

D.g.r. 2 febbraio 2026 - n. XII/5710

Aggiornamento tecnico dell'allegato L (indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano) al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 «Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (legge per il governo del territorio)», ai sensi dell'articolo 17, comma 1 bis, di tale regolamento

LA GIUNTA REGIONALE

Visti:

- la legge regionale 15 marzo 2016, n. 4 «Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua» e, in particolare, l'articolo 7, ai sensi del quale per prevenire e mitigare i fenomeni di esondazione e di dissesto idrogeologico provocati dall'incremento dell'impermeabilizzazione dei suoli e, conseguentemente, per contribuire ad assicurare elevati livelli di salvaguardia idraulica e ambientale, gli strumenti urbanistici e i regolamenti edilizi comunali devono recepire il principio di invarianza idraulica e idrologica per le trasformazioni di uso del suolo, secondo quanto previsto dallo stesso articolo 7;
- la legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 «Legge per il governo del territorio» e, in particolare, l'articolo 58 bis (Invarianza idraulica, invarianza idrologica e drenaggio urbano sostenibile):
 - il cui comma 5 dispone che la Giunta regionale approvi, entro centottanta giorni dall'entrata in vigore della l.r. 4/2016 e sentite le rappresentanze degli enti locali e di altri soggetti competenti con professionalità tecnica in materia, un regolamento contenente criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica, con efficacia alla data di recepimento dello stesso nel regolamento edilizio comunale o, al più tardi, decorso il termine di sei mesi dalla pubblicazione del regolamento regionale nel BURL;
 - il cui comma 2 individua gli interventi tenuti al rispetto dei principi di invarianza idraulica e idrologica, demandandone la specificazione al regolamento regionale di cui al sopracitato comma 5;
- il regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 «Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell'art. 58 bis della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)», pubblicato sul BURL del 27 novembre 2017, n. 48, Supplemento, in vigore dal 28 novembre 2017;
- il regolamento regionale 29 giugno 2018, n. 7 «Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica ed idrologica. Modifica dell'articolo 17 del Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 «Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell'art. 58 bis della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)» pubblicato sul BURL del 3 luglio 2018, n. 27, Supplemento, in vigore dal 4 luglio 2018;
- il regolamento regionale 19 aprile 2019, n. 8 «Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 «Legge per il governo del territorio»), pubblicato sul BURL del 24 aprile 2019, n. 17, Supplemento, in vigore dal 25 aprile 2019;
- la legge regionale 26 novembre 2019, n. 18 «Misure di semplificazione e incentivazione per la rigenerazione urbana e territoriale, nonché per il recupero del patrimonio edilizio esistente. Modifiche e integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio) e ad altre leggi regionali» e, in particolare, l'articolo 5, comma 2, che ha sostituito il quarto periodo del comma 3 dell'articolo 17 del r.r. 7/2017;
- la legge regionale 20 maggio 2022, n. 9 «Legge di semplificazione 2022» e in particolare l'articolo 14 «Modifiche agli articoli 13, 14 e 58 bis della l.r. 12/2005 e conseguente adeguamento del r.r. 7/2017»;
- il regolamento regionale 28 marzo 2025, n. 3 «Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novem-

bre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 «Legge per il governo del territorio»), pubblicato sul BURL del 1 aprile 2025, n. 14, Supplemento, in vigore dal 2 aprile 2025;

Visto, altresì, il decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 1 dicembre 2022, di approvazione del primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) del distretto idrografico del fiume Po, in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, «Direttiva Alluvioni», che ha inserito l'attuazione del r.r. 7/2017 tra le misure di protezione del piano;

Considerato che:

- l'articolo 17, comma 4, del r.r. 7/2017 prevede che, al fine della verifica dell'applicazione del regolamento e dell'individuazione delle eventuali modifiche o correzioni da apportarvi, il regolamento stesso è sottoposto a monitoraggio;
- nel 2019 Regione Lombardia ha avviato il primo monitoraggio del r.r. 7/2017 che ha condotto al suo aggiornamento con il sopracitato r.r. 8/2019;
- nel mese di febbraio 2023 Regione Lombardia ha avviato il secondo monitoraggio del r.r. 7/2017, nell'ambito del quale è emersa la necessità, per rispondere alle richieste degli stakeholders, di effettuare approfondimenti tecnico-specialistici per i quali risultava necessario individuare delle professionalità esterne, sia per aggiornare il testo regolamentare, sia, successivamente, per l'aggiornamento di alcuni allegati tecnici al fine di renderli coerenti con le modifiche in corso nel testo regolamentare;

Richiamate:

- la d.g.r. 8 agosto 2023, n. 881 che ha approvato lo schema di Accordo di collaborazione per l'aggiornamento del r.r. 23 novembre 2017, n. 7 «Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)» promosso con l'Università degli Studi di Milano, tramite il Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia, sottoscritto nel mese di settembre 2023, con l'obiettivo di collaborare per approfondire congiuntamente le tematiche tecnico-specialistiche emerse dalle osservazioni presentate dagli stakeholder ed aggiornare, di conseguenza, il testo del r.r. 7/2017;
- la d.g.r. 30 settembre 2024, n. 3142 che ha approvato un nuovo schema di Accordo di collaborazione con Università degli studi di Milano per la modifica degli allegati al r.r. 23 novembre 2017, n. 7 «Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)» sottoscritto nel mese di novembre 2024, con l'obiettivo di aggiornare alcuni allegati tecnici al fine di renderli coerenti con le modifiche in corso nel testo regolamentare;

Considerato che, in esito all'Accordo di collaborazione di cui alla d.g.r. 3142/2024, con r.r. 3/2025, oltre alle modifiche del testo regolamentare, sono state approvate le modifiche agli allegati tecnici, di cui al suddetto Accordo di collaborazione, escluso l'Allegato L «Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano» sia in quanto quest'ultimo Allegato richiedeva una rivisitazione importante finalizzata ad integrare le indicazioni tecniche in esso fornite per la realizzazione delle infrastrutture volte al rispetto degli obiettivi e dei limiti indicati dal regolamento con i nuovi obiettivi introdotti nel r.r. 7/2017 in tema di natura, paesaggio e biodiversità, per la cui approvazione era necessario un percorso di condivisione con le Strutture regionali competenti, sia in quanto non sussisteva, per tale Allegato, la necessità di apporare aggiornamenti contestuali alla proposta di modifica regolamentare ai sensi del comma 1 dell'articolo 17 dello stesso regolamento 7/2017, nel testo vigente prima dell'entrata in vigore del r.r. 3/2025;

Considerato inoltre che:

- con nota in atti regionali n. Z1.2005.0031830 del 16 ottobre 2025, l'Università degli studi di Milano, in ottemperanza a quanto previsto dall'Accordo di cui alla d.g.r. 3142/2024 sopra richiamata, ha trasmesso una proposta di revisione dell'Allegato L secondo le indicazioni fornite dagli uffici regionali ai fini dei successivi passaggi amministrativi;
- nel corso di un momento di confronto tenutosi lo scorso 19 dicembre 2025 la nuova impostazione dell'Allegato L è sta-

Serie Ordinaria n. 6 - Venerdì 06 febbraio 2026

ta illustrata alle Strutture regionali competenti nelle tematiche di natura, paesaggio e biodiversità, ai principali ordini professionali ed ai principali stakeholders (Consorzi di bonifica, gli Uffici d'Ambito, i gestori del Servizio idrico integrato, ANCE, ANCI, AIPO, ecc);

- l'incontro di cui al punto precedente ha avuto esito favorevole ed ha portato, a seguito di alcune limitate modifiche proposte, ad un aggiornamento condiviso dei contenuti dell'Allegato L «Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano» che deve, pertanto, essere sostituito a quello attualmente vigente;

Considerato che il comma 1 bis dell'articolo 17 del r.r. 7/2017, introdotto dal r.r. 3/2025, prevede che le modifiche e gli aggiornamenti tecnici degli allegati A, D, E, F, G, H, I, L e M bis possono essere approvati con deliberazione della Giunta regionale, quindi con atto avente natura di ordinaria amministrazione, laddove tali modifiche e aggiornamenti non comportino modifiche al regolamento e non costituiscano presupposti per l'applicazione dello stesso;

Ritenuto che, ai sensi dell'articolo 17, comma 1 bis, del r.r. 7/2017:

- l'aggiornamento dell'Allegato L, di cui al presente provvedimento, non comporta modifiche al suddetto r.r., in quanto non introduce previsioni disallineate rispetto a quanto previsto dall'articolato vigente e non costituisce presupposto per l'applicazione dello stesso, in quanto trattasi di allegato senza contenuti prescrittivi e, pertanto, non è, di per sé, vincolante rispetto alle disposizioni del regolamento;
- l'aggiornamento dell'Allegato L si configura come 'aggiornamento tecnico', conseguente, in particolare, al fatto che nel testo del regolamento 7/2017, così come da ultimo modificato dal r.r. 3/2025, si richiama, per l'attuazione del principio dell'invarianza idraulica e idrologica, il ricorso anche a soluzioni basate sulla natura che concorrono all'incremento della sostenibilità dei sistemi urbani, alla mitigazione del fenomeno 'isola di calore urbano' e alla tutela della biodiversità;

Ritenuto, altresì, che l'aggiornamento dell'Allegato L ha comportato, a livello redazionale, una rivisitazione del documento tale, da un lato, da rendere inequivocabile la summenzionata non precettività dei relativi contenuti, di natura non più regolamentare, e, dall'altro, tale da far propendere, anche a fini di chiarezza espositiva, per la sua sostituzione integrale, rispetto alla versione vigente;

Considerato inoltre che, ai sensi del succitato comma 1 bis dell'articolo 17 del r.r. 7/2017, gli allegati modificati e aggiornati con deliberazione della Giunta regionale, in applicazione del medesimo comma, sono pubblicati sul Bollettino Ufficiale della Regione (BURL) entro trenta giorni dalla relativa approvazione;

Ritenuto, pertanto, di:

- approvare, ai sensi dell'articolo 17, comma 1 bis, del r.r. 7/2017, l'aggiornamento tecnico dell'Allegato L allo stesso r.r. 7/2017 in sostituzione del testo attuale, come riportato nell'Allegato 1, parte integrante e sostanziale della presente deliberazione e di pubblicarlo sul BURL entro trenta giorni dall'approvazione della presente deliberazione;
- demandare al Dirigente competente gli adempimenti amministrativi conseguenti all'adozione della presente deliberazione;

Vista la l.r. 7 luglio 2008, n. 20, «Testo Unico delle leggi regionali in materia di organizzazione e personale», nonché i provvedimenti organizzativi vigenti;

Visto il Programma Regionale di Sviluppo Sostenibile della XII Legislatura, approvato con d.c.r. XII/42 del 20 giugno 2023, e la declinazione dello stesso nel Pilastro 5 «Lombardia Green», Ambito 5.3 «Territorio connesso, attrattivo e resiliente per la qualità di vita dei cittadini», Obiettivo Strategico 5.3.3 «Aumentare la resilienza del territorio, le azioni di adattamento ai cambiamenti climatici e mitigare il rischio idrogeologico, anche negli eventi emergenziali»;

Vagilate e fatte proprie le considerazioni sopra esposte;

Ad unanimità dei voti espressi nelle forme di legge;

DELIBERA

1. di approvare, ai sensi dell'articolo 17, comma 1 bis, del r.r. 7/2017, l'aggiornamento tecnico dell'Allegato L (Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano) allo stesso r.r. 7/2017,

in sostituzione del testo attuale, come riportato nell'Allegato 1, parte integrante e sostanziale della presente deliberazione;

2. di demandare al dirigente competente gli adempimenti amministrativi conseguenti all'adozione della presente deliberazione;

3. di pubblicare il presente atto, comprensivo dell'Allegato 1, sul Bollettino Ufficiale della Regione (BURL) entro trenta giorni dall'approvazione dello stesso, ai sensi dell'articolo 17, comma 1 bis, del r.r. 7/2017.

Il segretario: Fabrizio De Vecchi

———— • ———

Allegato L - Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano

Sommario

1	Introduzione
2	Gli obiettivi e le funzioni dei dispositivi di invarianza
3	Le scale di applicazione
3.1	scala di Edificio
3.2	Scala di lotto/isolato.....
3.3	Scala di strada e parcheggi
3.4	Scala di spazio aperto e di rigenerazione urbana.....
4	Dispositivi e opere
4.1	Dispositivi di controllo del deflusso.....
4.1.1	Caditoie e bocche di lupo
4.1.2	Brigliette e soglie
4.2	Dispositivi con prevalente funzione di filtrazione.....
4.2.1	Fasce di filtrazione.....
4.2.2	Tetti verdi
4.3	Dispositivi con prevalente funzione di infiltrazione.....
4.3.1	Pavimentazioni permeabili
4.3.2	Avallamenti filtranti o “Swales”
4.3.3	Aree e bacini di infiltrazione
4.3.4	Pozzi drenanti.....
4.4	Dispositivi con prevalente funzione di (bio)ritenzione.....
4.4.1	Trincee di infiltrazione
4.4.2	Aiuole di Bioritenzione
4.4.3	Rain garden
4.4.4	Tree pit e Tree box.....
4.5	Sistemi con prevalente funzione di laminazione.....
4.5.1	Serbatoi e cisterne per il riuso
4.5.2	Vasche volano interrate
4.5.3	Vasche volano superficiali e “constructed wetland”

4.5.4	Supertubi e sistemi cellulari.....
5	Indicazioni generali per l'integrazione delle soluzioni di invarianza nel verde urbano e periurbano 32
5.1	Definizione di verde urbano e peri-urbano
5.2	Il progetto del verde
5.2.1	Elaborati progettuali
5.2.2	Il suolo
5.2.3	Il materiale vegetale.....
5.2.4	Il piano di manutenzione
5.2.5	Integrazione tra verde e infrastrutture.....
5.2.6	Distanze dai confini
5.3	La scelta delle specie
5.3.1	Il prato polifta
5.3.2	Formazioni con limitate disponibilità di spazio.....
5.3.3	Formazioni arbustive per aree di medie/grandi dimensioni
5.3.4	Specie a portamento arboreo per aiuole alberate
5.3.5	Specie particolarmente adatte alle zone umide dei fossi di ritenzione
6	Bibliografia
6.1	Riferimenti generali
6.2	Manuali tecnici.....
6.3	Esempi di applicazioni

1 Introduzione

Nel presente documento sono sinteticamente esposte alcune indicazioni tecniche non vincolanti per la realizzazione delle infrastrutture finalizzate al rispetto degli obiettivi e dei limiti indicati dal regolamento, con un'attenzione particolare alla loro inclusione nella categoria più ampia delle NBS (Nature Based Solutions) e delle GI (Green Infrastructures) o anche solo in quelle più limitate di SuDS (Sustainable Drainage Systems) e LIDs (Low Impact Development).

La letteratura sul tema dell'invarianza idrologica-idraulica è infatti ormai vastissima e i manuali e linee guida, reperibili anche nel web a titolo gratuito, sono innumerevoli e sotto varie denominazioni: BMPs (Best Management Practices), SWRM (StormWater Retention Methods), ecc. oltre alle già citate NBS, GI, LIDs e SuDSs.

Gli obiettivi a cui ambiscono questi approcci, sono infatti più ampi della sola invarianza idraulica e idrologica e consentono di meglio rispondere alle attuali esigenze della società, che oltre a richiedere sicurezza nel medio-lungo periodo, ambiscono a realizzare ambienti urbani migliori dal punto di vista ambientale nel complesso, compresa la qualità dell'acqua e dell'aria, il micro-clima, la biodiversità e la fruizione. (Figura 1)



Figura 1: benefici dell'invarianza nell'ambito delle SuDS (modificato da Woods Ballard et al., 2015)

invarianza e lasciare sullo sfondo gli "attrezzi", che verranno solo brevemente descritti senza diffondersi nel dettaglio dei processi o dei metodi di calcolo per i quali si rimanderà per i dettagli alla copiosa documentazione facilmente reperibile in rete.

I progettisti, infatti, non devono sottovalutare il ruolo centrale che essi svolgono nel delicato compito della progettazione, che non è mai un meccanico esercizio di applicazione di quanto si può trovare nella manualistica, ma un'attività di razionale e originale creazione di soluzioni da identificare caso per caso. La manualistica, compreso questo documento, infatti, non può che essere una sorta di cassetta degli attrezzi da cui prelevare il mezzo più adatto allo scopo generale.

Le indicazioni fornite nel presente allegato non sono prescrittive e vogliono invece essere un riferimento per orientarsi in un ambito in cui il numero di manuali e linee guida è cresciuto esponenzialmente negli ultimi anni, sia a livello nazionale che internazionale. Inoltre, in aderenza al regolamento, ci si limiterà ad affrontare gli aspetti quantitativi dei dispositivi di invarianza, tralasciando quelli legati alla qualità delle acque che sono però di pari importanza.

Molto spesso, tuttavia, i documenti forniscono una mera descrizione delle opere o, al contrario, di indicazioni estremamente puntuali in termini di dimensioni, materiali, ecc. Più raro è trovare riferimenti che forniscono anche indicazioni su come implementare i principi dell'invarianza senza perdere di vista il quadro generale dei processi e delle funzioni che le opere possono assumere nei diversi contesti ed alle diverse scale.

Questo documento, diversamente dalla maggior parte di quelli disponibili pubblicamente, si pone quindi l'obiettivo di fornire alcune linee guida generali che aiutino i progettisti nell'impostazione dei progetti di

Il documento è di conseguenza organizzato come segue: il capitolo 2 introduce alcune linee guida generali alla base della progettazione delle opere e dei dispositivi di invarianza, il capitolo 3 introduce il tema della scala di applicazione, il capitolo 4 fornisce indicazioni di primo orientamento in merito alle opere, alle loro caratteristiche e ai riferimenti utili al dimensionamento che possono essere reperiti in letteratura (privilegiando quelli di pubblica consultazione), il capitolo 5 fornisce suggerimenti in merito all'utilizzo della vegetazione nelle opere di invarianza, che è uno degli elementi peculiari per poterle concepire come infrastrutture verdi. Il capitolo 6, infine, contiene i riferimenti bibliografici, recanti sia suggerimenti di carattere generale che esempi applicativi.

