piccoli arbusti e tappeti erbosi, mentre, con substrati da 20 a 50 cm, si possono utilizzare arbusti di medie dimensioni, piante commestibili, perenni e graminacee in generale. Infine, con profondità dai 50 cm in su, si può pensare di piantare anche piccoli alberi (CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013). Per la realizzazione della copertura vegetale si possono utilizzare zolle apposite per tetti verdi pre-coltivate (Fig. 11.4), piante in plug o contenitore, stoloni e semi (CIRIA, 2015).

**Fig. 11.6: posa di zolle pre-coltivate per tetti verdi.**

**Fonte: <https://greenroofs.lowandbonar.com>**





## Substrato

Sono consigliati substrati alleggeriti, con buona capacità di ritenzione idrica e fertilità (CIRIA, 2015). Sono utilizzabili differenti materiali e le caratteristiche generali consigliate sono riportate qui di seguito.

Per i tetti estensivi:

- permeabilità: 0,6-70 mm/min;
- pH: 6-8,5;
- particelle fini: < 15% (in massa);
- particelle > 4 mm: < 50% (in massa);
- massima capacità di ritenzione idrica: 25-65% (in volume);
- contenuto d'aria a saturazione: > 10% (in volume) (CIRIA, 2015).

Per i tetti intensivi:

- permeabilità: 0,3-30 mm/min
- pH: 6-8,5
- particelle fini: < 20% (in massa);
- particelle > 4 mm: < 40% (in massa);
- massima capacità di ritenzione idrica: > 45% (in volume);
- contenuto d'aria a saturazione: > 10% (in volume) (CIRIA, 2015).

In generale, l'uso di substrati non eccessivamente fertili promuove la crescita e la predominanza di specie tolleranti condizioni avverse e disincentiva la crescita di infestanti (CVC, 2010; CVC, 2006). Tipicamente, i substrati per tetti verdi sono composti per l'85-97% da materiale non organico (Pelletier, et al., 2011) e pesano mediamente, a saturazione, 90-290 kg/m<sup>2</sup> (Daku; Perlite Italiana).

## Strato di drenaggio

Può essere costituito da materiale minerale granulare (Fig. 11.7) o apposite strutture in materiale plastico (Fig. 11.8), in base al pacchetto utilizzato (CVC, 2010).



[IN ALTO] Fig. 11.7: strato di drenaggio composto da sacchi in geotessuto riempito di perlite. Fonte: [www.edilportale.com](http://www.edilportale.com)

[IN BASSO] Fig. 11.8: strato di drenaggio in materiale plastico. Fonte: <https://zinco-italia.it>

## Barriera impermeabile

È realizzabile con teli di PVC, HDPE, gomma sintetica, poliolefine termoplastiche e simili (CIRIA, 2015).

## Impianto d'irrigazione

In generale sono consigliati impianti di irrigazione sotto-superficiali, che incoraggiano la crescita delle radici in profondità, dove vi sono meno sbalzi termici e idrici, mantengono più asciutta la superficie disincentivando la crescita di infestanti e riducono le perdite per evaporazione

## Manutenzione

L'irrigazione dei tetti verdi estensivi è generalmente necessaria solo durante la fase di attecchimento delle piante, mentre nel caso di tetti verdi intensivi deve essere più o meno frequente in base al tipo di vegetazione scelta (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014). L'applicazione di fertilizzanti deve essere eseguita solo con prodotti a lento rilascio e non deve superare i 5 g/m<sup>2</sup> di azoto (Emilsson, et al., 2007; CVC, 2010; CIRIA, 2015).