2 Gli obiettivi e le funzioni dei dispositivi di invarianza

I dispositivi di invarianza idrologica e idraulica che fanno riferimento alle SuDS, per quanto riguarda la sfera eminentemente tecnica, integrano aspetti idraulici e biologici con l'obiettivo generale di ripristinare -per quanto possibile- il ciclo idrologico naturale alterato dall'urbanizzazione, e in particolare di RALLENTARE (lungo il percorso), TRATTENERE (i volumi in eccesso), DISPERDERE (nel suolo) e IMMAGAZZINARE (nel sistema suolo-pianta-atmosfera) il deflusso, attraverso differenti processi che determinano le loro funzioni fondamentali (Figura 2):

- *Controllo* del flusso attraverso la regolazione delle portate. I dispositivi di controllo del flusso convogliano il deflusso dalle superfici impermeabili verso i dispositivi di invarianza. In genere sono costituiti da semplici aperture che regolano il flusso e la loro realizzazione è molto più rilevante di quanto si possa comunemente pensare. Sono dispositivi di controllo del flusso anche tutte i dispositivi di ingresso e uscita dai manufatti di immagazzinamento e laminazione.
- *Laminazione* attraverso l'immagazzinamento temporaneo del deflusso per ridurre i picchi di piena. I dispositivi di laminazione hanno la funzione di immagazzinare temporaneamente il deflusso per poi restituirlo alla rete di drenaggio tradizionale in tempi successivi. In molti casi la funzione di laminazione e ritenzione è presente nel medesimo dispositivo, ma con un ruolo secondario di quest'ultima.
- *Ritenzione* del deflusso in situ attraverso l'immagazzinamento per periodi medio-lunghi e perdite per evaporazione, evapotraspirazione e riuso. I dispositivi di ritenzione hanno la funzione di immagazzinare definitivamente il deflusso per poi restituirlo al ciclo idrologico attraverso l'evapotraspirazione, l'infiltrazione o il riutilizzo. In molti casi la funzione di ritenzione e laminazione è presente nel medesimo dispositivo, ma con un ruolo secondario di quest'ultima.
- *Filtrazione* per trattenere i sedimenti in un mezzo poroso. Il processo di filtrazione può sinteticamente essere definito come la separazione dei sedimenti e/o di inquinanti dal deflusso delle acque per mezzo di un mezzo poroso come sabbia, terreno radicato o anche un filtro artificiale.
- *Infiltrazione* del deflusso nel suolo, con possibile ricarica della falda. Il processo di infiltrazione consiste nel flusso di acqua attraverso la superficie del suolo in un mezzo poroso (WMO, 2012). Nel caso delle SuDS, forse ancora più che nel suolo, è fondamentale considerare il processo di percolazione, che WMO (2012) definisce come il flusso di un liquido attraverso un mezzo poroso non saturo, come quello dell'acqua nel suolo sotto l'effetto della gravità. Nei dispositivi di invarianza, infatti, sono proprio gli elementi al di sotto della superficie di infiltrazione (qualunque essa sia) a caratterizzarne le proprietà ingegneristiche e "tecnologiche"
- *Trattamento* attraverso processi di asportazione degli inquinanti da parte delle piante (phytoremediation) o metabolizzazione batterica, ecc. I dispositivi che prevedono un passaggio attraverso un substrato e la presenza di vegetazione sono spesso in grado di rimuovere inquinanti o comunque di migliorare la qualità dell'acqua in uscita dai dispositivi stessi. Tale azione è legata a meccanismi e processi fisici, chimici e biologici più o meno efficaci in funzione delle caratteristiche del sistema e delle sostanze in esame.

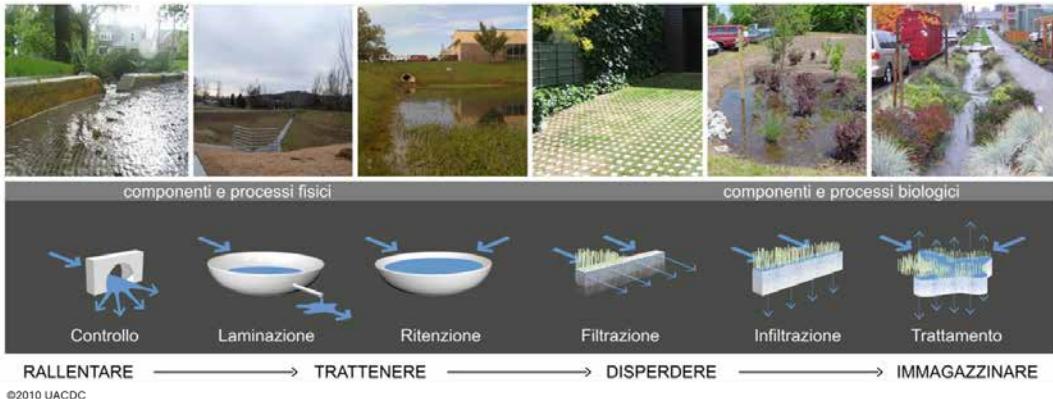


Figura 2: funzioni dei dispositivi di invarianza (modificato da UACDC, 2010)

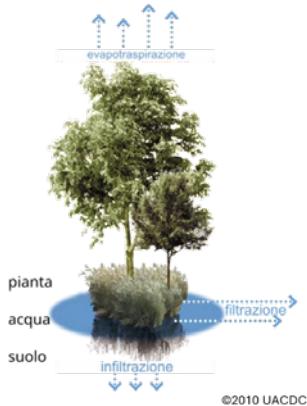


Figura 3: sistema Suolo-Pianta -Atmosfera (modificato da UACDC, 2010)

È importante anche evidenziare come l'applicazione dei dispositivi di invarianza non deve essere vista come singole unità che influenzano singoli processi, ma in maniera sistematica ed interconnessa -in serie o in parallelo- ("SuDS Management Train" in Woods Ballard et al., 2015) per ottenere gli obiettivi degli interventi stessi.

È infine fondamentale anche riconoscere come uno degli elementi centrali dei sistemi di invarianza idrologica e idraulica nell'ottica SuDS è il Sistema Suolo-Pianta-Atmosfera, che consente di regolare il processo di trasformazione afflusso-deflusso, avvicinando il più possibile il sistema urbano a quello naturale, essenzialmente attraverso i processi di intercettazione della precipitazione, filtrazione, infiltrazione ed evapotraspirazione (Figura 3).

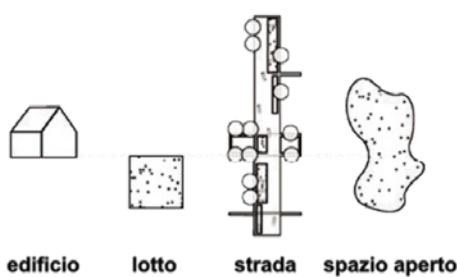
3 Le scale di applicazione

I dispositivi e le tecniche di invarianza sono ormai noti a molti progettisti, sebbene spesso si trascuri la componente biologica e in particolare il sistema Suolo-Pianta-Atmosfera.

Una minor consapevolezza riguarda invece il loro utilizzo nell'ambito di una strategia in cui i singoli dispositivi sono solamente degli strumenti per il raggiungimento dell'obbiettivo complessivo di invarianza (SuDS Management Train), soprattutto nei sistemi più articolati e complessi.

Nell'ambito di un tale approccio è fondamentale introdurre una visione che dipende dalla scala di applicazione a livello di progetto o nei casi di interventi molto ampi, ancor meglio, di piano.

In generale, possono essere identificate le seguenti scale che sono nidificate da quella più piccola a quella più grande e legate dal concetto di rete (Figura 4):



©2010 UACDC

Figura 4: scale di applicazione dei dispositivi di invarianza (modificato da UACDC, 2010)

- **Edificio**
- **Lotto/isolato**
- **Strada**
- **Spazio aperto**

Chiaramente, l'applicazione dei principi di invarianza alla scala più piccola comporta benefici anche a quella maggiore, così come includere l'approccio dell'invarianza già a livello di pianificazione tipico delle scale più ampie, facilita l'adozione e l'efficacia dell'adozione dei dispositivi alla piccola scala.

3.1 scala di Edificio

A scala di edificio e delle sue strette pertinenze (cortili e giardini), possono essere considerati tutti i processi precedentemente elencati sebbene in misura limitata e in funzione della tipologia di edificio (Figura 5) e delle sue pertinenze.



Figura 5: processi a livello di edificio (modificato da UACDC, 2010)

A questa scala l'importanza principale è rivestita dalle superfici di copertura degli edifici (tetti), sia per quanto riguarda la possibilità di immagazzinare il deflusso da essi originato, eventualmente accumulato in serbatoi e da riutilizzare, sia per la possibilità di sfruttare i processi di filtrazione e laminazione (e limitata ritenzione) nel caso di tetti verdi.

Le pertinenze degli edifici, cortili e giardini, possono avere un ruolo significativo solo se di grandi dimensioni ospitando, oltre agli eventuali serbatoi di accumulo, superficiali o sotterranei, e di laminazione anche piccole aree di infiltrazione o detenzione, swales e bioswales, e raingardens.

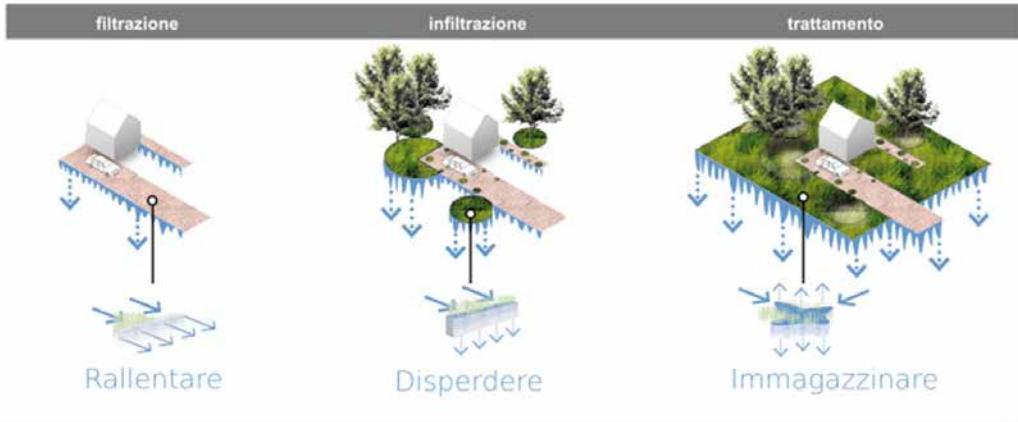
3.2 Scala di lotto/isolato

A scala di lotto/isolato, è possibile implementare strategie maggiormente articolate rispetto alla scala di edificio, in funzione delle caratteristiche e dell'estensione del lotto/isolato, soprattutto quando sono presenti aree a parcheggio. È anche importante prendere atto che all'interno del lotto/isolato può esserci una diversa distribuzione ed intensità dei dispositivi di invarianza, che possono essere progettati sinergicamente in un'ottica di integrazione dei dispositivi stessi (Figura 6).



Figura 6: diverse dislocazioni dei dispositivi di invarianza all'interno del lotto/isolato e combinazione di dispositivi (modificato da UACDC, 2010)

A questa scala assumono grande importanza i processi di regolazione del deflusso, filtrazione, infiltrazione e trattamento (Figura 7), che consentono di rallentare e distribuire il deflusso e trattenere acqua nel suolo e quindi cunette, aree di invaso e infiltrazione (ad esempio aree depresse che ospitano aiuole con vegetazione adeguatamente selezionata in funzione alle caratteristiche del luogo dal punto di vista climatico e soprattutto della frequenza di saturazione), swales e bioswales.



©2010 UACDC

Figura 7: esempio di processi che possono essere combinati all'interno di un intervento a scala di lotto (modificato da UACDC, 2010)

3.3 Scala di strada e parcheggi

Le strade e i parcheggi occupano una significativa porzione della superficie urbana e possono giocare un ruolo cruciale nell'invarianza, anche tenuto conto che la loro realizzazione, rifacimento e manutenzione è generalmente in carico a soggetti pubblici. Inoltre, per la loro ovvia conformazione a rete possono rivestire un rilevante ruolo sia in termini di fruibilità del paesaggio urbano che di biodiversità in termini di potenziale rete ecologica.

Sebbene di larghezza limitata, grazie alla loro estensione longitudinale, i dispositivi possono costituire una superficie complessiva molto rilevante ed efficace rispetto ai processi di regolazione, laminazione, infiltrazione, e filtrazione.

I dispositivi maggiormente rilevanti sono dati da cunette posizionate per distribuire il deflusso, stalli di stazionamento permeabili, trincee drenati, bioswales, rain gardens, fasce di filtrazione, piccoli bacini di infiltrazione e bioritenzione (San Mateo Countywide Water Pollution Prevention Program, 2009; Woods Ballard et al., 2015; UACDC, 2010). Chiaramente, occorrerà prestare particolare attenzione all'interferenza con eventuali sottoservizi presenti.

È utile sottolineare come questa impostazione non sia limitata a strade di quartieri residenziali di piccole cittadine, ma sia possibile anche a città densamente urbanizzate (si veda l'esempio di Portland; METRO, 2020). Le tipologie di layout dipenderanno dall'importanza e dal contesto in cui si sviluppano le strade, ma è possibile implementare l'approccio sia su strade "ordinarie" (Figura 8), sia negli ambiti di maggiore importanza, ove sarà possibile ampliare l'ampiezza, e quindi l'efficacia, dei dispositivi.

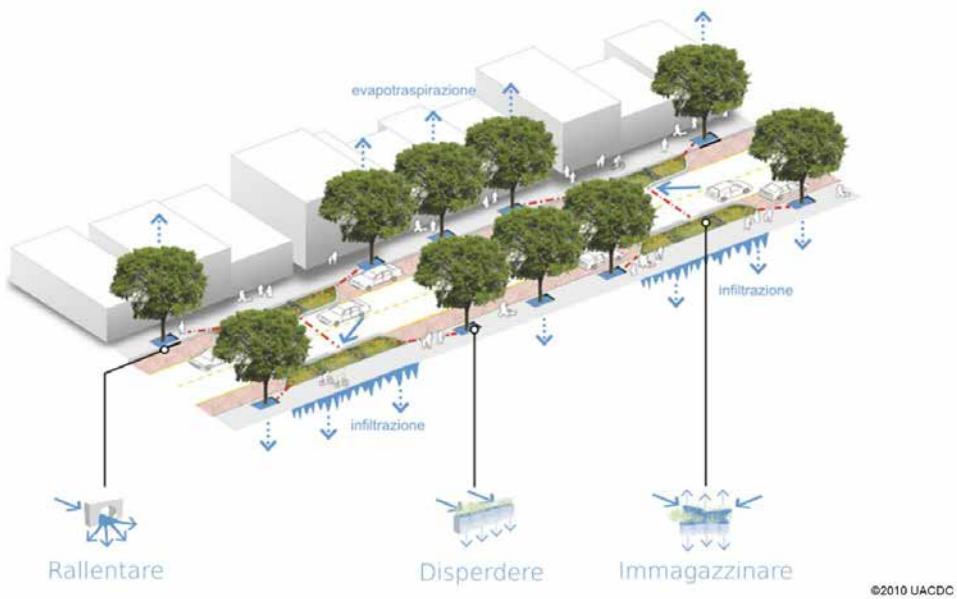


Figura 8: approccio su strade ordinarie (modificato da UACDC, 2010)

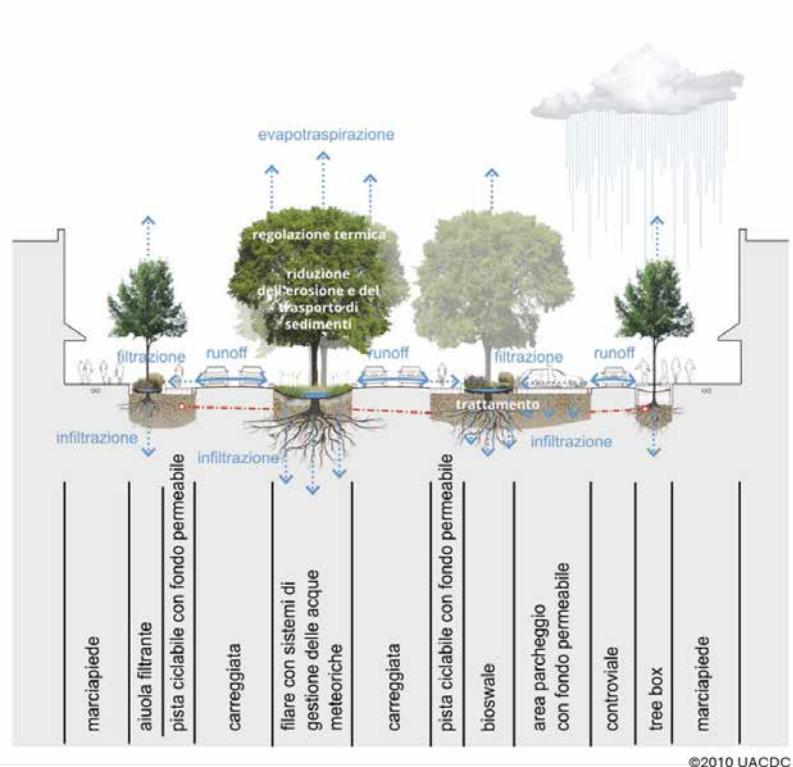
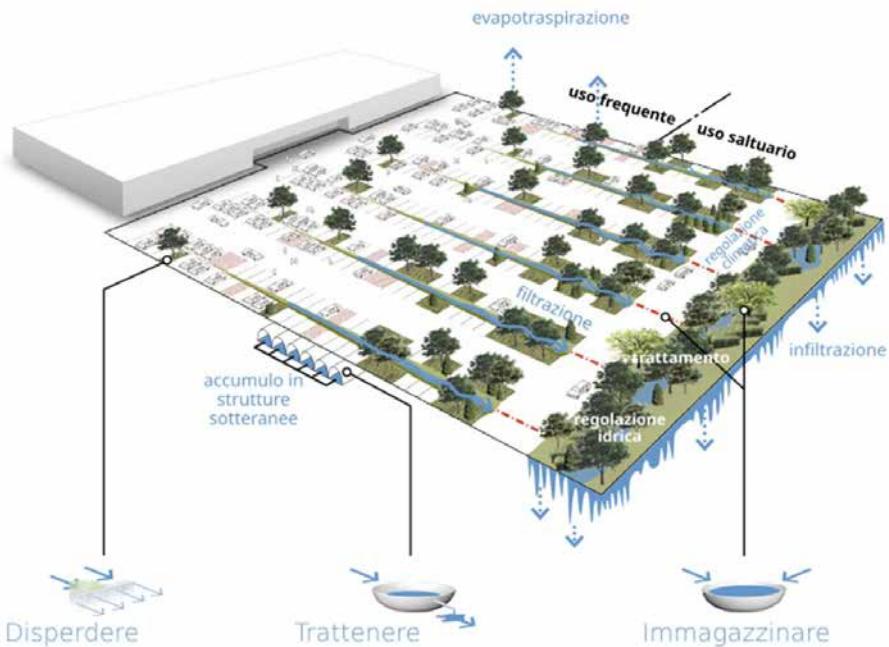


Figura 9: eco-boulevard (modificato da UACDC, 2010)

I parcheggi, se presenti, giocano un ruolo decisivo e, oltre al materiale della pavimentazione, ai fini dell'invarianza riveste un ruolo rilevante anche la geometria con cui vengono realizzati e la compartimentazione (Figura 10) in aree con diversa frequenza di utilizzo.

Numerosi esempi in funzione della tipologia insediativa possono essere reperiti in letteratura (ad esempio Woods Ballard et al., 2015).



©2010 UACDC

Figura 10: esempio di compartimentazione di un parcheggio in base alla frequenza di utilizzo e l'intensità e tipologia di soluzioni di invarianza (modificato da UACDC, 2010)

3.4 Scala di spazio aperto e di rigenerazione urbana

Nei grandi interventi di urbanizzazione degli spazi aperti o di rigenerazione urbana, le possibilità di implementare dispositivi di invarianza idraulica sono ovviamente massime. Senza entrare nell'ambito della pianificazione urbanistica, è chiaro che a questa scala occorre trovare una sintesi tra le funzioni ricreative, estetiche ed ecologiche, che però non siano in contrasto con i principi dell'invarianza idrologica e idraulica e del buon funzionamento (o miglioramento) dei corpi idrici recettori, siano essi naturali o artificiali (in particolare il denso reticolto agricolo che caratterizza la pianura lombarda).

Tipicamente molti di questi interventi fanno riferimento anche ai concetti di greenway e di rete ecologica, alla cui implementazione concreta i dispositivi SuDS possono contribuire (si veda nuovamente Figura 1).

Un esempio di intervento a questa scala è, in Lombardia, il parco della Trucca realizzato nella nuova area ospedaliera di Bergamo (Pasinetti, 2011; Figura 11), mentre a livello internazionale molti casi possono essere trovati nel sito della rivista digitale Landscape Performance Series (<https://www.landscapeperformance.org/>), dedicata ai casi di studio nel campo della progettazione del paesaggio.

Serie Ordinaria n. 6 - Venerdì 06 febbraio 2026



Figura 11: immagini aeree dell'evoluzione temporale del Parco della Trucca (da geoportale di Regione Lombardia)

4 Dispositivi e opere

I dispositivi di invarianza, come già ricordato, sono molteplici e possono essere utilizzati a diverse scale, ma sempre nell'ottica dell'integrazione (SuDS Management Train).

Occorre anche notare che spesso gli stessi dispositivi assumono nomenclature differenti e che una precisa classificazione o addirittura una tassonomia, come talvolta si ritrova nella manualistica, non è possibile, né opportuna. Soprattutto quando un dispositivo assume più valenze funzionali e influenza più processi (ad esempio le cunette/avallamenti/swales/trincee drenanti), come è tipico di molti dispositivi che rientrano nelle SuDSs, ogni classificazione risulterebbe inevitabilmente rigida se non fuorviante per il lettore. È quindi opportuno inquadrare questi dispositivi, oggi ben descritti in moltissimi manuali facilmente disponibili (ad esempio Woods Ballard et al., 2015), in base ai processi e alla capacità di ridurre il volume di deflusso, nonché il tipo di azione che esercitano da meccanica a biologica (UACDC, 2010).

4.1 Dispositivi di controllo del deflusso

Di seguito sono brevemente descritte le principali tecniche che rientrano nell'ambito dei progetti che fanno riferimento al SuDS, senza pretesa di esaustività. I paragrafi sono organizzati come segue:

- Una tabella di sintesi che con un solo colpo d'occhio riassume le funzioni principali e secondarie, la scala di applicazione, il processo/fenomeno su cui ha effetto e gli aspetti manutentivi. Lo sfondo verde intenso e testo bianco indica il ruolo principale (xxxx), lo sfondo verde chiaro e testo nero indica un ruolo secondario (yyyy).
- Una breve descrizione della tecnica corredata da figure esplicative
- I riferimenti bibliografici per la progettazione, reperibili in rete (ad eccezione dei documenti che costituiscono standard)

Si è invece rinunciato a fornire un quadro tassonomico delle tecniche in quanto la letteratura internazionale non è sempre concorde e, soprattutto, molte di esse sono caratterizzate da una multifunzionalità e possono essere collocate in più categorie.

4.1.1 Caditoie e bocche di lupo

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Le caditoie e le bocche di lupo nei cordoli stradali conducono generalmente al sistema di raccolta delle acque, eventualmente con pozzetti e camere di decantazione. Nell'ambito dei dispositivi di invarianza possono essere utilizzate per indirizzare e distribuire il deflusso proveniente dalle superfici impermeabili o semi permeabili (strade, parcheggi, ecc.) nella forma più appropriata allo scopo del dispositivo ricevente, che spesso è costituito da dispositivi drenanti (trincee, avallamenti, swales). In

Riferimenti progettuali

- County of San Diego (2014)
- San Mateo County (2009) Sustainable Green Streets and Parking Lots Design Guidebook.
- Woods Ballard et al. (2015)

4.1.2 Brigliette e soglie

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Sono semplici opere trasversali elevate rispetto al fondo o a raso, che hanno la funzione di regolare i livelli idrici e, nelle situazioni più accidentate a moderare la pendenza o comunque impedire l'erosione del fondo.

Riferimenti progettuali

- Woods Ballard et al. (2015)

4.2 Dispositivi con prevalente funzione di filtrazione

4.2.1 Fasce di filtrazione

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di strisce di erba o altra vegetazione fitta, uniformemente livellate e leggermente inclinate, progettate per trattare il deflusso, rallentandolo, dalle aree impermeabili adiacenti promuovendo la sedimentazione, la filtrazione e l'infiltrazione. Sono elementi di collegamento tra le aree impermeabili che producono il deflusso e i canali di scolo, o i sistemi di bioritenzione e i dispositivi drenanti.

La loro efficacia è legata al tempo di transito e quindi alla velocità, alla lunghezza ed al tipo di suolo e vegetazione presente.

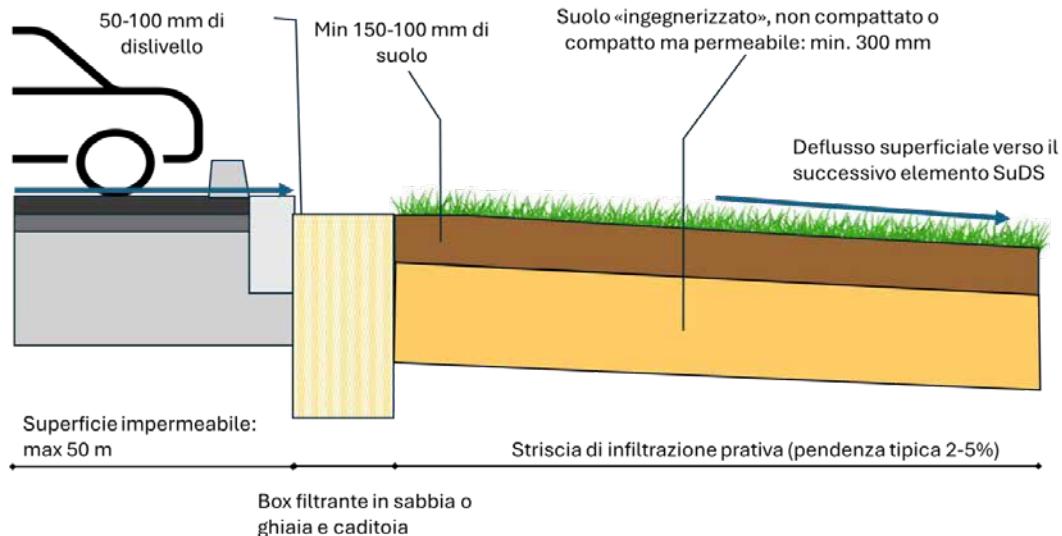


Figura 12: schema di una striscia filtrante (ridisegnato ed adattato da Wood Ballard et al., 2015)

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- Comune di Bologna (2018)
- County of San Diego (2014)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.2.2 Tetti verdi

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

I tetti verdi sono coperture di edifici costruite in maniera tale da poter ospitare vegetazione, solitamente di tipo erbaceo (Figura 13). I vantaggi sono molteplici, soprattutto dal punto di vista bioclimatico e estetico, mentre sono piuttosto limitati dal punto di vista dell'invarianza.



Figura 13: tetto verde realizzato per la scuola dell'infanzia di Edolo (Vallecamonica; foto Bischetti)



Figura 14: esempio di tetto in ghiaia (Tirolo, Austria; foto Bischetti)

all'invarianza, mentre minore è l'effetto bioclimatico e sulla biodiversità, è rappresentata dai tetti coperti in ghiaia (Figura 14), che non presentano le problematiche tipiche dei tetti verdi in termini di manutenzione e gestione del verde.

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- County of San Diego (2014)
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.3 Dispositivi con prevalente funzione di infiltrazione

In ossequio al principio cardine di ripristinare -per quanto possibile- il naturale ciclo delle acque, moltissimi dispositivi hanno come funzione prevalente quella di favorire l'infiltrazione e, se le condizioni del sito e la qualità delle acque lo consentono, la percolazione profonda.

Questo tipo di dispositivi ben si presta a combinare la funzione meccanica di infiltrazione/percolazione con le funzioni biologiche fornite dalla presenza di vegetazione. Le soluzioni che prevedono la presenza

Vi sono due categorie principali di tetti verdi (Woods Ballard et al., 2015):

- estensivi, caratterizzati da una profondità del substrato (e quindi del carico sulla struttura), ridotta e una vegetazione semplice e bassi requisiti di manutenzione;
- intensivi (o giardini pensili) caratterizzati da substrati più profondi (e quindi carichi più elevati) che possono sostenere un'ampia varietà di piantumazioni, ma che richiedono una manutenzione più intensiva.

Woods Ballard et al. (2015) identificano un'ulteriore categoria, definita blu, espressamente concepita per immagazzinare acqua con funzione di attenuazione dei tempi di recapito del deflusso in rete o di raccolta verso le cisterne

Oltre che una attenta cura nell'esecuzione, richiedono attenzione nel mantenimento della vegetazione soprattutto nei climi con regimi pluviometrici caratterizzati da lunghi periodi siccitosi (durante i quali occorre prevedere l'irrigazione). Un'attenta scelta delle specie da utilizzare consente di ridurre le problematiche in fase di gestione, oltre che incrementare la biodiversità.

Una variante del tutto analoga ai tetti verdi dal punto di vista dell'efficacia rispetto

delle piante, in grado di assicurare la multifunzionalità e il raggiungimento degli obiettivi complessivi delle SuDS (cfr. 3), dovrebbero quindi essere preferite a quelle più tradizionali che tendono ad avere un obiettivo puramente idraulico,

4.3.1 Pavimentazioni permeabili

Le pavimentazioni permeabili consentono di attivare processi di infiltrazione, filtrazione e rallentamento del deflusso. Le tipologie di superfici e materiali sono estremamente varie e diversificate. Di seguito si farà riferimento a quelle più diffuse.

L'efficacia di queste pavimentazioni dipende, oltre che dalle caratteristiche delle stesse, dal substrato su cui appoggiano. Da questo punto di vista possiamo avere tre comportamenti (Woods Ballard et al., 2015):

- Infiltrazione totale, il cui limite sarà dato dallo strato meno permeabile
- Infiltrazione parziale, in cui tra il terreno naturale e lo strato di fondazione è presente un dreno che smaltisce l'eccesso rispetto all'infiltrazione nel terreno naturale
- Nessuna infiltrazione, in cui tra il terreno naturale e lo strato di fondazione è presente un dreno che smaltisce l'intero quantitativo infiltrato dalla pavimentazione e dallo strato di fondazione.

4.3.1.1 Calcestruzzo e asfalto drenante

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Nel caso del calcestruzzo si tratta di una miscela di cemento, aggregati, acqua e additivi, realizzato per mantenere un volume di vuoti tra il 15% e il 25% in modo da consentire una permeabilità di diverse migliaia di mm/h in funzione della composizione (81 to 730 L/min/m²; ACI PRC 522-23). Nel caso dell'asfalto si tratta di una miscela di bitume, aggregati, acqua e additivi, realizzato per mantenere un volume di vuoti tra il 16% e il 22%; anche in questo caso la capacità drenante va da alcune centinaia ad alcune migliaia di mm/h.

Il valore effettivo della permeabilità dipende anche dalle caratteristiche del terreno sottostante, salvo che sia collocato al di sopra di una tubazione. Inoltre, la capacità drenante tende a ridursi nel tempo a causa dell'intasamento degli spazi da parte di particelle solide, fino ad avere un valore residuo del 20% rispetto al valore iniziale nell'arco di 10 anni di esercizio.

Sono una soluzione applicabile a strade a basso volume di traffico, piste ciclabili, viali pedonali, ecc.

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- BS 7533-13:2009 (2009)
- Comune di Bologna (2018)

- County of San Diego (2014)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.3.1.2 Pavimentazione con elementi autobloccanti

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Vi sono moltissime tipologie di pavimentazione riconducibili a questa categoria, così come schemi di posa. Dal punto di vista della capacità drenante un ruolo essenziale è dato dalla spaziatura dei giunti che, se adeguata può permettere di superare alcune centinaia di mm/h al momento della posa.

La permeabilità effettiva dipenderà da quella del substrato e diminuisce nel tempo fino a valori inferiori al 20% nel corso di un decennio.

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- BS 7533:13 (2009)
- Comune di Bologna (2018)
- County of San Diego (2014)
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.3.1.3 Sistemi modulari a celle inerbite

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	

Descrizione

Si tratta di elementi in calcestruzzo o anche materiale plastico ad elevata resistenza che formano un reticolato a maglia quadrata, esagonale, o altre forme di circa 10 cm di ampiezza, riempito con terriccio per la crescita del manto erboso o con ghiaiano, eventualmente colorato per finalità estetiche.

Il coefficiente di deflusso iniziale è nell'ordine del 50%, che può ridursi al 5-10% dopo alcuni anni in funzione della compattazione in esercizio. La permeabilità effettiva dipende anche da quella del substrato.

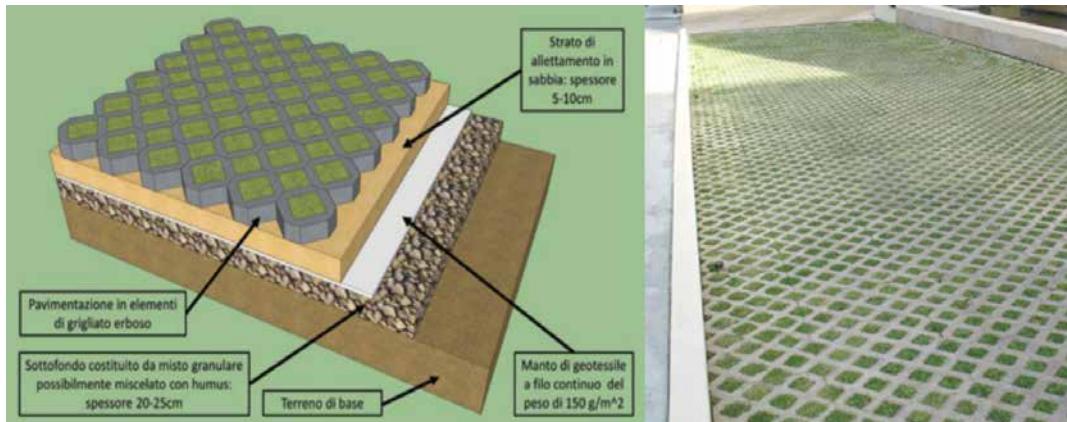


Figura 15: esempi di pavimentazioni modulari a celle (da Masseroni et al., 2018)

Riferimenti progettuali

- Bonsignori e Senes (2022)
- BS 7533-13:2009 (2009)
- Comune di Bologna (2018)
- County of San Diego (2014)
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.3.2 Avvallamenti filtranti o “Swales”

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di depressioni lineari vegetate, più meno profonde dal fondo piatto, con andamento rettilineo o sinuoso, che hanno lo scopo di convogliare, trattare e attenuare il deflusso delle acque prodotte dalle superfici circostanti. Tipicamente sono coperti da vegetazione, solitamente erba, per rallentare l'acqua, facilitando la sedimentazione, la filtrazione attraverso la zona delle radici e la matrice del suolo, l'evapotraspirazione e l'infiltrazione nel suolo sottostante. In linea di principio possono anche favorire i processi di adsorbimento e biodegradazione.

Sotto lo strato di infiltrazione possono incorporare una serie di dispositivi tecnici (dreni, geostrutture, ecc.) per aumentare il volume di trattenuta o ricevere il troppo pieno da convogliare alla rete di

drenaggio tradizionale. La stratificazione prevede un primo orizzonte organico di alcuni centimetri in grado di sostenere la vegetazione, cui segue uno strato profondo di terreno di media tessitura e, separato da uno foglio di geotessuto un materasso di ghiaia in cui si trova l'eventuale tubazione di troppo pieno (Figura 16).

L'andamento longitudinale può essere meandriforme a simulare un corso d'acqua naturale, e possono essere inserite brigiette con la funzione di regolare i livelli idrici e, nelle situazioni più accidentate a moderare la pendenza. Possono essere realizzate anche riconvertendo le aiuole che dividono le carreggiate, ai bordi delle strade o delle aree a parcheggio (Figura 17). Possono essere anche non vegetate (Dryswales) in cui manca lo strato di supporto alla vegetazione e la sezione della cunetta può essere riempita con ghiaia; in tale caso sono di fatto degli avvallamenti filtranti.

In genere le dimensioni vengono assegnate per ospitare una portata fino a 10 anni di Tempo di Ritorno (UACDC, 2010) e sono spesso utilizzati per drenare strade, sentieri o parcheggi, dove è conveniente raccogliere i flussi distribuiti di deflusso. In alcuni casi possono arrivare a sostituire le tubazioni convenzionali.