Manutenzione post-impianto:

- irrigazione per consentire l'attecchimento delle

piante (per i primi due anni o fino all'attecchimento) (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; DNREC, 2016; Philadelphia Water Department, 2014; Carlson, et al., 2013);

Manutenzione semestrale (o più frequentemente, al bisogno):

- rimozione di rifiuti, detriti e foglie (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; Philadelphia Water Department, 2014);
- rimozione di specie infestanti invasive (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; Philadelphia Water Department, 2014);
- sfalcio dei prati fioriti e rasati con rimozione del falciato (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014);

Manutenzione annuale:

- ispezione di tutte le componenti, quando possibile (substrato, vegetazione, drenaggio, impianto d'irrigazione, membrane) (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014);
- ispezione per eventuali danni da erosione ed accumulo di sedimenti (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014);
- ispezione della soletta per eventuali infiltrazioni (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014);
- potatura delle piante legnose se necessaria (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014; Philadelphia Water

Department, 2014);

- integrazione delle fallanze (CIRIA, 2015; City of Edmonton, 2014);

Manutenzione straordinaria:

- riporto del substrato mancante (CIRIA, 2015);
- riparazione di qualsiasi componente danneggiata (CIRIA, 2015).

## Durata di vita

30-50 anni (City of Edmonton, 2014; AAVV, 2013).

## Fruibilità è sicurezza

### Percezione da parte della popolazione

Mentre i tetti verdi estensivi sono normalmente non fruibili, eccetto che per percorsi minerali inseriti al loro interno, quelli intensivi lo sono e possono essere visivamente assimilabili a comuni giardini (CIRIA, 2015; Carlson, et al., 2013). I tetti verdi, quindi, consentono di realizzare spazi verdi fruibili e creare habitat ove altrimenti non possibile, rendere esteticamente più gradevole il contesto in cui sono inseriti e integrare nel paesaggio le strutture sulle quali vengono installati (CIRIA, 2015).

### Sicurezza

Può essere necessario inserire parapetti, barriere e percorsi di accesso per consentire la manutenzione e la fruizione in sicurezza dei tetti verdi (CIRIA, 2015). È inoltre consigliata la realizzazione di una striscia di materiale non infiammabile, ad esempio ghiaia, in prossimità di parapetti, muri, lucernari, comignoli ed altri elementi costruiti come barriera antincendio (CVC, 2010; Carlson, et al., 2013).

## Costi

Le coperture di edifici industriali necessitano spesso di rinforzo per poter supportare un tetto verde e questo aumenta i costi di realizzazione; questi, però, vengono recuperati nel tempo grazie ai vantaggi in termini energetici e di gestione delle acque meteoriche forniti dalla copertura verde (CIRIA, 2015).

I costi di realizzazione dei tetti verdi sono molto variabili, in funzione della tipologia di realizzazione. Si può andare dai 30 ai 50 €/m<sup>2</sup> per i tetti estensivi più semplici, fino ai 250-500 €/m<sup>2</sup> per quelli intensivi più complessi (CVC, 2010) (Pelletier, et al., 2011) (Masseroni, et al., 2018). In alcuni casi, si può arrivare anche fino a 2500 €/m<sup>2</sup> (City of Edmonton, 2014).

I costi di manutenzione annui sono calcolabili nell'ordine del 2% dei costi di realizzazione (AAVV, 2013), (City of Edmonton, 2014; CVC, 2010; Pelletier, et al., 2011).



[A LATO]

Schema costruttivo di tetto verde.

Elaborazione propria.