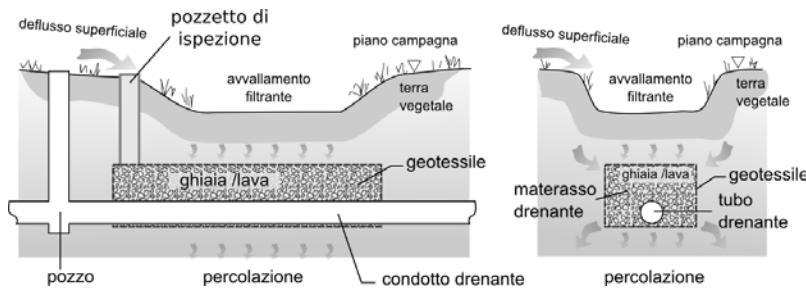


Figura 16: schemi di avvallamenti filtranti (da Di Fidio e Bischetti, 2008)



Figura 17: avvallamento nella fase costruttiva e un anno dopo (Tirolo, Austria; foto Bischetti)

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- Comune di Bologna (2018)
- County of San Diego (2014)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.3.3 Aree e bacini di infiltrazione

Si tratta di dispositivi che hanno un grande spettro di tipologie e dimensioni differenti, ma che hanno in comune la caratteristica di accumulare il deflusso che poi infiltra o evapora, salvo la possibilità di sfiorare il troppo pieno nei casi più strutturati.

4.3.3.1 Aree di infiltrazione

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Sono aree più o meno estese (da poche decine a qualche migliaio di metri quadrati) leggermente depresse rispetto alle quote circostanti che quindi possono accumulare il deflusso proveniente da esse, che poi infiltra o evapora (Figura 18). Solitamente non richiedono una progettazione idraulica, ma solamente un'attenzione alla composizione del substrato ed alle sue caratteristiche idrauliche.



Figura 18: piccolissima depressione con finalità di area di infiltrazione (a sinistra: Utrecht, Olanda; foto Bischetti; a destra Vilnius, Lituania; foto Chiaradia))

Riferimenti progettuali

- Woods Ballard et al. (2015)

4.3.3.2 Bacini di infiltrazione

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
Manutenzione	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di aree depresse di dimensioni variabili, ma realizzate per definire un preciso volume di immagazzinamento del deflusso che proviene dalle aree circostanti (Figura 19).



Figura 19: bacino di infiltrazione a valle di un complesso residenziale (Francia, foto E.A. Chiaradia)

Rispetto alle aree di infiltrazione sono in genere di maggiore superficie e profondità, ma soprattutto dotate di dispositivi di ingresso e talvolta di sfioro del troppo pieno, per cui richiedono una progettazione idraulica. Rilevante è anche l'inserimento nella progettazione urbanistica e per quelli di maggiori dimensioni anche paesaggistica ed eventualmente naturalistica.

Riferimenti progettuali

- Bonsignori e Senes (2022)
- Comune di Bologna (2018)
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.3.4 Pozzi drenanti

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di scavi riempiti con un materiale che forma dei vuoti e che consente lo stoccaggio temporaneo dell'acqua prima che questa penetri nel terreno. Spesso sono semplici cilindri finestrati in calcestruzzo infissi più o meno profondamente nel terreno e riempiti di materiale permeabile (ghiaia) in modo da trasferire il deflusso verso la percolazione profonda in falda (Figura 20).

Talvolta il principio viene implementato con l'utilizzo di strutture geocellulari a forma "nastri" permeabili appena al di sotto della superficie del suolo (Figura 21).

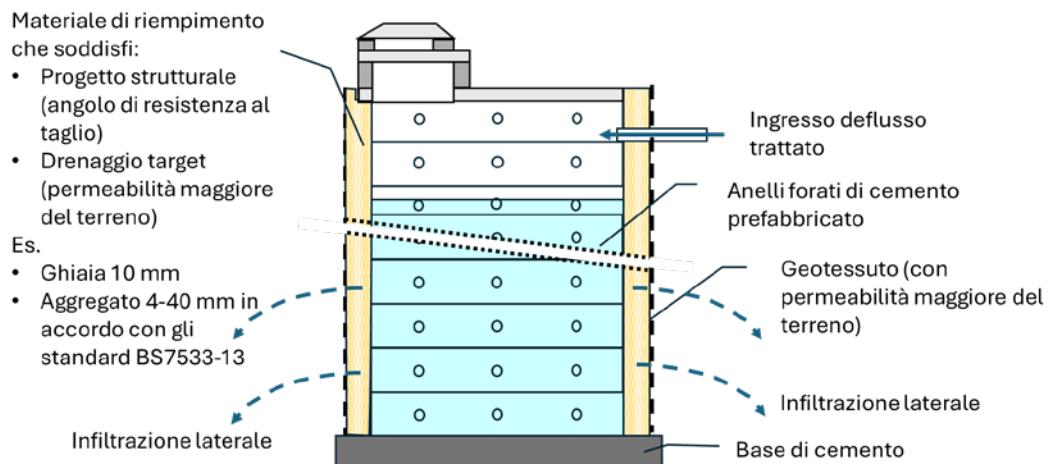


Figura 20: pozzi di infiltrazione (ridisegnato ed adattato da Woods Ballard et al., 2015)

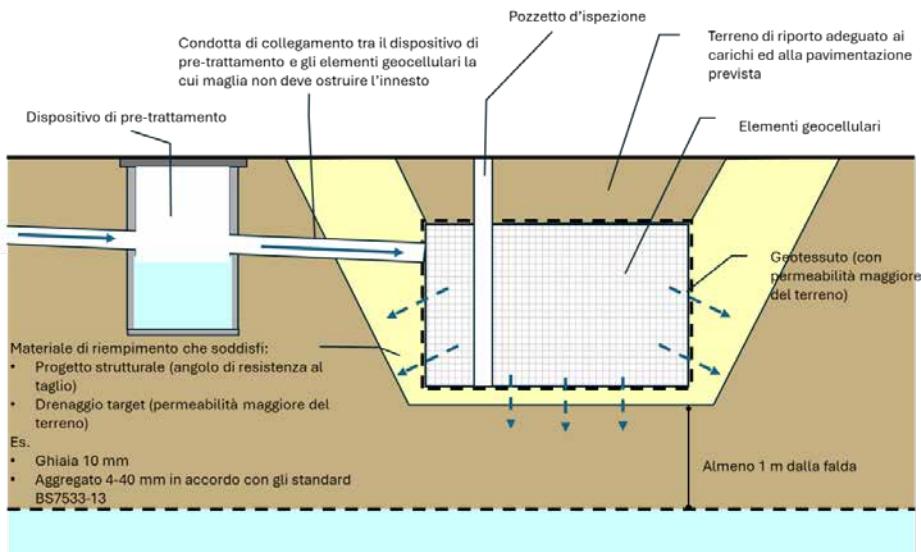


Figura 21: strutture geocellulari di infiltrazione (ridisegnato ed adattato da Woods Ballard et al., 2015)

Sono adatti al caso di suoli generalmente poco permeabili e può essere adoperata per interventi a piccola scala, in centri abitati con limitata superficie a disposizione in quanto necessitano di uno spazio molto contenuto, inferiore all'1% della superficie drenata. In essi possono essere convogliate solamente acque meteoriche scarsamente inquinate, previo pretrattamento che deve comprendere almeno un'efficace sedimentazione.

Riferimenti progettuali

- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.4 Dispositivi con prevalente funzione di (bio)ritenzione

Sono dispositivi che prendono la forma di depressioni in cui accumulare il deflusso che subisce anche un trattamento di riduzione degli inquinanti grazie alla presenza di vegetazione e di substrati con determinate caratteristiche tecniche (Woods Ballard et al., 2015).

Sono molto simili agli avvallamenti filtranti, ma la funzione di ritenzione prevale su quella di infiltrazione e, se realizzati con substrati di adeguate caratteristiche tecniche e con vegetazione specifica, possono avere una spiccata attività di filtrazione e trattamento. Oltre alla funzione idraulica e di trattamento, possono avere anche funzioni legate alla biodiversità ed all'impatto paesaggistico.

4.4.1 Trincee di infiltrazione

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di trincee poco profonde riempite con pietre/ghiaia, eventualmente avvolta in un geotessuto, che creano un serbatoio sotterraneo temporaneo per la laminazione, il convogliamento e la filtrazione delle acque di deflusso superficiali. È necessario prevedere alla base un tubo per raccogliere e convogliare l'acqua ai componenti di valle.

In linea di principio possono anche favorire i processi di adsorbimento e biodegradazione e possono essere equipaggiate con vegetazione.

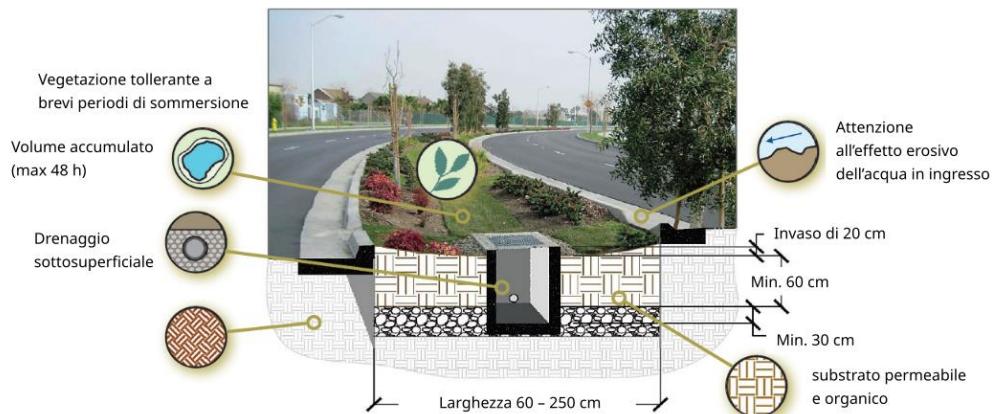


Figura 22: schema di una trincea di infiltrazione (modificato da Città di San Diego 2011)

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- Comune di Bologna (2018)
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.4.2 Aiuole di Bioritenzione

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Sono dispositivi piuttosto diversificati che hanno in comune la capacità di accumulare il deflusso proveniente dalle aree circostanti e di poter esercitare le funzioni di filtrazione e trattamento grazie alla presenza di vegetazione, di substrati e di suolo con specifiche caratteristiche.

Comprendono da semplici avallamenti caratterizzati da un substrato costituito da un mezzo filtrante solitamente isolato attraverso geotessuto, fino ad aiuole e piccole aree di bioritenzione caratterizzate dalla presenza di elementi geostrutturali.

Sono dotati di un meccanismo di troppo pieno che al superamento della massima soglia invasabile, convoglia l'eccesso verso la rete di drenaggio tradizionale.

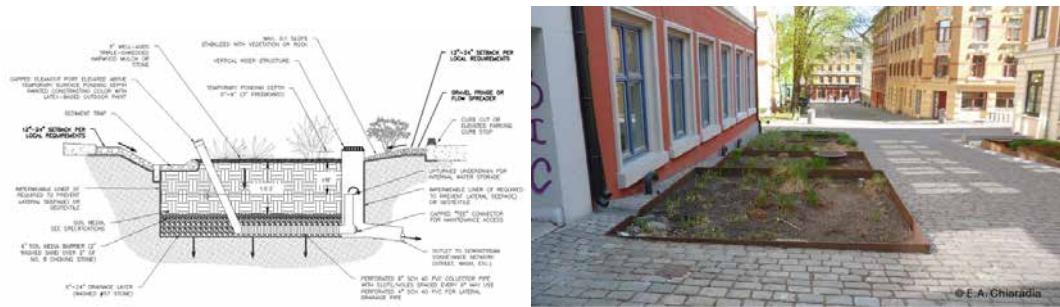


Figura 23: a sinistra schema costruttivo di aiuola di bioritenzione (da City of Tucson, 2015); a destra Oslo, Norvegia (foto Chiaradia)



Figura 24: aiuole di bioritenzione, Aveiro, Portogallo (foto G.B. Bischetti)

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- County of San Diego (2014)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.4.3 Rain garden

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione



Figura 25: schema di un rain garden (da Bonsignori e Senes, 2022)

strati di filtraggio sono generalmente sostituiti da poche decine di centimetri di compost/terreno nativo arricchito con sabbia o miscele di terreno specifiche (Figura 25). Non sempre hanno un dispositivo di troppo pieno.

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- Woods Ballard et al. (2015)

Un rain garden (Figura 25) 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 runoff. 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

Sono in genere piccoli sistemi a servizio dei singoli edifici o parti di esso, costituiti da un'area verde concava, progettata per raccogliere e trattenere temporaneamente le acque meteoriche intercettate dalle superfici impermeabili circostanti. Si tratta in genere di sistemi meno ingegnerizzati rispetto alle celle di bioritenzione e ricompresi nell'ambito del design dei giardini. Gli

4.4.4 Tree pit e Tree box

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Gli alberi hanno un effetto rilevante nell'ambito delle SuDS, da soli o in combinazione con i diversi dispositivi. Grazie alla loro capacità di ridurre la quantità di precipitazione che arriva al suolo e di restituire in atmosfera, attraverso il processo evapotraspirativo, l'acqua accumulata nel suolo o nei mezzi porosi, infatti contribuiscono a riequilibrare il ciclo dell'acqua, oltre ad avere effetti dal punto di vista bioclimatico, della biodiversità e del paesaggio urbano.

In ambito urbano, tuttavia, i limiti di spazio a disposizione e le interferenze con i sottoservizi non consentono di sfruttare al massimo il loro potenziale, senza contare che spesso la scarsa sensibilità degli operatori ne annulla quasi completamente ogni funzione idraulica.

Nonostante le citate limitazioni, è tuttavia possibile massimizzare l'effetto idraulico realizzando delle vere e proprie strutture tecnologiche che combinano gli aspetti biologici con quelli ingegneristici. Sostanzialmente si tratta da una parte di confinare l'espansione dell'apparato radicale sia lateralmente che in profondità attraverso reti e teli antiradice ed eventualmente impermeabilizzati, dall'altra di utilizzare un substrato di riempimento adatto alla crescita delle piante e ricco di vuoti, protetto superficialmente da elementi che evitino il compattamento del substrato stesso che ne ridurrebbe sia la capacità di immagazzinare acqua, sia le condizioni necessarie alla salute dell'apparato radicale. Il tutto corredato da eventuali drenaggi e da un piano ribassato rispetto alla superficie stradale/pedonale per favorire il convogliamento del deflusso, anche attraverso opportune aperture nei cordoli. (Figura 26).

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)
- Comune di Bologna (2018)
- Woods Balalrd et al. (2015)



Figura 26: a sinistra schema di aiuola drenante equipaggiata con alberatura (modificato da City of Edmonton 2014); a destra esempi ad Oslo, Norvegia.

4.5 Sistemi con prevalente funzione di laminazione

Per la sola laminazione delle portate sono stati concepiti nel tempo, una serie piuttosto diversificata di dispositivi con dimensioni molto diversificate: da limitati invasi in rete a vasche interrate di maggiori dimensioni, a stagni e laghetti con funzione paesaggistica, fruitiva e di incremento della biodiversità.

Tutti hanno in comune la prevalente funzione di laminazione, eventualmente affiancata da altre quali l'infiltrazione, la filtrazione, il trattamento.

Di seguito una sintetica e non esaustiva panoramica di questi dispositivi, con i consueti rimandi per gli aspetti progettuali.

4.5.1 Serbatoi e cisterne per il riuso

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di serbatoi e cisterne di varia tipologia e volume, superficiali o sotterranei, normalmente collegate ai pluviali degli edifici, ma anche a superfici impermeabili che fungono da sistema di raccolta delle acque. I serbatoi immagazzinano l'acqua raccolta per successivi utilizzi domestici, per l'irrigazione o utilizzi consentiti dalla normativa.

Nel caso dei serbatoi superficiali prevalgono piccole cisterne di varia tipologia, da barili in legno o metallo, a serbatoi prismatici in plastica (Figura 27a), mentre nel caso di serbatoi sotterranei si tratta

dei classici serbatoi in materiale plastico cilindrici o prismatici, più raramente costruite in calcestruzzo opera (Figura 27b). I serbatoi devono essere inseriti in un sistema più o meno articolato di raccolta, immagazzinamento e utilizzo; un tipico esempio di raccolta e riutilizzo è riportato in Figura 28.



Figura 27: a) piccola cisterna a servizio di un'abitazione unifamiliare in Tirolo, Austria (foto Bischetti); b) serbatoio sotterraneo

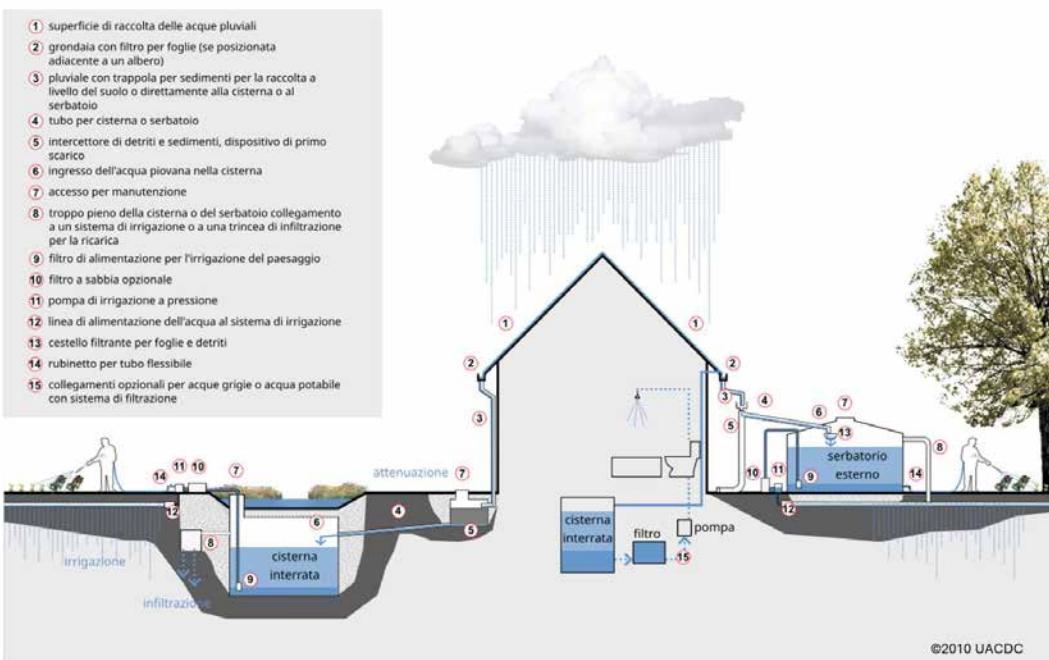


Figura 28: esempio di serbatoi di accumulo di acqua piovana con utilizzo (modificato da UACDC, 2010)

Riferimenti progettuali

Il dimensionamento dipende dal regime pluviometrico e dall'utilizzo previsto per quanto raccolto in termini di volume e frequenza di utilizzo. Devono inoltre essere previsti un sistema di gestione del troppo pieno, l'eventuale trattamento, e un protocollo di manutenzione periodico.