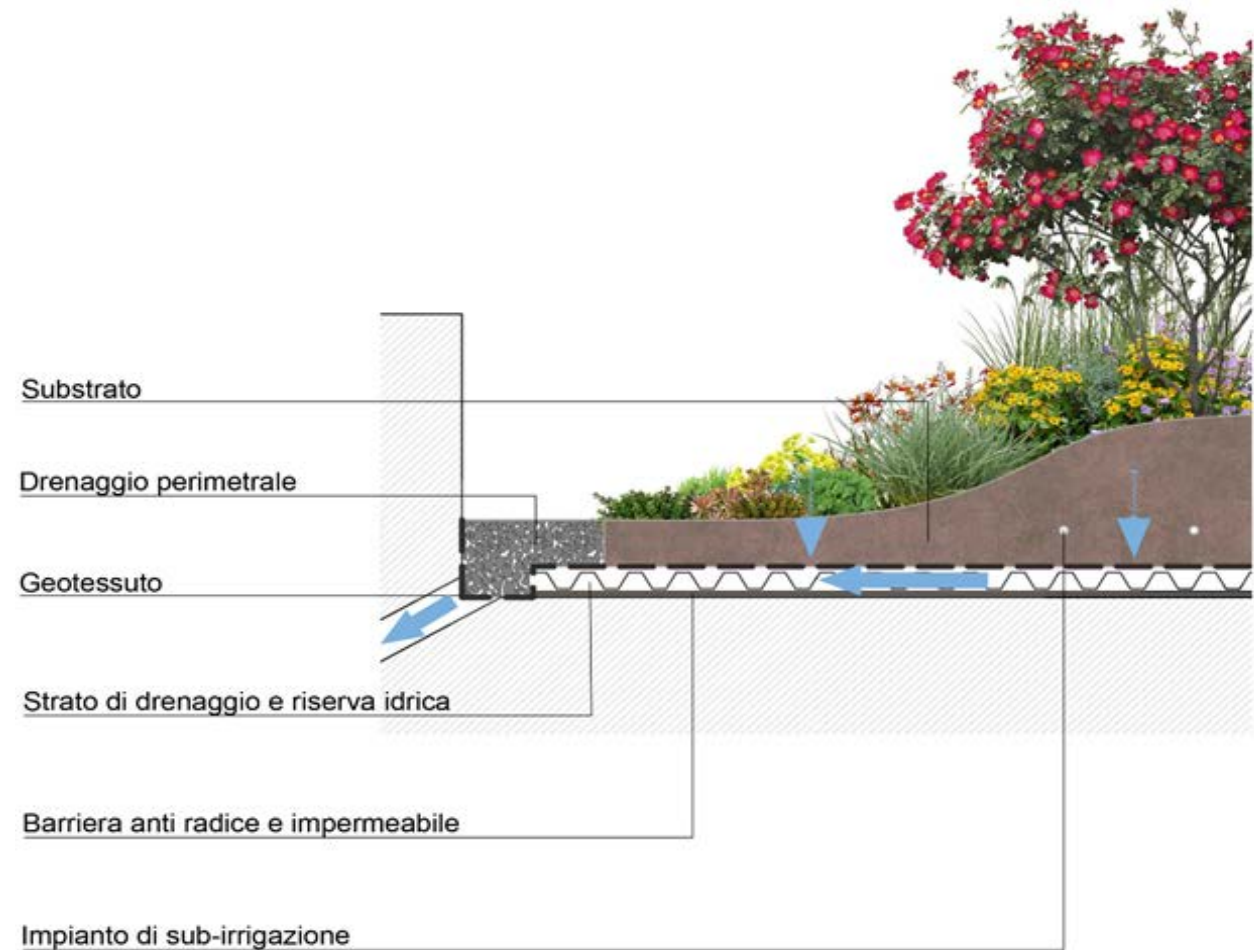
Autore: Raffaele Bonsignori.

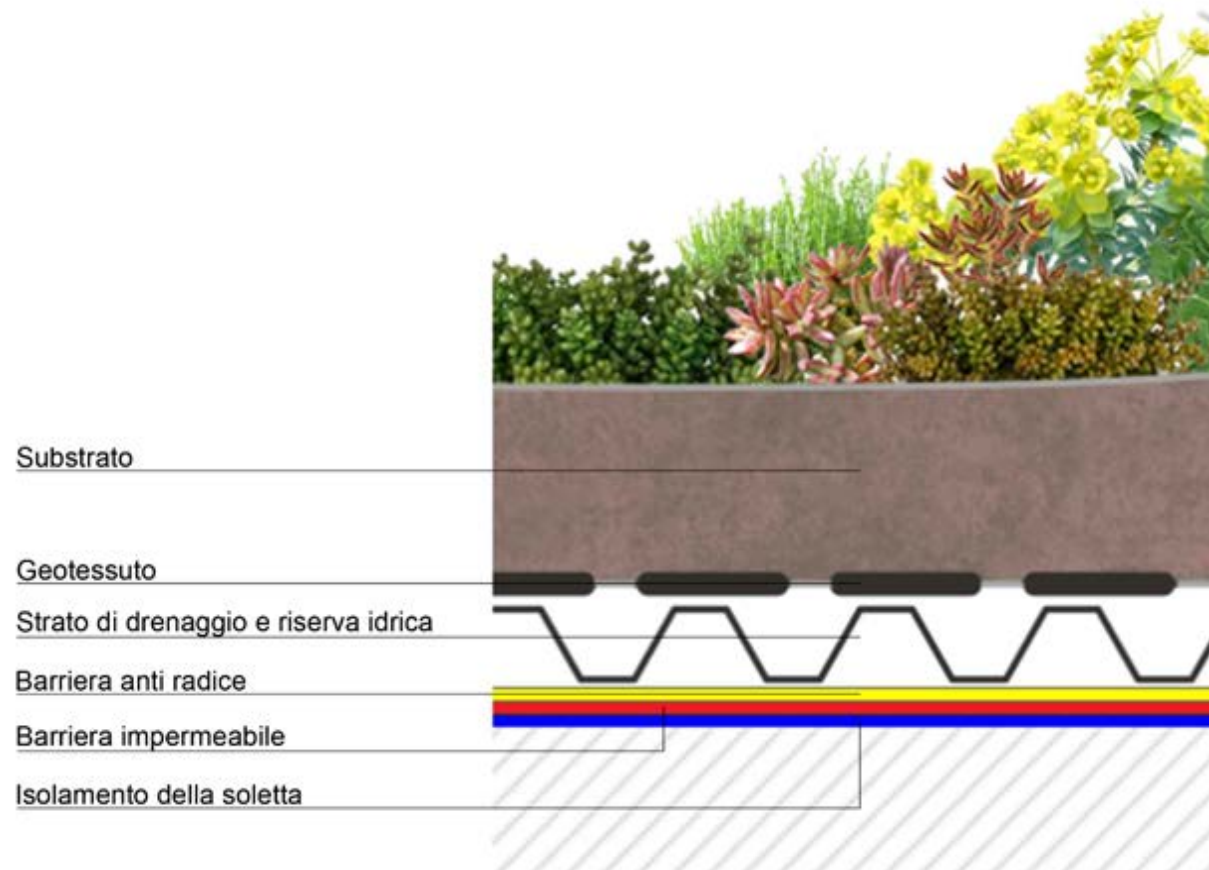
[PAGINA SUCCESSIVA]

Schema di dettaglio di pacchetto per  
tetto verde.

Elaborazione propria.

Autore: Raffaele Bonsignori.





## Bibliografia citata

AAVV, 2013. Hoboken Green Infrastructure Strategic Plan.

CIRIA, 2015. "The SuDS Manual".

Barrett M, Lantin A and Austrheim-Smith S, 2004. Stormwater pollutant removal in roadside vegetated buffer strips. No. 1890. Vol. Transportation Research Record.

Cappiella K, Schueler T and Wright T, 2006. Urban Watershed Forestry Manual, Part 2. Conserving and Planting Trees at Development Sites. Center for Watershed Protection. Prepared for United States Department of Agriculture, Forest Service.

Carlson W., Fitzpatrick E., Flanagan E., Kischbaum, R., Williams, H., Zickler, L, 2013. "Eastern Washington Low Impact Development Guidance Manual".

City of Edmonton, 2014. "Low Impact Development Best Management Practices Design Guide Edition 1.1".

City of Vancouver, 2016. "Administrative Report RR-2"

Claytor, R. and T. Schueler, 1996. Design of Stormwater Filtering Systems. Center for Watershed Protection. Ellicott City, MD.

Conner Tim et al., 2019. "Greater Phoenix Metro Green Infrastructure Handbook. Low-Impact Development Details for Alternative Stormwater Management."

CVC (Credit Valley Conservation), 2010. "Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide. Version 1.0."

The Houston-Galveston Area Council, 2016. "Designing for impact, a regional guide to Low Impact Development"

Daku, Daku Italia. La natura sul tetto. [www.daku.it/](http://www.daku.it/).