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- BS EN 16941-1: 2024
- Comune di Bologna (2018)
- County of San Diego (2014)
- DIN 1989-1:2002-04
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

Considerazioni sulla qualità dell'acqua

A livello di edificio, la gran parte del deflusso è originato dai tetti spesso impermeabili (una pioggia di 10 mm che cade su una superficie di 100 m², equivale a 1 m³). Oltre a dimensionare adeguatamente il volume dei serbatoi, ai fini di un riutilizzo occorre tenere in considerazione anche la qualità dell'acqua che ne deriva e che dipende anche dal materiale con cui vengono realizzati i tetti.

In linea di massima, la copertura con i classici "coppi" non prevede un peggioramento della qualità del deflusso rispetto a quella della pioggia, salvo che per il primo dilavamento che può contenere quanto depositato nei periodi asciutti, specialmente nelle realtà con significativo inquinamento atmosferico. In tali casi occorre prevedere che il primo dilavamento non venga immagazzinato. Lo stesso dicasì per eventuali coperture in metallo.

Nel caso di coperture con membrane bituminose, derivate dal petrolio o simili, invece, la ritenzione per un riutilizzo è generalmente sconsigliato per la possibilità che vi sia un rilascio di sostanze inquinanti, anche se l'irrigazione di specie ornamentali potrebbe comunque essere effettuata senza particolari rischi.

Indipendentemente dalla tipologia di superficie, comunque, ai fini di un riutilizzo, sia di tipo domestico che non, è comunque opportuno considerare la necessità di filtrazione per evitare la presenza di particelle sospese e disinfezione nel caso di immagazzinamento prolungato nel tempo (sia per quanto riguarda la colonizzazione batterica, ma anche quella algale e di insetti).

4.5.2 Vasche volano interrate

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
Manutenzione	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Sono strutture sotterranee per la raccolta delle acque piovane, l'attenuazione del picco di piena e la sedimentazione del particolato; è anche esercitato un debole trattamento. Solitamente sono utilizzate dove lo spazio superficiale richiesto dalle altre strutture di invarianza è limitato.

La manutenzione richiesta è minima, limitandosi ad un'ispezione periodica ed alla rimozione di detriti di grandi dimensioni, sedimenti e inquinanti depositati.

Riferimenti progettuali

Per questo tipo di dispositivi vi sono riferimenti progettuali nella tradizionale manualistica relativa all'idraulica delle aree urbane.

4.5.3 Vasche volano superficiali e “constructed wetland”

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
Manutenzione	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Fondamentalmente si tratta di depressioni normalmente asciutte in cui durante le precipitazioni viene convogliato una parte del deflusso generato da altre superfici, per la successiva infiltrazione, evapotraspirazione ed eventualmente reimmissione in rete attraverso meccanismi di troppopieno.

Una particolare categoria di vasche di laminazione superficiali è quella delle cosiddette piazze allagabili molto diffuse nei paesi del nord Europa, quali Olanda e Danimarca, ma che sono collegate a grandi interventi di rigenerazione urbana.

Esiste un grande potenziale, spesso inespresso, per questo tipo di dispositivi nelle aree reliquiate da interventi infrastrutturali. Le vasche di grandi dimensioni devono essere attentamente dimensionate dal punto di vista idraulico, sia in termini di volumi che di dispositivi di immissione e scarico.

Grazie al terreno ed alla vegetazione possono avere anche funzione di trattamento delle acque in funzione del tempo di residenza nella vasca.

Possono avere dimensioni modestissime, così come interessare aree molto vaste; in quest'ultimo caso rilevanti sono anche le funzioni paesaggistiche e fruitive.

A fronte di un grande potenziale di efficacia, al crescere delle dimensioni si presentano però problemi di reperimento di superfici adatte, accettabilità da parte della popolazione e costi di realizzazione e manutenzione.

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Bonsignori e Senes (2022)

- Comune di Bologna (2018)
- Masseroni et al. (2018)
- Woods Ballard et al. (2015)

4.5.4 Supertubi e sistemi cellulari

Sintesi

Funzione	Controllo	Laminazione	Ritenzione	Filtrazione	Infiltrazione	Trattamento
Scala	Edificio	Lotto/isolato	Strada	Spazio aperto		
Effetto	Picco di portata	Piccoli eventi	Grandi eventi	Qualità	Fruizione	Biodiversità
	Occasionale	Straordinaria	Annuale	Semestrale	Stagionale	Regolare
Manutenzione	Pulizia	Asportazione detriti	Asportazione sedimenti	Rimozione inquinanti	Sfalcio o potatura	Ispezione

Descrizione

Si tratta di sistemi che hanno l'obiettivo di creare uno spazio vuoto sotterraneo per l'immagazzinamento temporaneo deflusso prima del rilascio controllato nella rete tradizionale, ed eventualmente dell'infiltrazione o del riutilizzo (Figura 29).

Vi sono innumerevoli modi per realizzare questi sistemi, tra cui (Woods Ballard et al., 2015):

- sistemi geocellulari
- strutture in plastica ad arco
- tubi sovradimensionati in calcestruzzo, plastica, o altro materiale
- sezioni e serbatoi prefabbricati o in calcestruzzo gettato in opera
- serbatoi in plastica rinforzata con fibra di vetro (GRP)
- strutture con pareti in terra rinforzata e pannelli di copertura in calcestruzzo

I loro principale vantaggio è quello di massimizzare il volume di laminazione, a parità di dimensione dell'opera, e di poter essere collocati sotto strade e parcheggi, aree ricreative e altri spazi pubblici all'aperto. Elementi critici o limitanti sono l'accessibilità e manutenibilità di alcuni tipi, la mancanza della funzione di trattamento delle acque e il costo.



<https://www.geoplastglobal.com/en/projects/equinix-center-settimomilanese-milan-italy>

Figura 29: esempi di sistemi di laminazione interrata.



<https://tubi.net/sistema-di-laminazione>

Riferimenti progettuali

Per la progettazione di questo tipo di dispositivi si può fare riferimento alle seguenti fonti:

- Masseroni et al. (2018) Woods Ballard et al. (2015)

5 Indicazioni generali per l'integrazione delle soluzioni di invarianza nel verde urbano e periurbano

Le soluzioni di invarianza più interessanti per la loro multifunzionalità comprendono l'utilizzo della vegetazione per le sue proprietà tecniche (controllo del deflusso e degli inquinanti), estetico-fruite ed ecologiche (cfr. Figura 1). Nonostante ciò, anche nella manualistica più generosa in termini di dettagli costruttivi viene spesso dedicata poca attenzione a questi aspetti da cui può dipendere il successo delle soluzioni implementate.

In questo capitolo viene quindi affrontato il tema dell'implementazione delle soluzioni di invarianza con particolare riferimento alla modalità di progettazione dell'intervento in relazione alle caratteristiche locali e alle necessità di sviluppo e armonizzazione del verde urbano e peri-urbano esistente.

5.1 Verde urbano e peri-urbano

Ai fini del presente documento, si fa riferimento alla classificazione del verde urbano ISTAT 2016; per verde urbano e peri-urbano si intende il patrimonio di aree verdi, disponibili per ciascun cittadino, presente sul territorio comunale e gestito (direttamente o indirettamente) da enti pubblici (comune, provincia, regione, Stato, Enti parco, ecc.), in larga prevalenza destinato alla fruizione diretta da parte dei cittadini. Il verde urbano include:

- **il verde storico**, cioè le ville, giardini e parchi che abbiano interesse artistico, storico, paesaggistico e/o che si distinguono per la non comune bellezza (ai sensi del D. Lgs. 42/2004 e successive modifiche), ivi compresi gli alberi monumentali (anch'essi tutelati dal Codice dei beni culturali); i grandi parchi urbani (parchi, ville e giardini urbani di grandi dimensioni - superiori a 5.000 m²);
- **le aree a verde attrezzato** (piccoli parchi e giardini di quartiere);
- **le aree di arredo urbano**, create per fini estetici e/o funzionali (quali piste ciclabili, rotonde stradali, gli spartitraffico, ecc.);
- i giardini scolastici, gli orti urbani, le aree sportive all'aperto;
- le aree destinate alla forestazione urbana, le aree boschive;
- **il verde incolto** (aree verdi in ambito urbanizzato di qualsiasi dimensione non soggette a coltivazioni o altre attività agricola ricorrente o a sistemazione agrarie, per le quali la vegetazione spontanea non sia soggetta a manutenzioni programmate e controllo);
- **altre tipologie** di verde urbano, quali orti botanici, giardini zoologici e cimiteri.

Il verde urbano può essere classificato in:

- **verde di connessione ecologica**: infrastrutture verdi che svolgono principale funzione di collegamento (corridoio) ecologico tra le aree naturali e in particolare tra le aree naturali e rurali e che sono volte a garantire la conservazione della biodiversità e consentire un dinamismo secondo la definizione di Rete Ecologica Territoriale nonché fungere da vie di mobilità cosiddetta "dolce" (i.e. i percorsi ciclopedonali);
- **verde di mitigazione**: è la componente che ha come funzione prevalente quella di filtrare e mitigare in termini strutturali, funzionali e paesaggistici gli impatti derivanti da insediamenti produttivi o infrastrutture viarie. Questa tipologia è particolarmente importante se realizzata in prossimità delle aree industriali, commerciali e artigianali o lungo le principali arterie di traffico, nelle quali, oltre alla mitigazione percettiva, contribuisce anche alla riduzione del riscaldamento urbano e dell'inquinamento atmosferico e acustico, o al risanamento suoli di siti inquinati;
- **verde tecnologico**: strutture verdi che svolgono una principale funzione di miglioramento delle prestazioni idrauliche ed energetiche di edifici e infrastrutture: ad esempio i giardini pensili, i "rain

“garden” cioè le aree create per l'aumento dei tempi di corrivazione, le aree deputate alla fitodepurazione, il verde da interni, etc.;

5.2 Il progetto del verde

Il progetto del verde discende dalla sintesi degli aspetti vegetazionali, paesaggistici, ecologici, ambientali, agronomici, economici e sociali, garanti del raggiungimento delle finalità richieste, in riferimento all'ambito di intervento.

È necessario inserire il progetto nel contesto ambientale e paesaggistico di riferimento, verificando e valutando preliminarmente le norme e i regolamenti, sia di tipo vincolistico, sia pianificatorio, ai vari livelli di scala, in relazione alle opere previste (MATTM 2017).

Per le nuove realizzazioni sarà prioritario il loro inserimento nel sistema del verde urbano esistente.

L'organizzazione spaziale delle nuove realizzazioni perseguità il massimo accorpamento delle aree evitando frammentazione e collocazioni residuali delle singole superfici, garantendo qualità estetica e funzionale e ottimizzando i costi di realizzazione e manutenzione attraverso, ad esempio, la corretta scelta di specie vegetali (specie autoctone, rustiche, etc.) e l'adozione di soluzioni tecniche a bassi input (energetici, idrici, ecc.).

In termini generici, i principali criteri progettuali da tener presente in relazione al verde sono:

- **semplificazione** ma non banalizzazione della composizione delle aree, mediante una corretta sistemazione del terreno, assegnazione delle superfici, la scelta e la posa degli arredi e dei percorsi in modo da facilitare le operazioni di manutenzione e di pulizia;
- scelte progettuali orientate ad una **bassa esigenza gestionale** (limitazioni nell'uso di forme obbligate, attenzione allo sviluppo a maturità del soggetto in funzione del luogo d'impianto per contenere gli interventi di potatura);
- **durabilità** dell'opera nel tempo;
- scarsa necessità di **input esterni** ovvero riduzione del consumo energetico e di risorse (acqua, elementi nutritivi, ecc.) per la costruzione ed in fase di esercizio;
- uso di **materiali ecocompatibili**, materiali riciclati e di provenienza locale;
- reinserimento di **pratiche agronomiche** abbandonate;
- valorizzazione degli elementi di **connettività ecologica** e di biodiversità, ad esempio agevolando composizioni vegetali miste rispetto a quelle in purezza, utilizzando specie che permettano l'alimentazione e il rifugio per insetti, uccelli e piccoli mammiferi e dell'avifauna.

I nuovi interventi relativi a impianti e reti tecnologiche saranno orientati a:

- integrare sistemi che incrementino la quantità di acqua trattenuta dall'area verde e sistemi di drenaggio urbano;
- utilizzare sistemi d'illuminazione ad alta efficienza energetica;
- impiegare sistemi d'irrigazione automatica del tappeto erboso oltre che di alberi e cespugli su tutte le aree verdi realizzate su soletta (verde pensile ed aree verdi su soletta).

5.2.1 Elaborati progettuali

L'elenco dei documenti e il loro grado di approfondimento sono da intendersi in relazione all'entità dell'opera da realizzare e al contesto in cui l'opera si inserisce (ad es. giardino storico, viale alberato, giardini pubblici, aree verdi periferiche, ecc.) ma possono essere così riassunti (MATTM 2017):

- Analisi del contesto che comprenda aspetti di natura socio-economica (richiesta, valutazione costi benefici), ambientale (clima, inquinamento e aree contaminate, apporti idrici, caratteristiche del

suolo, presenza di patologie), morfologica (rilievo piano-altimetrico con riportato indicazione dell'esistente (vialetti, manufatti, elementi puntuali vegetali, in particolare quelli arborei) e infrastrutturale (presenza di servizi e sottoservizi urbani);

- Elaborati grafici di progetto quali il master plan che individua le linee guida del progetto, le strategie e la programmazione per raggiungere gli obiettivi, le tavole dei lavori (ad es. per la predisposizione delle aree), delle opere e delle azioni previste (movimenti terra, tracciati e impianti);
- La relazione descrittiva dei lavori da eseguire, la descrizione dei materiali inerti e della vegetazione in particolare suddivisa per tipologie;
- La relazione agronomica con il dettaglio delle lavorazioni richieste riguardanti le piantagioni, l'ancoraggio delle piante, le cure post impianto, la formazione dei tappeti erbosi, il piano di concimazione, etc.;
- Quadro delle fioriture, ovvero la tabella/cronoprogramma che indica per ogni singola specie vegetale il periodo presunto di fioritura nell'arco dell'anno solare;
- Piano di manutenzione degli impianti e della vegetazione;
- Elaborati di natura economica come previsti dalla normativa vigente, in tema di lavori pubblici ovvero il computo metrico estimativo, il capitolato speciale d'appalto, il quadro economico di spesa.

5.2.2 Il suolo

Il suolo è un elemento in cui si svolgono numerosi processi di trasformazione di energia e materia collegati alla vita delle piante.

Dalla composizione chimica e dalla struttura fisica del profilo del suolo dipende la disponibilità degli elementi nutritivi e la possibilità degli organi ipogei dei vegetali di svilupparsi e garantire la vita all'intera pianta. La struttura fisica del suolo è determinata dalla concentrazione di sabbia, limo e argilla.

Oltre alla tessitura, il contenuto di Sostanza Organica, SO, rappresenta un altro fattore molto importante. Essa infatti è responsabile, unitamente ad altri fattori, della struttura del suolo ovvero di come le particelle si distribuiscono e aggregano a formare macroporosità e conseguentemente delle proprietà idrauliche (conducibilità) e idrologiche (capacità di ritenzione idrica) del suolo stesso.

È buona pratica procedere ad un campionamento e ad un'analisi che stabiliscano le caratteristiche fisiche e chimiche del suolo in esame, eseguiti secondo i metodi e i parametri normalizzati di prelievo e di analisi pubblicati da enti qualificati (ad esempio la Società Italiana della Scienza del Suolo). Qualora il substrato di coltivazione, a seguito delle analisi chimico fisiche, presenti valori di pH anomali, componente granulometrica non ottimale o più comunemente valori di sostanza organica particolarmente bassi, sarà necessario sottoporre il substrato ad opportuni procedimenti di correzione e ammendamento.

Nel caso di opere di drenaggio urbano sostenibile come trincee drenati, i suoli sono in genere ricostruiti in modo tale da massimizzare le proprietà di permeabilità e volumi di vuoti mediante l'aggiunta di sabbie o altro materiale grossolano. Questo comporta generalmente una riduzione della disponibilità idrica delle piante di cui tenere conto, ad esempio, attraverso:

1. la scelta di specie resistenti allo stress idrico
2. l'aggiunta di abbondante sostanza organica ben umificata (compost)
3. la posa di un sistema di irrigazione

5.2.3 Il materiale vegetale

La scelta delle specie da impiegare nel progetto seguirà criteri conformi agli obiettivi ambientali, paesaggistici, culturali, sociali, perseguiti e descritti dal progetto. Nelle nuove realizzazioni si prevederà un numero adeguato di specie arboree, arbustive ed erbacee, evitando la monospecificità ma anche l'eccessiva diversità (MATTM 2017).

Le piante in commercio sono solitamente disponibili con l'apparato radicale che si presenta in tre modi: *a radice nuda*; *in zolla*; *in contenitore*.

La pianta a radice nuda è la soluzione meno costosa anche solo per via del minor ingombro del materiale di propagazione allo stoccaggio e al trasporto. Tuttavia, tale materiale richiede la massima attenzione relativamente a:

- la scelta del **periodo di posa** coincidente con quello di riposo vegetativo (novembre-marzo);
- il mantenimento di un corretto grado di umidità ambientale durante lo stoccaggio prima dell'utilizzo in cantiere (attraverso, ad esempio, il seppellimento della parte radicale in cumuli temporanei di terra);
- la posa in buche con il fondo a forma conica in modo da favorire lo sviluppo corretto dell'apparato radicale.

Le piante in zolla sono maggiormente resistenti allo stress da trapianto per la presenza, all'interno della zolla, di radici assorbenti integre ma il periodo ottimale rimane quello di riposo vegetativo e aumentano i costi di produzione e trasporto. La zolla deve avere diametro almeno tre volte quello del tronco e la pianta deve essere preparata allo strapianto in vivaio mediante tagli successivi dell'apparato radicale.

Le piante in contenitore consentono di effettuare la piantagione anche durante il periodo vegetativo ma hanno, a parità di specie e dimensioni, un costo maggiore rispetto alle piante in zolla e radice nuda.