Dalrymple B., 2012. "Bioretention Myths Busted. Proc 2012 Stormwater Industry Association Queensland State Conference, Raining a Revolution."

Davis, A., M. Shokouhian, H. Sharma and C. Minami, 2006. Water Quality Improvement through Bioretention Media: Nitrogen and Phosphorus Removal. Water Environment Research. 78(3): 284-293.

Davis, A., M. Shokouhian, H. Sharma, C. Minami and D. Winogradoff, 2003. Water Quality Improvement Through Bioretention: Lead, Copper, and Zinc Removal. Water Environment Research. 75(1): 73-82.

Davis, A., M. Shokouhian, H. Sharma and C. Minami, 2001. Laboratory Study of Biological Retention for Urban Stormwater Management. Water Environment Research. 73(5): 5-14.

DDC, New York City Department of Design + Construction, 2005. "High Performance Infrastructures Guidelines. Best Practices for the Public Right-of-Way".





Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control (DNREC), 2016. "The Green Infrastructure Primer for Delaware".

Dietz, M.E. and J.C. Clausen, 2005. A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. Water Air and Soil Pollution. Vol. 167. No. 2. pp. 201-208.

Emilsson, T., Czerniel Berndtsson, J., Mattson, J.E., Rolf, R, 2007. Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated roof systems. Ecological Engineering. Vol. 29. pp. 260-271.

Greater Vancouver Regional District (GVRD), 2005. "Stormwater Source Control Design Guidelines".

How Much Soil Do You Need to Grow a Big Tree?, DeepRoot Green Infrastructure for Your Community. - Ottobre 2021. - [www.deeproot.com/blog/blog-entries/how-much-soil-do-you-need-to-grow-a-big-tree/](http://www.deeproot.com/blog/blog-entries/how-much-soil-do-you-need-to-grow-a-big-tree/).

Hsieh, C.H. and A.P. Davis, 2005. Multiple-Event Study of Bioretention for Treatment of Urban Storm Water Runoff. Water Science and Technology. 51(3-4): 177-181.

Hunt, W.F, 2003. Bioretention Use and Research in North Carolina and other Mid-Atlantic States. North Carolina State University Water Quality Group Newsletter. NWQEP Notes. 109. North Carolina State University. Raleigh, NC.

Masseroni, D., Massara, F., Gandolfi, C., Bischetti, G.B., 2018. Manuale sulle buone pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile.

Pelletier, K. and O'Neil-Dunne, J., 2011. Green Infrastructure Plan

Perlite Italiana, Perlite Italiana. Giardini pensili. [www.perlite.it/](http://www.perlite.it/).

Philadelphia Water Department, 2014. "Green City, Clean Waters. Green Infrastructure Maintenance Manual".

TRCA (Toronto and Region Conservation Academy), 2006. "Evaluation of an Extensive Greenroof York University. Sustainable Technologies Evaluation Program".

TRCA (Toronto and Region Conservation Academy), 2006. "Performance Evaluation of Rainwater Harvesting Systems". Final Draft Report. Sustainable Technologies Evaluation Program (STEP)

UACDC (University of Arkansas Community Design Center), 2010. "LID – Low Impact Development: a design manual for urban areas".

University of Tennessee, 2013. "Low impact development opportunities for the PlanET

## Bibliografia consultata

AIAPP, 2019. "Progettare il cambiamento. Stormwater Management. Cambiamenti climatici e nuove soluzioni per la gestione dell'acqua in città".

Ambrose-Oji, B., Buijs, A., Geróházi, E., Mattijssen, T., Száraz, L., Van der Jagt, A., Hansen, R., Rall, E., Andersson, E., Kronenberg, J., and Rolf, W., 2017. Innovative Governance for Urban Green Infrastructure: A Guide for Practitioners. GREEN SURGE project Deliverable 6.3, University of Copenhagen, Copenhagen.

Birmingham City Council, 2015. "Sustainable Drainage: Guide to Design, Adoption and Maintenance".

Calvert, T., Sinnett, D., Smith, N., Jerome, G., Burgess, S., King, L., 2018. Setting the Standard for Green Infrastructure: The Need for, and Features of, a Benchmark in England, Planning Practice and Research, 33:5, 558-573, DOI: 10.1080/02697459.2018.1531580.