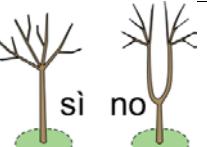
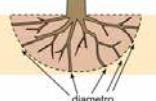
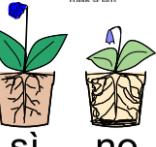
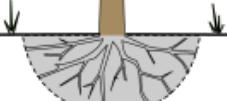
È molto importante che le piante in vaso non risiedano nel medesimo contenitore per più stagioni vegetative (al massimo due) in modo da consentire uno sviluppo armonico dell'apparato radicale. La formazione di radici spiralate ovvero fasci di radici attorcigliate lungo i bordi del contenitore, infatti, compromette lo sviluppo dell'apparato radicale e conseguentemente la sua funzionalità, causando sia il deperimento della pianta che punti di criticità strutturale (stabilità della pianta). Nei casi meno gravi è tuttavia possibile intervenire direttamente in cantiere, prima della posa, con la rimozione delle radici compromesse.

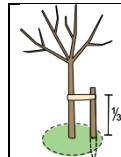
La presenza di radici attorcigliate per la prolungata crescita nel medesimo contenitore è comunque evidenza di materiale vegetale di non ottima qualità. Le piante e in particolare i loro apparati radicali, devono essere stati sufficientemente preparati in vivaio attraverso opportune lavorazioni (trapianti, zollature, rinvasi, ecc.).

Il ricorso ad alberi di "pronto effetto" cioè di grandi dimensioni all'acquisto (indicativamente con circonferenza tronco superiore a 20-30 cm), può rendersi necessario in contesti di particolare valore paesaggistico, o per la sostituzione di singoli elementi all'interno di piantagioni già consolidate (ad es. filari adulti), oppure in condizioni di forte pressione antropica (ad es. giardini pubblici, viali alberati), dove individui eccessivamente giovani potrebbero essere più facilmente soggetti a danneggiamenti meccanici, anche involontari (Carminati 2014). Aumentando le dimensioni dell'albero, però, aumenta anche lo stress da trapianto, la necessità di manutenzione in fase di attecchimento (ad es. irrigazioni di soccorso) e naturalmente, i costi di acquisto e manutenzione. Conseguentemente, la scelta di alberi a pronto effetto può non essere la soluzione ottimale quando non ci sono specifiche esigenze da soddisfare ovvero per impianti "naturali".

Particolare attenzione dovrà essere rivolta anche alla provenienza del materiale vegetale (sia arboreo che erbaceo). Il materiale vegetale dovrà provenire da ditte appositamente autorizzate e ne dovrà essere dichiarata la provenienza. Le sementi impiegate nella esecuzione di manti erbosi devono presentare i requisiti di legge richiesti di purezza e germinabilità ed essere fornite in contenitori sigillati. In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche qualitative del materiale vegetale in fase di cantiere.

Tabella 1: elenco delle principali caratteristiche qualitative del materiale vegetale in fase di cantiere

 sì no	Per gli alberi, i rami devono essere ben sviluppati e regolarmente distribuiti, la chioma ampia e il fusto con sviluppo verticale, con una cima principale e forte dominanza apicale
	Chioma proporzionata: almeno metà della superficie fogliare deve essere distribuita nei 2/3 inferiori della chioma
 sì no	Il tronco, deve presentarsi tendenzialmente conico e verticale, senza biforazioni
	Rimuovere qualsiasi rivestimento/contenitore (anche per le piante in zolla e rivestimenti con rete) e controllare sempre lo stato dell'apparato radicale: le radici non devono presentare ferite e strozzature
 diametro max 3 cm	Per le piante in zolla, l'apparato radicale non deve presentare radici di grosse dimensioni tagliate (> 3 cm di diametro). La presenza di radici di grosse dimensioni tagliate è indicativo di scarse cure in vivaio e una scarsa preparazione della pianta allo strapianto.
 sì no	Per le piante in vaso, verificare che le radici non risultino attorcigliate ed eventualmente, nei casi meno gravi, rimuovere le radici strozzate
 ↓	La pianta posata deve presentare il colletto allo stesso livello del piano circostante
	Pacciamare il suolo se non coperto da prato, eventualmente utilizzando il materiale di risulta delle operazioni di manutenzione se disponibile e senza rischi parassitari



Quando necessario per garantire la stabilità dell'albero, posare dei tutori con altezza fuori terra inferiore a 1/3 dell'altezza dell'albero.

5.2.4 Il piano di manutenzione

Si ricorda che per la buona riuscita degli interventi è fondamentale la redazione del piano di manutenzione o progetto di manutenzione, che, come è noto, è un documento complementare al progetto esecutivo per le opere pubbliche previsto dalla normativa vigente. Il piano di manutenzione prevede, pianifica e programma l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico, tenendo conto degli obiettivi progettuali.

Il piano è generalmente composto da diversi documenti, come il manuale di uso degli impianti e i manuali di manutenzione degli arredi, il libretto della manutenzione per il verde storico, etc., che contengono tutte le informazioni per la cura dei vari elementi che costituiscono il "verde" nel tempo.

Il documento più importante è il **programma di manutenzione del verde** nel quale il progettista elenca e cadezza gli interventi di manutenzione di garanzia e ordinaria, specificando i criteri generali, le forme di allevamento della vegetazione, la tempistica e le modalità delle potature per l'ottenimento e il mantenimento nel tempo delle sagome di alberi e arbusti così come progettate. Nel documento è opportuno specificare inoltre la frequenza dei tagli del tappeto erboso e il suo piano di concimazione.

Il **piano di manutenzione** sarà corredata da un elaborato che dettagli e quantifichi gli interventi di manutenzione ordinaria. È opportuno che gli interventi dei lavori di manutenzione di garanzia siano computati nel progetto esecutivo.

Importante è anche il programma di manutenzione di garanzia redatto in sede di progetto esecutivo.

5.2.5 Integrazione tra verde e infrastrutture

La scelta e la gestione della vegetazione ed in particolare di quella a portamento arboreo, comporta una attenta valutazione dell'interazione tra la componente verde e le infrastrutture cittadine sia a livello epigeo per la presenza della chioma che ipogeo per la presenza degli apparati radicali (Figura 30).

Chioma e infrastrutture

La chioma si compone di tronchi, rami e foglie che nell'insieme svolgono una serie di funzioni (fotosintesi, traspirazione, accumulo di risorse, produzione di metaboliti e riproduzione) rivolte alla sopravvivenza dell'individuo vegetale e più in generale della specie.

Dal punto di vista progettuale, la chioma rappresenta un elemento importante nel progetto del verde perché è l'elemento visibile della pianta che ne determina le qualità ambientali (capacità di ombreggiamento, filtro e trappola per gli inquinanti, ecc.) e paesaggistiche (colore, forma, presenza di fiori e frutti). Allo stesso tempo, la chioma determina l'ingombro massimo della componente epigea e quindi mette in relazione la pianta con l'ambiente comprensivo degli altri individui e le strutture che lo compongono. La forma della chioma varia a seconda della specie. Le piante arboree presentano forma compatta (fastigiata, a colonna, piramidale e conica) oppure espansa (estesa, arrotondata, ovoidale e pendula, Figura 30). Le piante a portamento arbustivo hanno crescita prevalentemente verticale (eretta, piramidale, spigata), curvilinea (ad arco, ricadente, arrotondata) o espansa (irregolare, diffusa,

tappezzante, Figura 30). Le specie erbacee hanno portamento tappezzante, a macchia o diffuso, Figura 30).

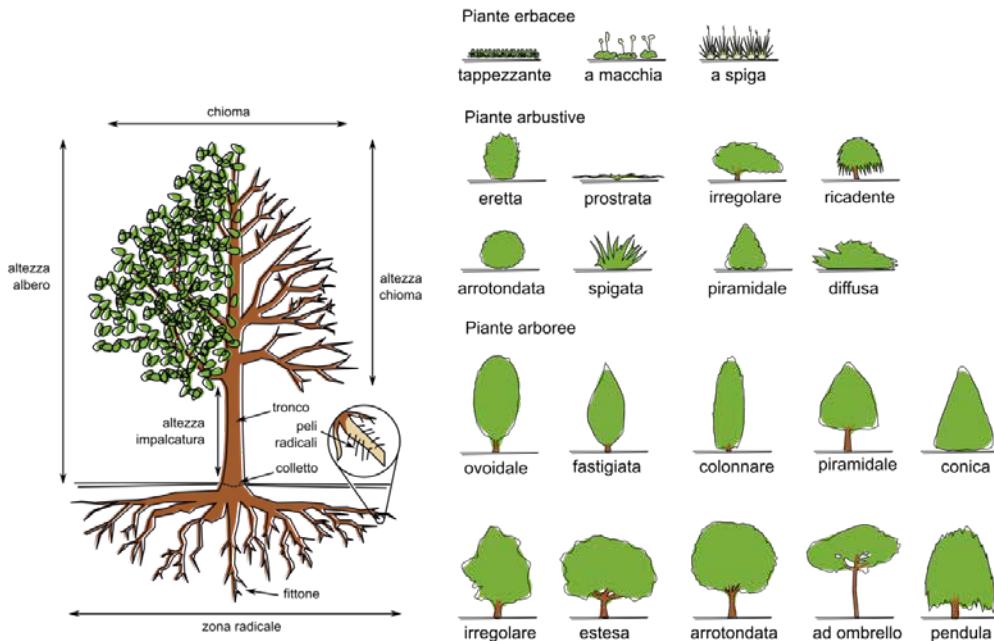


Figura 30: principali componenti che definiscono la morfologia della pianta e principali forme delle specie vegetali

Le specie arboree, che sono quelle di maggior impatto in ambito urbano, possono essere classificate come segue:

- di **prima grandezza**: alberi che a maturità raggiungono altezza maggiore di m 20 (es. *Aesculus hippocastanum*, *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Cedrus spp.*, *Celtis australis*, *Fagus sylvatica*, *Liriodendron tulipifera*, *Magnolia grandiflora*, *Platanus spp.*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Quercus rubra*, *Quercus pedunculata*, *Tilia spp.*, *Ulmus spp.*);
- di **seconda grandezza**: alberi che a maturità raggiungono altezza compresa tra 10 e 20 m (es. *Acer campestre*, *Cercis siliquastrum*, *Corylus colurna*, *Fraxinus ornus*, *Ligustrum japonicum*, *Malus spp.*, *Ostrya carpinifolia*, *Populus nigra var. pyramidalis*, *Prunus spp.*, *Robinia ‘Pyramidalis’* e ‘*Umbraculifera*’, *Sorbus spp.*);
- di **terza grandezza**: alberi che a maturità non superano generalmente i 10 m di altezza (es. *Acer ginnala*, *Crataegus spp.*, *Hibiscus syriacus*, *Koelreuteria paniculata*, *Lagerstroemia indica*, *Prunus “Amanogawa”*, *Prunus cerasifera Nigra*’).

Fatti salvi i regolamenti specifici o locali relativi alla piantagione, si suggerisce che le alberature vengano posizionate secondo le distanze minime riportate in Tabella 2

Tabella 2: dimensioni minime da rispettare in assenza di regolamenti specifici (Città di Sondrio 2007)

Grandezza pianta	Distanza dal cordolo stradale	Distanza da edifici	Distanza sulla fila	Larghezza aiuola
Prima	1,5	7	8-12	2,5
Seconda	1,2	5,5	5-8	2
Terza	1	4	4-5	1,5

Apparati radicali in ambiente urbanizzato

L'apparato radicale di una pianta svolge quattro funzioni principali: ancoraggio, assorbimento di acqua e sali, produzione di ormoni e immagazzinamento delle sostanze di riserva (Day et al. 2010).

La funzione di ancoraggio è maggiormente evidente nelle piante a portamento arboreo al fine di garantirne la stabilità e la resistenza meccanica alle sollecitazioni e assume particolare significato soprattutto degli ambienti urbanizzati dove le interazioni con le attività umane sono maggiori.

La funzione di assorbimento di acqua con sali minerali disciolti è svolta per lo più (ma non in via esclusiva) dalle porzioni di apparati radicali più fini e periferiche e con meccanismi legati ai processi correlati al flusso d'acqua nella pianta (processi traspirativi) e di diffusione dalle zone con maggior concentrazione di soluti. La produzione di ormoni da parte delle radici (ad es. citochinine) regola la crescita dei germogli attraverso un efficiente meccanismo di comunicazione interna. Nelle radici, infine, le piante immagazzinano le sostanze di riserva (carboidrati) che saranno utilizzate nelle fasi successive di sviluppo.

La sopravvivenza delle piante in città dipende dallo stato di salute del loro apparato radicale (Bianchi et al. 2013). Maggiore è il volume di terreno esplorato dalle radici e maggiore è la quantità di risorse (acqua, ossigeno ed elementi nutritivi) a disposizione per una crescita sana dell'intera pianta così come un apparato radicale sano garantisce la sopravvivenza dell'individuo vegetale.

La forma degli apparati radicali dipende largamente dalla specie vegetale. Nelle monocotiledoni (ad es. tutte le graminacee che costituiscono i prati), lo sviluppo dell'apparato radicale inizia dal seme germinante con la formazione di un numero contenuto di assi radicali primari (o seminali). Con la crescita si sviluppano ulteriori radici avventizie (o nodali) a formare un denso complesso radicale fibroso (o fascicolato) caratterizzato da radici di diametro costante per tutta la loro lunghezza. Nelle dicotiledoni (la maggior parte delle piante decorative), invece, si assiste alla formazione di un singolo asse principale detto radice primaria che con il tempo si ispessisce e dà origine a elementi secondari via via più fini (Taiz & Zeiger 2013).

La crescita degli apparati radicali segue in generale logiche opportunistiche di ricerca di nutrienti e acqua. In ambienti naturali, alcune specie hanno apparati radicali che si sviluppano in profondità (oltre 20 m) e quando raggiungono strati particolarmente ricchi di nutrienti, li colonizzano con dense porzioni di apparati radicali. Lo stesso avviene anche negli ambienti urbani quando, ad esempio, le radici incontrano orizzonti ricchi di nutrienti rilasciati da condotte fognarie degradate (Randrup et al. 2001).

La forma e le dimensioni degli apparati radicali sono regolati dal patrimonio genetico della specie ma anche dalle condizioni di crescita tant'è che specie differenti possono avere apparati radicali simili nello stesso ambiente di crescita e la stessa specie ha forme e dimensioni diverse a seconda dell'ambiente colonizzato (Day et al. 2010). Un fattore chiave della crescita degli apparati radicali nei suoli urbani è la presenza di orizzonti impediti per la presenza di macerie, strati compattati o comunque a ridotta permeabilità.

Per stimare la massima estensione degli apparati radicali sono state implementate relazioni che usano il diametro del fusto, convenzionalmente misurato a 1,3 m di altezza dalla base, l'altezza della pianta oppure la larghezza della chioma. Per esempio, in condizioni "normali", ovvero prive di impedimenti fisico-chimici, gli apparati radicali si possono estendere per oltre tre volte la proiezione della chioma o da una a una volta e mezza l'altezza della pianta.

Chiaramente, esiste un certo grado di incertezza delle relazioni in funzione della specie, dello stato del singolo individuo, del mezzo di crescita e ovviamente della presenza di ostacoli alla crescita come spesso avviene negli ambienti urbanizzati. Mentre sia l'altezza della pianta e il diametro della chioma

sembrano non essere degli indicatori sufficienti per prevedere la massima estensione spaziale delle radici, il diametro del tronco è invece maggiormente rappresentativo (Day et al. 2010) se non fosse altro che non è direttamente soggetto alle operazioni di potature. In particolare, Harris et al. (2004) suggeriscono di prevedere una maggior superficie di protezione delle piante di 6 volte il diametro del tronco nel caso di piante giovani e resistenti che aumenta fino a 18 volte nel caso di piante adulte e sensibili, in modo da proteggere la maggior parte dell'apparato radicale.

Per quanto riguarda la distribuzione verticale, sebbene è noto come gli apparati radicali possano spingersi in profondità per diversi metri, la maggior parte del volume di radici ed in particolare di quelle più fini, utili per l'assorbimento di acqua e nutrienti, si trovano in superficie, nei primi 30 cm di suolo, dove la presenza di nutrienti, ossigeno e acqua è maggiore.

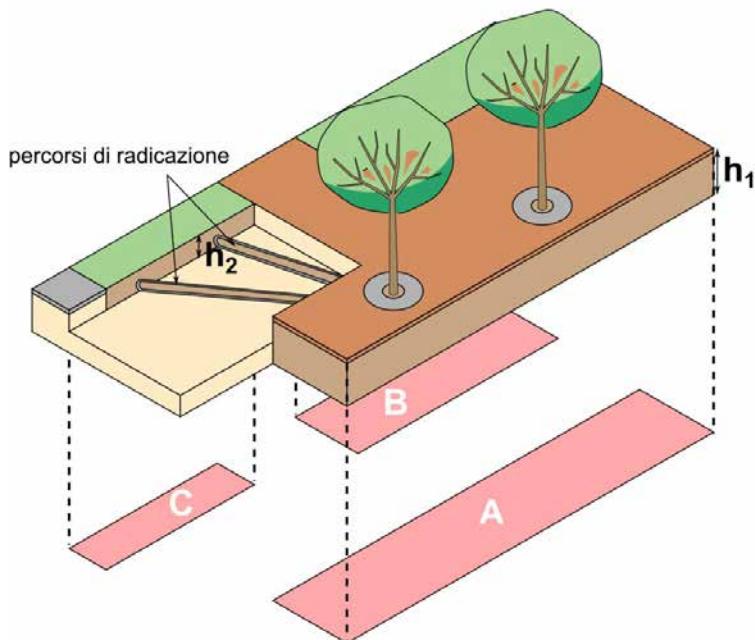
La pianificazione del sottosuolo, riguardando gli interventi di posa, manutenzione e riparazione delle reti, presuppone anche l'analisi delle interazioni tra suolo, servizi tecnologici interrati e radici degli alberi. Interventi che non tengano conto della presenza di alberi (Bianchi et al. 2013), possono comportare danno alla proprietà, pubblica o privata, danneggiamenti alle radici degli alberi con innesco di patologie e situazioni di instabilità, danneggiamento dei servizi interrati ad opera delle radici, incremento dei costi di manutenzione e monitoraggio (Carminati 2014).

Nei suoli compattati, le radici spesso si sviluppano tra il substrato di posa delle pavimentazioni e queste ultime poiché qui trovano la maggior disponibilità di vuoti e quindi di spazio e aria. Ciò comporta però il danneggiamento del manto stradale con la creazione di irregolarità lungo la superficie.

Un albero tipicamente necessita di 0,3-0,6 m³ di suolo esplorabile per metro quadrato di chioma, intesa come superficie della sua proiezione a terra (Buscaino et al. 2008). La scarsa disponibilità di spazio porta, nei casi meno gravi, ad un rallentamento della crescita o comunque uno sviluppo stentato della pianta e una maggior propensione alla morte.

Nel computo del volume disponibile all'apparato radicale possono rientrare (Figura 31):

- il volume sotteso dalle superfici scoperte immediatamente prossime alla pianta (volume principale)
- il volume sotteso da superfici scoperte separate da quelle immediatamente prossime alla pianta ma collegate al volume principale mediante appositi percorsi di radicazione
- il volume occupato dagli stessi percorsi di radicazione
- il volume coperto da pavimentazioni permeabili e soprassuoli destinati a carichi leggeri (passaggi pedonali)
- il volume coperto da superfici impermeabili solo se il suolo mantiene le caratteristiche di permeabilità e presenza di vuoti adatti alla vita delle radici e in particolare, è costituito da opportune miscele granulometriche ovvero con appositi sostegni anti compattamento



$$\text{Volume disponibile} = (A \times h_1) + (B+C) \times h_2$$

Figura 31: computo dei volumi disponibili alla crescita degli apparati radicali

5.2.6 Distanze dai confini

In tema di distanze di impianto da terreni di altra proprietà, il riferimento normativo, salvo regolamenti specifici ed usi locali, è l'art. 892 del codice civile che stabilisce la distanza minima di:

- 3 metri dal confine di proprietà per alberi ad alto fusto
- 1,5 metri dal confine di proprietà per alberi non ad alto fusto
- 0,5 metri dal confine di proprietà per viti, siepi e arbusti di altezza massima fino a m.2,5

5.3 La scelta delle specie

La scelta della specie "giusta" è un passaggio particolarmente delicato perché può compromettere i benefici attesi dal verde, oltre a causare in futuro numerosi problemi, quali la difficoltà di crescita, l'aumento dei costi di gestione, la proliferazione di specie alloctone invasive o, soprattutto nel caso degli alberi, l'interferenza con edifici, pavimentazioni, servizi. La scelta delle specie da inserire in un qualsiasi intervento è condizionata da diversi aspetti come le dimensioni dell'area interessata dall'intervento, gli obiettivi di fruizione che si vogliono raggiungere, le interferenze con altre infrastrutture o edifici, la presenza di utenti "sensibili" (ad esempio alla produzione di allergeni), i vincoli normativi, la diffusione di specie invasive, le caratteristiche microclimatiche e pedologiche dell'area, le caratteristiche ecologiche delle piante che si intende impiegare e, non ultimo, l'inserimento paesaggistico ovvero la valenza estetica.

Ne consegue che la progettazione di un'area verde a complemento di un'opera prettamente ingegneristica come le opere di drenaggio urbano, è un esercizio intellettuale che richiede un'elevata capacità professionale.

In base alla loro provenienza, le specie si possono distinguere in:

- Indigene, autoctone: piante native dell'area occupata dove vegetano spontaneamente e la cui presenza non è conseguenza di introduzioni volontarie o accidentali ad opera dell'uomo.
- Alloctone, introdotte, non indigene, esotiche, aliene, xenofite: specie vegetali presenti in un'area che non corrisponde al loro areale di naturale diffusione e che è stata ivi dislocata dall'uomo, volontariamente o accidentalmente.

Le specie alloctone si distinguono a loro volta in relazione al periodo di introduzione in un territorio in archeofite (introdotte prima del 1500 circa, epoca del colonialismo europeo dopo la scoperta dell'America), neofite (introdotte dopo il 1500 circa), e in relazione alla loro capacità formare popolamenti stabili e di colonizzare le aree di nuova introduzione, le specie alloctone possono esser distinte in (CBD, 1992; Richardson et al., 2000; Pyšek et al., 2004; Regolamento EU n. 1143/2014)

- casuali (effimere, occasionali) che si sviluppano e riproducono spontaneamente, ma non riescono a formare popolazioni stabili e per il loro mantenimento dipendono dal continuo apporto di nuovi propaguli da parte dell'uomo;
- naturalizzate (stabilizzate) che formano popolamenti stabili indipendenti dall'apporto di nuovi propaguli da parte dell'uomo;
- invasive, che sono un sottogruppo di specie naturalizzate, in grado di diffondersi velocemente, a considerevoli distanze dalle fonti di propaguli originarie, e quindi con la potenzialità di diffondersi su vaste aree;
- localmente invasive che sono state rilevate allo stato invasivo solo in poche stazioni.

Circa l'uso di specie autoctone o alloctone, un uso eccessivo di queste ultime può deteriorare la funzionalità ecologica del verde urbano, limitandone (anche se non la elimina del tutto) la funzione di connessione e di "corridoio ecologico" tra le aree seminaturali esterne e il territorio urbanizzato (Carminati 2014).

Inoltre, se la massima attenzione deve essere posta alle specie alloctone invasive, è necessario applicare un principio di precauzione anche alle altre, soprattutto alle specie naturalizzate. Infatti, va tenuto presente che la classificazione di una specie in uno di questi stati può cambiare nel tempo e nello spazio (es. da regione a regione) sia per un progressivo adattamento degli organismi alle condizioni del nuovo territorio sia per un miglioramento delle conoscenze. Si consiglia sempre di verificare che la specie non venga inserita nelle liste delle piante indesiderate o di cui è vietato il commercio che sono in continuo aggiornamento (si veda la scheda informativa di Regione Lombardia relativa al Quadro normativo relativo alle Specie Aliene Invasive (IAS)¹ e la pagina web dedicata alle specie invasive di ISPRA²). Oltre a questo, onde evitare d'introdurre specie che possono arrecare danno, è bene accertarsi dello status d'invasività delle specie in Lombardia e in Italia, consultando il Portale della Flora d'Italia³, che viene aggiornato in base alle più recenti conoscenze sulle specie alloctone.

Nella scelta della specie sarebbe inoltre opportuno considerare il fatto che le soluzioni di drenaggio urbano possono presentare caratteristiche idrologiche particolari che mostrano lunghi periodi di siccità associati ad occasionali fenomeni di sommersione più o meno accentuate in quelli di ritenzione. La tolleranza alla sommersione delle specie è variabile e si può manifestare con adattamenti morfologici e metabolici (Mustroph, 2018) anche temporanei e reversibili. La sommersione determina condizioni

¹<https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informationi/Enti-e-Operatori/ambiente-ed-energia/Parchi-e-aree-protette/biodiversita-e-reti-ecologiche/quadro-normativo-relativo-alle-specie-alieno-invasive-ias/quadro-normativo-relativo-alle-specie-alieno-invasive-ias>

² www.specieinvasive.isprambiente.it

³ dryades.units.it

che riducono gli scambi gassosi e riducono i processi metabolici delle piante che, conseguentemente, vanno incontro al deperimento. Le piante reagiscono mediante strategie adattive come la produzione di speciali tessuti finalizzati ad intrappolare i gas e facilitare gli scambi gassosi delle cellule o modifiche al metabolismo. In letteratura ci sono diversi studi circa la capacità delle specie di adattarsi ai fenomeni di sommersione mediante modificazioni del solo apparato radicale o dell'intera pianta.

La maggior parte delle ricerche considera una durata di sommersione significativa di due settimane ma ci sono casi che mostrano segni di deperimento anche solo dopo 48 ore. La pratica progettuale (DWA 2005) e la normativa lombarda in particolare (crf Regolamento di Invarianza Idrologica e Idraulica), indicano in 48 ore il tempo di svuotamento massimo per cui si ritiene che i danni da sommersione possano considerarsi trascurabili ovvero riconducibili ad una riduzione di produttività della pianta tollerabile rispetto alla rarità dell'evento piovoso atteso che ha tempo di ritorno di 50 anni.

Per contro, l'assenza d'acqua determina una riduzione dell'evapotraspirazione che è alla base dei processi di traslocazione dei nutrienti dal suolo all'interno della pianta e degli scambi gassosi e, conseguentemente, la fotosintesi. Lo stress da insufficienza idrica determina una contrazione della crescita e delle produzioni in generale fino al deperimento dei tessuti nei casi più gravi. Le piante assimilano l'acqua prevalentemente dagli apparati radicali prelevandola dal suolo dove è contenuta adesa alle particelle. Non tutta l'acqua presente nel suolo è però disponibile alla coltura ovvero facilmente assimilabile. I suoli sabbiosi hanno tipicamente una bassa capacità idrica e quindi, in questi casi, le piante vanno più facilmente in controllo a stress idrici.

Anche la tolleranza alla siccità dipende dalla specie e, all'interno della specie, anche dalla cultivar. Le piante si difendono dagli effetti della siccità adattandosi dal punto di vista morfologico (aumentando la profondità dell'apparato radicale, creando tessuti in grado di immagazzinare acqua, adottando stati di quiescenza) che metabolico (Butt 2017).

Di seguito vengono suggeriti alcuni modelli di vegetazione con elenchi di specie da impiegare. Ad eccezione delle specie igofile, le altre specie sono in genere adatte a condizioni di scarsità idrica e vengono raggruppate in base al loro ingombro in relazione alla larghezza dell'opera drenante. Ciò non toglie, tuttavia, la possibilità di usare soluzioni miste ovvero di estendere l'applicabilità di alcune tipologie generalmente a situazioni dotate di maggior spazio per ragioni estetiche o funzionali.

5.3.1 Il prato polifita

La creazione di un prato polifita, ovvero ottenuto da semi misti di specie diverse e in percentuale variabile, costituisce una valida soluzione economica per la copertura degli avvallamenti di bioswale e bacini di infiltrazione. Le operazioni manutentive possono essere ridotte a soli tagli occasionali di governo e pulizia dell'area e ad irrigazioni di soccorso, donando un aspetto naturale all'impianto e fornendo habitat utili alla fauna. La presenza di più specie nel miscuglio garantisce una rapida copertura delle superfici per contrastare sia i fenomeni erosivi che l'insediamento di specie indesiderate. Inoltre, la pluralità specifica permette una migliore adattabilità alle condizioni micro-ambientali localizzate e in genere contribuisce ad una maggior valenza ambientale.

In aree di intervento prossime ad ambienti naturali o semi-naturali, l'opzione migliore è quella di ricostituire tipologie vegetazionali mediante materiale di propagazione come il fiorume, ovvero un miscuglio di semi raccolto direttamente dai prati e dalle praterie naturali opportunamente individuati in accordo con la normativa vigente. Per incrementare l'effetto ornamentale dell'area inerbita, il fiorume può essere arricchito con semi di specie a fiore (dicotiledoni) sempre autoctone e coerenti con il contesto biogeografico in cui viene effettuato l'intervento. L'impiego del fiorume o di miscugli di semi di specie autoctone certificati, deve essere preferito quando l'opera è eseguita in un contesto di elevata naturalità e/o quando è inserita in un'area protetta (anche se in contesto urbano)

o peri-urbano), tenendo sempre presente le esigenze delle specie in termini di substrato. In molte opere, infatti, un elemento fortemente limitante è dato dalle caratteristiche fisico-chimiche e di dotazione di sostanza organica del substrato che può richiedere l'utilizzo di specie a carattere pioniero, non sempre presenti nel fiorume.

In alternativa al fiorume e ai miscugli autoctoni, è possibile impiegare anche miscele di semi commerciali, purché sia fatta attenzione alla possibile componente aliena, in termini sia di specie, sia di sottospecie e varietà selezionate.

A titolo di esempio, la Tabella 3 riporta due tipologie di miscele di semi da utilizzare come materiale di propagazione base. Ad essa può essere aggiunta in ragione del 10-20%, un miscuglio di essenze di specie "da fiore" che possono donare un aspetto agreste alla copertura vegetale (

Tabella 4) o arricchire la composizione con specie di interesse per la fauna perché pollinifere e mellifere (Tabella 5).

In commercio esistono diversi miscugli confezionati allo scopo. In fase di cantiere occorre sempre verificare l'assenza di specie indesiderate. Specie alloctone naturalizzate come la bocca di leone (*Antirrhinum majus*), l'aquilegia comune (*Aquilegia vulgaris*), la violaciocca (*Cheiranthus allionii*), il lino perenne (*Linum austriacum*) e l'erba d'argento (*Lunaria annua*), solo per citarne alcune, sono spesso presenti in semi commerciali ma in contesti lombardi andrebbero evitate per il principio di precauzione.

Tabella 3: esempi di composizione miscele di semi per ambienti soggetti a fenomeni di siccità

condizioni pedo-climatiche	Miscela	Fonte
terreni scolti di natura calcarea, anche con scheletro grossolano	<i>Dactylis glomerata</i> L. (30%), <i>Bromopsis erecta</i> Huds. (30%), <i>Festuca rubra</i> L. (15%), <i>Poa pratensis</i> L. (10%), <i>Trifolium pratense</i> L. (10%), <i>Lotus corniculatus</i> L. (5%)	Modificato da manuale SNAM citato in Regione Piemonte, 2003. La versione originale riporta la specie <i>Bromus inermis</i> che è però da considerarsi come neofita invasiva in Lombardia
terreni ripidi basici	<i>Festuca rubra</i> L. (15%), <i>Festuca pratensis</i> Huds (24%), <i>Arrenatherum elatius</i> (L.) PRES. (10%), <i>Poa pratensis</i> L. (10%), <i>Dactylis glomerata</i> L. (5%), <i>Lolium perenne</i> L. (5%), <i>Trifolium repens</i> L. (4%), <i>Trifolium pretense</i> L. (2%), <i>Lotus corniculatus</i> L. (4%), <i>Phleum pretense</i> L. (3%), <i>Achillea millefolium</i> L. (2%), <i>Agrostis tenuis</i> Sibth. (2%)	manuale tecnico di ingegneria naturalistica Regione Emilia Romagna e Regione Veneto

Tabella 4: elenco non esaustivo di specie per miscugli tipo "prato campestre".

Nome scientifico	Nome comune	presenza in Lombardia
<i>Achillea millefolium</i>	Achillea millefoglie	Indigena
<i>Anthemis tinctoria</i>	Antemisia	Indigena
<i>Anthyllis vulneraria</i>	Vulneraria	Indigena
<i>Betonica officinalis</i>	Betonica comune	Indigena
<i>Centaurea cyanus</i>	Fiordaliso	alloctona naturalizzata
<i>Centaurea nigrescens</i>	Fiordaliso nerastro	Indigena

<i>Dianthus carthusianorum</i>	Garofano dei certosini	Indigena
<i>Galium verum</i>	Caglio zolfino	Indigena
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Margherita comune	Indigena
<i>Linaria vulgaris</i>	Linaria comune	Indigena
<i>Linum austriacum</i>	Lino perenne	neofita naturalizzata
<i>Linum usitatissimum</i>	Lino comune	Indigena
<i>Lychnis flos cuculi</i>	Silene fior di cuculo	Indigena
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Mazza d'oro comune	Indigena
<i>Lotus corniculatus</i>	Ginestrino	Indigena
<i>Myosotis arvensis</i>	Nontiscordardimè minore	Indigena
<i>Onobrychis viciifolia</i>	Lupinella comune	Indigena
<i>Potentilla erecta</i>	Tormentilla	Indigena
<i>Ranunculus repens</i>	Ranuncolo strisciante	Indigena
<i>Saponaria ocymoides</i>	Saponaria di roccia	Indigena
<i>Saponaria officinalis</i>	Saponaria comune	Indigena
<i>Salvia pratensis</i>	Salvia comune	Indigena
<i>Silene latifolia</i>	Silene latifolia	Indigena
<i>Silene vulgaris</i>	Silene rigonfia	Indigena
<i>Trifolium incarnatum</i>	Trifoglio incarnato	Indigena
<i>Veronica beccabunga</i>	Erba grassa	Indigena

Tabella 5: elenco non esaustivo di specie per prato polifita con finalità naturalistiche (specie mellifere e pollinifere).

Nome scientifico	Nome comune	presenza in Lombardia
<i>Achillea millefolium</i>	Achillea millefoglie	Indigena
<i>Borago officinalis</i>	Borragine	Indigena
<i>Centaurea cyanus</i>	Fiordaliso	alloctona naturalizzata
<i>Centaurea nigrescens</i>	Fiordaliso nerastro	Indigena
<i>Daucus carota</i>	Carota comune	Indigena
<i>Echium vulgare</i>	Viperina azzurra	Indigena
<i>Foeniculum vulgare</i>	Finocchio comune	Indigena
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Margherita comune	Indigena
<i>Origanum vulgare</i>	Origano comune	Indigena
<i>Knautia arvensis</i>	Ambretta	Indigena
<i>Linaria vulgaris</i>	Linaria comune	Indigena
<i>Salvia pratensis</i>	Salvia comune	Indigena

5.3.2 Formazioni con limitate disponibilità di spazio

Quando la disponibilità di spazio per la crescita della chioma e dell'apparato radicale è modesta ma, per ragioni estetiche e di funzionalità si preferisce non impiantare un'area a prato, è utile far ricorso a specie con dimensioni contenute e comportamento coprente e tappezzante. Tali specie possono essere impiegate per la realizzazione di giardini pensili ovvero aiuole di modeste dimensioni dove la massima profondità esplorabile dagli apparati radicali è dell'ordine dei 30 cm e lo spazio laterale è inferiore al metro. La possibilità di utilizzare tali specie per aree relativamente strette non preclude l'opzione di formare superfici estese con elevato valore scenico.

Di seguito vengono suggerite alcune specie comunemente disponibili presso i vivai.

Graminacee perenni ornamentali

L'utilizzo delle graminacee ornamentali come elemento vegetale di copertura trova riscontro sia in aiuole di piccole dimensioni che in grandi spazi creando soluzioni paesaggistiche di interesse per le forme allungate delle foglie, la consistenza eterea delle infiorescenze e la varietà di colorazione.

Le specie graminacee da inserire nei sistemi di infiltrazione devono essere tolleranti alla scarsità idrica e, a seconda dei casi, ad esposizioni soleggiate o in ombra, comunque su suoli asciutti.

In contesti densamente urbanizzati, caratterizzati da microclimi caldi e asciutti e lontani da ambienti naturali, è possibile far ricorso a specie ornamentali esotiche dotate di grande capacità adattiva a condizioni estreme. La maggior parte delle cultivar in commercio ha origine dalle praterie delle Americhe. Si consiglia sempre di verificare che la specie non venga inserita nelle liste delle piante indesiderate che sono in continuo aggiornamento.

La Tabella 6 riporta alcune specie che è possibile utilizzare come elementi di copertura.