CIRIA, 2017. "Guidance on the Construction of SuDS".

Città Metropolitana di Genova, 2020. "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".

City of Greenbelt, 2015. "Cherrywood Lane Complete and Green Street Project".

City of Philadelphia, 2014. "Green Streets Design Manual".

City of Toronto, 2013. "Design Guidelines for Biodiverse Green Roofs".

Comitato per lo sviluppo del verde pubblico, 2017. "Linee guida per il governo sostenibile del verde urbano".

Comune di Reggio Emilia, 2014. "Linee guida per la gestione delle acque meteoriche".

Credit Valley Conservation, 2016. "Low Impact Development Road Retrofits: Optimizing Your Infrastructure Assets through Low Impact Development".

Credit Valley Conservation, 2016. "Low Impact Development Business & Multi-Residential Retrofits: Business and Multi-Residential Optimizing Your Bottom Line through Low Impact Development".

Credit Valley Conservation, 2016. "Low Impact Development Public Lands Retrofits: Optimizing Parks, Public Buildings, Schools and Places of Worship through Low Impact Development".

Credit Valley Conservation, 2016. "Low Impact Development Residential Retrofits: Engaging Residents to Adopt Low Impact Development on their Properties".

Credit Valley Conservation, 2012. "Low Impact Development Construction Guide. Version 1.0"



Darlington Borough Council. "Tees Valley Sustainable Drainage Systems (SuDS) Guidance. Design Guide and Local Standards".

Derzken, M.L., van Teeffelen, A.J.A., Verburg, P.H., 2016. Green infrastructure for urban climate adaptation: how do residents' views on climate impacts and green infrastructure shape adaptation preferences? Environmental Geography Group, Department of Earth Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, De Boelelaan 1087, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

ERSAF, 2016. "A regola d'acqua. Guida per la gestione delle acque nella pianificazione e regolamentazione comunale".

European Commission, 2013. "Building a Green Infrastructure for Europe". ISBN: 978-92-79-33428-3. DOI: 10.2779/54125.

European Commission, 2014. "A guide to support the selection, design and implementation of Natural Water Retention Measures in Europe. Capturing the multiple benefits of nature-based solutions"

European Commission, 2015. "Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'. Full Version".

European Commission, 2019. "Strategic Green Infrastructure and Ecosystem Restoration. Geospatial methods, data and tools".

European Environment Agency, 2014. "Spatial analysis of green infrastructure in Europe". ISBN: 978-92-9213-421-1. ISSN: 1725-2237. DOI: 10.2800/11170.

Forest Research, 2010. Benefits of Green Infrastructure. Report to Defra and CLG. Forest Research, Farnham.

Gauteng City-Region Observatory, 2013. "State of Green Infrastructure in the Gauteng City-Region".

Gauteng City-Region Observatory, 2016. "A Framework for a Green Infrastructure Planning Approach in the Gauteng City-Region".