Tabella 6: alcune specie a portamento erbaceo adatte alle trincee filtranti (S=Sole, M=mezz'ombra, O = Ombra)

Nome	altezza (cm)	Esposizione	origine	densità di impianto (piante/m²)
<i>Luzula nivea</i>	40-70	M	locale	6-8
<i>Cenchrus purpurascens</i> <i>Thunb.(= Pennisetum alopecuroides)</i>	60-70	S	Asia, Australia	3
<i>Festuca glauca</i>	15-20	S/M	Alpi	8-10
<i>Panicum virgatum</i> varietà	80- 120/180 -200	S	Nord America	3
<i>Liriope muscari</i>	30-35	M/O	Asia orientale	7
<i>Echinacea purpurea</i>	10-40	S tollerante al secco	Nord America	8-10

Specie a portamento arbustivo

Anche in questo caso la scelta dovrebbe ricadere su specie autoctone o ampiamente diffuse ovvero non presenti negli elenchi delle specie indesiderate. In ambienti antropizzati, è possibile fare ricorso a varietà coltivate. La Tabella 7 riporta alcune specie facilmente reperibili dai produttori florovivaistici utilizzabili in aiuole disperdenti. Tra le specie comunemente coltivate in giardini e parchi ma segnalate come invasive nel contesto della pianura padana si cita ad esempio la spirea del Giappone (japonica o bumalda).

Tabella 7: alcune specie a portamento arbustivo per aiuole di piccole dimensioni (S=Sole, M=mezz'ombra, O = Ombra).

Nome scientifico	Nome comune	altezza (cm)	esposizione	origine	note
<i>Abelia x grandiflora</i>	Abelia	150	S/M	Ibrido ottenuto da due specie native dell'Asia orientale	Ibrido tra <i>A. chinensis</i> × <i>A. uniflora</i>
<i>Berberis thunbergii</i>	Crespino	50-150	S/M	Asia orientale	Adatto a siepi formali
<i>Cotoneaster dammeri subsp. dammeri</i>	Cotognastro	100	S/M	Asia orientale	Si sconsiglia l'utilizzo in quanto neofita naturalizzata
<i>Cotoneaster salicifolius</i>	Cotognastro a foglie di salice	50	S/M	Asia orientale	Si sconsiglia l'utilizzo in quanto neofita naturalizzata
<i>Potentilla fruticosa</i>	Potentilla	45-60	S/M	Circumboreale	
<i>Hypericum hidcoteense 'Hidcote'</i> ×	Iperico arbustivo	fino a 150	S	Ibrido da giardino	
<i>Lavandula spp.</i>	Lavanda	30-100	S	area mediterranea	
<i>Salvia spp.</i>	Salvia	60-70	S	area mediterranea	
<i>Hibiscus syriacus</i>	Ibisco giapponese	150-200	S	Asia	
<i>Hippophae rhamnoides "sprite"</i>	Olivello spinoso	100	S/M	Eurasia	
<i>Perovskia atriplicifolia</i>	Salvia russa	100	S	Asia	
<i>Rosa spp.</i>	Rosa	150	S	Autoctone o cultivar	Ad eccezione di <i>R. multiflora</i> Thunb. classificata come specie invasiva in Lombardia
<i>Cytisus scoparius</i>	Ginestra dei carbonai	150-200	S	Europa/Asia/Africa	
<i>Nandina domestica</i> var. Fire Power	Nandina var. Fire Power	60	S/M/O	cultivar	

5.3.3 Formazioni arbustive per aree di medie/grandi dimensioni

Per raggruppamenti e formazioni lineari in aiuole di dimensione minima 2 m è possibile far ricorso ad una moltitudine di specie a portamento arbustivo.

Per la realizzazione di siepi/arbusteti con finalità naturalistica, in ambienti periurbani e agricoli, si consiglia il ricorso a specie autoctone (Tabella 8) e disposte secondo lo schema di Figura 32.

La Tabella 9 riporta uno schema tipo di siepe con finalità naturalistica. Si noti anche la presenza, in percentuale minima, di specie a portamento arboreo (acero campestre e melo selvatico).

In ambienti urbani, la scelta invece può essere orientata verso specie di valore estetico, anche per più periodi nell'anno (fiori, frutti, foglie autunnali) e compatibili con l'uso delle aree (assenza di allergeni, frutti maleodoranti, ecc.).

Tabella 8: elenco specie arbustive autoctone.

Nome latino	Nome comune	Note
<i>Berberis vulgaris</i>	Crespino	
<i>Cornus mas</i>	Corniolo	
<i>Cornus sanguinea</i>	Sanguinello	
<i>Corylus avellana</i>	Nocciolo	
<i>Crataegus monogyna</i>	Biancospino	
<i>Cytisus scoparius</i>	Gigestra	
<i>Euonymus europaeus</i>	Fusaggine, evonimo europeo, berretta da prete	può ospitare parassiti per le colture
<i>Ligustrum vulgaris</i>	Ligusto	
<i>Lonicera caprifolium L.</i>	Caprifolio comune	
<i>Prunus spinosa</i>	Prugnolo spinoso	
<i>Rhamnus catharticus</i>	Spincervo	può ospitare parassiti per le colture
<i>Rosa canina</i>	Rosa canina, rosa selvatica	
<i>Sambucus nigra</i>	Sambuco	
<i>Salix spp.</i>	Salice	
<i>Viburnum opulus</i>	Palla di neve, pallon di maggio	
<i>Viburnum lantana</i>	Viburno lantana	

Tabella 9: specie per formazioni arbustive con finalità naturalistica

primarie (50%)	Specie secondarie (20%)	Specie accessorie (30%)
Biancospino	Prugnolo	Sanguinello, Viburno lantana, Spincervino, Pallon di maggio, Nocciolo, Rosa selvatica, Fusaggine, Ligusto, Acero campestre, Rovo comune, Salice1, Sambuco ¹ , Caprifoglio comune, Melo selvatico

¹può prevalere sulle altre specie, impiegare in numero ridotto

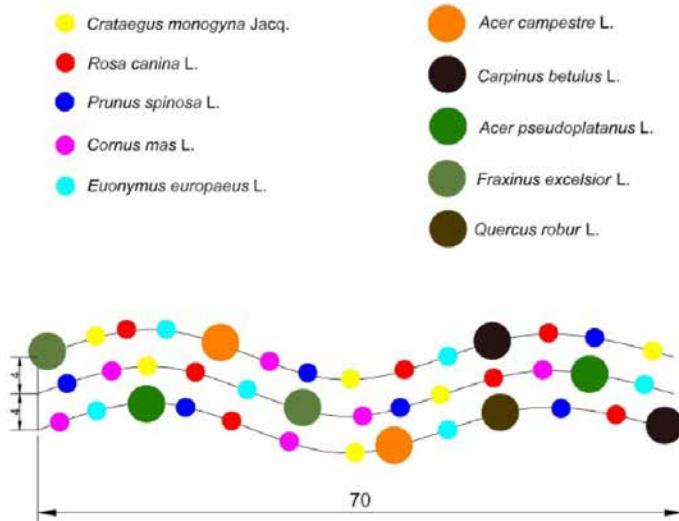


Figura 32: sesto di impianto per la formazione di una siepe naturalistica

5.3.4 Specie a portamento arboreo per aiuole alberate

La scelta delle alberature per il verde pubblico risponde in primo luogo ai criteri agronomici di idoneità ambientale (MIPAAF 2014b). Senza limitare il campo alle sole piante autoctone, è indispensabile orientare la scelta tra le specie compatibili con il paesaggio, che abbiano inoltre dimostrato una buona capacità di adattamento alle condizioni tipiche del territorio e dell'ambiente urbano.

Tra i principali elementi di cui tenere conto nella scelta delle specie vegetali, si ricordano:

- l'adattabilità alle condizioni e alle caratteristiche pedoclimatiche del luogo;
- la resistenza a parassiti di qualsiasi genere;
- non presentare caratteri specifici indesiderati, come frutti pesanti, velenosi, maleodoranti e fortemente imbrattanti, spine, elevata capacità pollinifera, radici pollonifere o forte tendenza a sviluppare radici superficiali;
- la compatibilità delle necessità di sviluppo della pianta con la presenza di infrastrutture e/o servizi urbani.

In termini generali, si suggerisce di preferire, rispettandone distribuzione ed ecologia, le specie italiane ed in particolare quelle endemiche che impreziosiscono notevolmente il valore estetico e biologico degli impianti. Allo stesso tempo, è possibile ricorrere a specie esotiche se i fattori limitanti ambientali o le necessità locali sono tali da richiedere piante particolarmente rustiche in termini di resistenza ai fattori di stress esterni (Piccarolo 1995).

Per quanto riguarda le produzioni di allergeni si può far riferimento all'elenco prodotto dal MIPAAF (2014a).

L'utilizzo di piante a portamento arboreo segue in genere le regole d'impianto tipiche della progettazione del verde e quindi la scelta della specie dipenderà dalla disponibilità di spazio, la presenza di infrastrutture e sottoservizi nelle vicinanze, consuetudini locali ed esigenze paesaggistiche. In genere, l'impianto di essenze arboree si adatta a fossi di infiltrazione di grandi dimensioni o ad aree verdi filtranti e le piante vengono posizionate ai lati, nel punto più alto della concavità, in modo da ridurre gli stress dovuti alle condizioni di anossia determinati dalla saturazione dei suoli nelle fasi di allagamento.

5.3.5 Specie particolarmente adatte alle zone umide dei fossi di ritenzione

Laddove siano previsti frequenti fenomeni di allagamento e accumulo idrico nella parte più bassa dei fossi e nei bacini di ritenzione, è possibile utilizzare le specie tipiche degli ambienti umidi e palustri. Un elenco utile per finalità progettuali è quello riportato in Tabella 10.

Tabella 10 elenco delle specie adatte a fossi di ritenzione di comune reperibilità. U = ambienti umidi di riba, U/S ambienti con suoli saturi e sommersione frequente, S = ambienti sommersi (modificato da ERSAF 2019)

Nome comune	Nome scientifico	U	U/S	S
Calta palustre	<i>Caltha palustris</i>		X	
Carice tagliente	<i>Carex acutiformis</i>	X		
Olmaria comune	<i>Filipendula ulmaria</i>	X		
Giaggiolo acquatico	<i>Limniris pseudacorus</i>	x	x	
Giunco comune	<i>Juncus effusus</i>	x	x	
Salcerella comune	<i>Lythrum salicaria</i>	x		
Menta acquatica	<i>Mentha aquatica</i>	x		
Ninfea gialla	<i>Nuphar lutea</i>			x
Limnantemio	<i>Nymphoides peltata</i>			x
Lisca lacustre	<i>Schoenoplectus lacustris</i>	x	x	
Felce palustre	<i>Thelypteris palustris</i>	x		
Cannuccia di palude	<i>Phragmites australis</i>	x	x	
Lisca maggiore - mazzasorda maggiore	<i>Typha latifolia</i>	x	x	

6 Bibliografia

6.1 Riferimenti generali

- Bianchi, T., Cantù, A., Cozzi, V., Frangi, P., Papponi, L., Parisini, M., Piatti, V., Pusterla, M., Strada, M., Valagussa, M., Balder, H., Shears, J., & Rayment, J. (2013) - Piantare alberi in città. Fondazione Minoprio.
- Buscaino, M., Upchurch, M., Whitlow, H., Wellborn, B., Aker, S., Boehm, O., Corletta, R., Fitch, J., Genua, S., Forester, S., Harwell, F., Lear, M., Paumier, C., Pitchford, K., Associates, P., Rhodeside, E., Thomas, J., & Urban, J. (2008) - Tree growing the tree space out of the box design.
- Butt, Y.N. (2017) - Drought Tolerance In Plants: A Review. *Environmental Sciences*, 5(4), 10.
- Carminati, M. (2014) - La gestione del verde urbano e rurale - Manuale di buone pratiche e suggerimenti. Provincia di Bergamo. Città di Sondrio 2007
- Day, S.D., Wiseman, P.E., Dickinson, S.B., & Harris, J.R. (2010) - Contemporary Concepts of Root System Architecture of Urban Trees, 11
- Di Fidio, M., Bischetti, G.B. (2008) Riqualificazione ambientale delle reti idrografiche minori, Biblioteca Tecnica Hoepli, Milano
- DWA (2005) - Planning, construction and operation of facilities for the percolation of precipitation:Stand: April 2005. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef (Sieg), 60 pp.
- Ferraris, P., Terzuolo, P.G., Amprimo, G., Sindaco, R., Della Beffa, G., Piazzi, M., Boni, I., Brenta, P., & Camoriano, L. (2001) - Arboricoltura da legno. Guida alla realizzazione e alla gestione degli impianti, 111.
- Giandon, P., & Bortolami, P. (2007) - L'interpretazione delle analisi del terreno Strumento per la sostenibilità ambientale. ARPAV
- Harris, R., Clark, J.R., & Matheny, N.P. (2004) - Arboriculture : integrated management of landscape trees, shrubs, and vines. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- ISTAT (2016) - Verde urbano anno 2014 (Focus Statistiche). ISTAT.
- MATTM (2017) - Linee guida per la gestione del verde urbano e prime indicazioni per una pianificazione sostenibile. Comitato per lo sviluppo del verde pubblico.
- MIPAAF (2014a) "Azione 8 – linee guida locali piante, polline ed allergie.
- MIPAAF 2014b
- Mustroph, A. (2018) - Improving Flooding Tolerance of Crop Plants. *Agronomy*, 8(9), 160.
- Piccarolo, P. (1995) - Spazi verdi pubblici e privati. Hoepli.
- Pyšek et al., 2004
- Randrup, T.B., McPherson, E.G., & Costello, L.R. (2001) - Tree Root Intrusion in Sewer Systems: Review of Extent and Costs. *Journal of Infrastructure Systems*, 7(1), 26-31.
- Regione Lombardia - Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12, Pub. L. No. 7 (2017).

Richardson et al., 2000;

Taiz, L., & Zeiger, E. (2013) - Fisiologia vegetale. Piccin, Padova.

Vavassori, A. (2020) - Progetto di gestione del verde urbano - una nuova visione. ACER, marzo-aprile(2).

WMO (2012) International Glossary of Hydrology, WMO-No. 385, Ginevra, Svizzera, 3^a edizione (<https://library.wmo.int/idurl/4/35589>).

6.2 Manuali tecnici

ACI PRC-522-23. American Concrete Institute. Report on Pervious Concrete. ACI522-23 Farmington Hills, M. 2023, 56 pp ISBN: 9781641952200

Bonsignori e Senes (2022) Sustainable Drainage Systems - Soluzioni progettuali tipo, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi di Milano e Brianza Acque, ISBN: 978-88-86569-41-5 <https://www.ilverdeeditoriale.com/PubFree/SuDS/SuDS.pdf>

BS 7533:13 –2009: Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers

BS EN 16941-1:2024 On-site non-potable water systems - Systems for the use of rainwater

City of Mesa (2015) Low impact development toolkit, prepared for the city of Mesa by Logan Simpson and Dibble Engineering, Mesa, Arizona, USA, 73 pp <https://wrrc.arizona.edu/sites/wrrc.arizona.edu/files/lid%20toolkit-mesa.2015.pdf>

City of Tucson (2015) Low Impact Development and Green Infrastructure guidance manual, <https://content.civicplus.com/api/assets/b1db63b8-214e-4855-a4e7-cd3ed3f6b6be>

Comune di Bologna (2018) Linee guida sull'adozione di tecniche di drenaggio urbano sostenibile per una città più cambiamenti climatici, Comune di Bologna, European Investment Bank, Atkins, Iridra, Bologna, 2018 https://www.comune.bologna.it/myportal/C_A944/api/content/download?id=6328303072e6b400994c57c0&size=lg

County of San Diego (2014) Low Impact Development Handbook - Stormwater Management Strategies, July 2014, Department of Public Works, San Diego, California, USA https://www.sandiegocounty.gov/content/dam/sdc/pds/docs/LID_Handbook_2014.pdf

DIN 1989-1:2002-04 Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance

Masseroni D., Massara F., Gandolfi C., Bischiotti G.B. (2018) Manuale sulle buone pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile, con la collaborazione di CAP Holding, 120 pp, Milano https://www.gruppocap.it/content/dam/groupcap/assets/documents/documents-web/media-e-comunicazione/news/Manuale%20SuDS_ese_LR.pdf

Prince George's County, Maryland (1999) Low-Impact Development – An Integrated design approach, Department of Environmental Resource, Programs and Planning Division https://www.princegeorgescounty.md.gov/sites/default/files/media-document/dcv86_low-impact-development-design-strategies-pdf.pdf

UACDC (2010) LID Low Impact How Development a design manual for urban areas. University of Arkansas Community Design Center, 2020. <https://uacdc.uark.edu/work/low-impact-development-a-design-manual-for-urban-areas>

Woods Ballard, B, Wilson, Udale-Clarke, H, Illman, S, Scott, T, Ashley, R, Kellagher, R (2015) The SuDS Manual, CIRIA C753, Londra, (GB), 2015, ISBN: 978-0-86017-760-9
https://www.ciria.org/CIRIA/CIRIA/Item_Detail.aspx?iProductCode=C753

6.3 Esempi di applicazioni

County of San Diego (2014) Low Impact Development Handbook - Stormwater Management Strategies, July 2014, Department of Public Works, San Diego, California, USA
https://www.sandiegocounty.gov/content/dam/sdc/pds/docs/LID_Handbook_2014.pdf

METRO (2020) Designing Livable Streets and Trails Guide, <https://www.oregonmetro.gov/sites/default/files/2024/10/25/Designing-Livable-Streets-and-Trails-Guide-20241025-1.pdf>

Pasinetti (2011) Il Parco della Trucca, Idraulica e Paesaggio nella Città di Bergamo, <https://studiotopasinetti.it/wp-content/uploads/2021/10/parco-della-trucca.pdf>

San Francisco Estuary Partnership Green StreetS, Cleaner Stormwater: a Primer, https://sfestuary.org/wp-content/uploads/2012/12/greenstreetsInsert_10_10_6_web.pdf

San Mateo Countywide Water Pollution Prevention Program (2009) San Mateo County Sustainable Green Streets and Parking Lots Design Guidebook, 1 edizione, January 2009. <https://www.flowsstobay.org/wp-content/uploads/2021/01/GreenSustainableStreetsParkingLotsDesignGuidebook-1.pdf>

San Mateo County (2009) Sustainable Green Streets and Parking Lots Design Guidebook <https://www.flowsstobay.org/wp-content/uploads/2021/01/GreenSustainableStreetsParkingLotsDesignGuidebook-1.pdf>