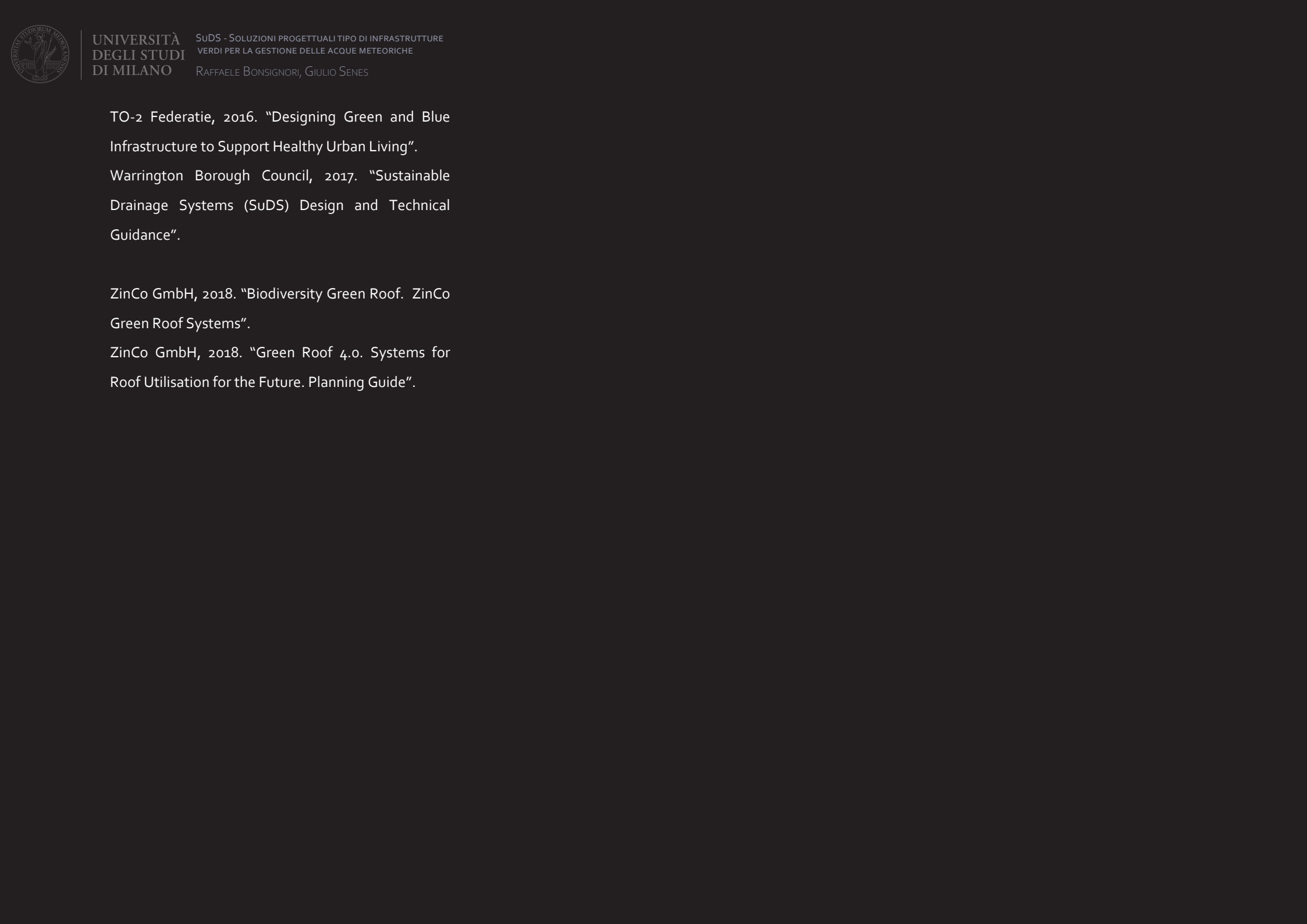
Gibelli, G., Gelmini, A., Pagnoni, E., Natalucci, F., 2015. Gestione sostenibile delle acque urbane. Manuale di drenaggio urbano. Perché, cosa, come. Regione Lombardia, ERSAF, Milano.

Goyder Institute for Water Research, 2014. "Water Sensitive Urban Design Impediments and Potential: Contributions to the SA Urban Water Blueprint. Post-implementation Assessment and Impediments to WSUD".

Goyder Institute for Water Research, 2014. "Water Sensitive Urban Design Impediments and Potential: Contributions to the Urban Water Blueprint (Phase 1). Task 3: The Potential Role of WSUD in Urban Service Provision".



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gloucester City Council, 2013. "Sustainable Drainage. A Design and Option Guide".                                                                                                                                                                                                                          | Landscape Institute, 2013. "Green Infrastructure. An integrated approach to land use".                                                    | Provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige, 2008. "Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche".                                                            |
| Hansen, R., Rall, E., Chapman, E., Rolf, W., Pauleit, S., 2017. Urban Green Infrastructure Planning: A Guide for Practitioners. GREEN SURGE.                                                                                                                                                               | Leeds City Region Partnership, 2010. "Green Infrastructure Strategy".                                                                     | Regione Emilia Romagna, 2016. "Rigenerare la città con la natura. Strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici". |
| Icopal Ltd, 2014. "Icopal Green Roof Systems. Waterproofing & Living Roof Solutions".                                                                                                                                                                                                                      | Leeds City Region Partnership, 2010. "Green Infrastructure Strategy. Executive Summary".                                                  | Sinnett, D., Calvert, T., Smith, N., Burgess, S., King, L., 2017. The translation and use of green infrastructure evidence.                                                    |
| Icopal Ltd, 2018. "Icopal ST Biodiverse Seed & Plug. Extensive Biodiverse Green Roof System".                                                                                                                                                                                                              | McLintock, M., 2018. Maximing the benefits of green infrastructure in social housing. Scottish Natural Heritage Research Report No. 1046. | Sinnett, D., Jerome, G., Burgess, S., Smith, N., Mortlock, R., 2017. Building with Nature – A New Benchmark for Green Infrastructure.                                          |
| Jerome, G., Sinnett, D., Burgess, S., Calvert, T., Mortlock, R., 2019. A framework for assessing quality of green infrastructure in the built environment in the UK. Centre for Sustainable Planning and Environments, University of the West of England & Gloucestershire Wildlife Trust, United Kingdom. | Metro Adapt, 2020. "Soluzioni naturalistiche (NBS) per la Città Metropolitana di Milano: schede tecniche".                                | The Scottish Government, 2011. "Green Infrastructure Design and Placemaking".                                                                                                  |
| Keating, K., Keeble, H., Pettit, A., Stark, D., 2015. "Delivering Benefits Through Evidence. Cost Estimation for SUDS - Summary of Evidence".                                                                                                                                                              | Prokop, G., Jobstmann, H., Schönbauer, A., 2011. Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects.           |                                                                                                                                                                                |



TO-2 Federatie, 2016. "Designing Green and Blue Infrastructure to Support Healthy Urban Living".

Warrington Borough Council, 2017. "Sustainable Drainage Systems (SuDS) Design and Technical Guidance".

ZinCo GmbH, 2018. "Biodiversity Green Roof. ZinCo Green Roof Systems".

ZinCo GmbH, 2018. "Green Roof 4.0. Systems for Roof Utilisation for the Future. Planning Guide".

# AUTORI





Raffaele BONSIGNORI

Laureato in Progettazione e gestione del verde urbano e del paesaggio presso l'Università di Pisa, è titolare di una borsa di studio "per promettenti laureati" presso il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano.

Collabora alle attività di ricerca del Dipartimento sui temi della progettazione del verde, con particolare riguardo alle infrastrutture verdi per il drenaggio sostenibile e ai giardini terapeutici.



Giulio SENES

Professore Associato presso il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano, insegna Pianificazione del Territorio Rurale e Progettazione delle Infrastrutture Verdi Lineari.

Svolge attività di ricerca sui temi legati alla pianificazione e progettazione del territorio rurale, del paesaggio, delle aree verdi e delle greenways; alla valutazione dei servizi ecosistemici legati al verde, e al rapporto tra benessere umano e contatto con la natura. È membro dell'Accademia dei Georgofili, dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA), dell'Istituto Nazionale di Urbanistica (INU), dell'Associazione Italiana di Architettura del Paesaggio (AIAPP). È Presidente della European Greenways Association (EGWA).

Il presente volume è il frutto di una collaborazione tra Brianzacque e il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano relativa alla realizzazione della Infrastrutture Verde per l'ATO della Provincia di Monza e Brianza, per la gestione delle acque meteoriche, la connessione verde del territorio provinciale e la massimizzazione dei Servizi Ecosistemici.

La collaborazione nasce dalla consapevolezza di Brianzacque che la Infrastruttura Verde rappresenta uno strumento multifunzionale di pianificazione e gestione del territorio, che contribuisce in modo significativo alla gestione sostenibile delle acque nella salvaguardia del principio di invarianza idraulica e idrologica.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO



ISBN 978-88-86569-41-5



9 788886 569415