



INFRASTRUTTURE VERDI

PER L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Strategie e indicazioni progettuali per la gestione sostenibile delle acque meteoriche urbane nell'area mediterranea nord-occidentale

INFRASTRUCTURES ÉCOLOGIQUES

POUR L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Stratégies et indications de projets pour la gestion durable des eaux pluviales urbaines dans le nord-ouest du bassin méditerranée

INFRASTRUTTURE VERDI

PER L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Strategie e indicazioni progettuali per la gestione sostenibile delle acque meteoriche urbane nell'area mediterranea nord-occidentale

INFRASTRUCTURES ÉCOLOGIQUES

POUR L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Stratégies et indications de projets pour la gestion durable des eaux pluviales urbaines dans le nord-ouest du bassin méditerranée

La presente pubblicazione è stata elaborata grazie ad una ricerca svolta presso il Dipartimento Architettura e Design – Università degli Studi di Genova nell'ambito del progetto Interreg Marittimo - Italia Francia PROTERINA-3Èvolution.

Cette publication a été élaborée grâce à une recherche réalisée par la Faculté d'Architecture et de Design de l'Université de Gênes dans le cadre du programme Interreg Italie France Maritime PROTERINA-3Èvolution.

Edito da

ModusOperandi Editore

© Città Metropolitana di Genova e Università degli Studi di Genova – Dipartimento Architettura e Design – Scuola Politecnica

Finito di stampare nel mese di febbraio 2020

ISBN 9788898102075

Indice

Premessa Città Metropolitana di Genova

Introduzione

1. Cambiamento climatico e ambiente urbano

1.1 Cambiamento climatico e squilibri nelle aree urbane

Katia Perini

1.2 Acque meteoriche e relative criticità in ambito urbano

Paola Sabbion

1.3 Caratteristiche meteorologiche del Territorio Marittimo

Adriano Magliocco

2. Infrastrutture verdi

2.1 Infrastrutture verdi: benefici e servizi ecosistemici

Katia Perini

2.2 Politiche comunitarie ed esempi internazionali e nazionali di linee guida

Paola Sabbion

2.3 Componenti di controllo e treatment train

Katia Perini

2.4 Sistemi e componenti per la gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano

Katia Perini, Paola Sabbion

2.5 La vegetazione per le infrastrutture verdi

Paola Sabbion

Index

Prémissse Ville métropolitaine de Gênes

Introduction

1. Changement climatique et environnement urbain

1.1 Changement climatique et déséquilibres dans les zones urbaines

Katia Perini

1.2 L'eau de pluie et ses aspects critiques en milieu urbain

Paola Sabbion

1.3 Caractéristiques météorologiques du Territoire Maritime

Adriano Magliocco

2. Infrastructures vertes

2.1 Infrastructures vertes: avantages et services écosystémiques

Katia Perini

2.2 Politiques communautaires et exemples internationaux et nationaux de lignes directrices

Paola Sabbion

2.3 Eléments de contrôle treatment train

Katia Perini

2.4 Systèmes et éléments de gestion des eaux pluviales en milieu urbain

Katia Perini, Paola Sabbion

2.5 La végétation pour les infrastructures écologiques

Paola Sabbion

3. Schede per la progettazione di sistemi per la gestione delle acque meteoriche	79	3. Conseils pour la conception de systèmes de gestion des eaux pluviales	79
3.1 Premessa	80	3.1 Introduction	80
<i>Adriano Magliocco</i>		<i>Adriano Magliocco</i>	
3.2 Rain garden	84	3.2 Rain garden	91
<i>Paola Sabbion</i>		<i>Paola Sabbion</i>	
3.3 Infiltration basin	98	3.3 Infiltration basin	107
<i>Katia Perini</i>		<i>Katia Perini</i>	
3.4 Vegetative swale	116	3.4 Vegetative swale	124
<i>Paola Sabbion</i>		<i>Paola Sabbion</i>	
3.5 Green roof	132	3.5 Green roof	140
<i>Katia Perini</i>		<i>Katia Perini</i>	
4. Un caso studio: il rain garden di Campomorone, Genova	149	4. Un cas d'étude: le rain garden de Campomorone, Gênes	149
4.1 Descrizione dell'intervento	150	4.1 Description de l'intervention	150
<i>Adriano Magliocco</i>		<i>Adriano Magliocco</i>	
4.2 Le specie vegetali	156	4.2 Les espèces végétales	156
<i>Paola Sabbion</i>		<i>Paola Sabbion</i>	
4.3 Monitorare le prestazioni del sistema	164	4.3 Suivi des performances du système	164
<i>Katia Perini</i>		<i>Katia Perini</i>	

Premessa Città Metropolitana di Genova

Il rapido sviluppo dei centri urbani e la conseguente impermeabilizzazione dei suoli hanno portato a cambiamenti significativi per quanto riguarda il volume, l'intensità e la qualità delle acque meteoriche di deflusso nelle città. L'acqua di deflusso delle superfici impermeabili non ha la possibilità di infiltrarsi nel suolo e diventa, quindi, causa di allagamenti a seguito di, sempre più frequenti, eventi atmosferici di elevata intensità dovuti al cambiamento climatico in atto che rende i centri urbani ancora più vulnerabili.

Il crescente interesse per queste tematiche ha portato a sviluppare strategie sostenibili che, non solo risolvono la problematica di gestione delle acque meteoriche in città, imitando il naturale ciclo dell'acqua, ma sono in grado di offrire altri benefici per rendere le città più sicure e sostenibili.

Il progetto Proterina 3 Evolution, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del programma Interreg Italia-Francia, si pone esattamente in questa linea, e più in particolare nell'ambito dei progetti innovativi per la mitigazione del rischio alluvioni.

I cinque Comuni dell'Alta Val Polcevera (Campomorone, Ceranesi, Mignanego, S. Olcese e Serra Riccò) hanno aderito in questi anni a un protocollo di accordo con Città Metropolitana di Genova per la realizzazione di una infrastruttura blu-verde nel Comune di Campomorone: si tratta del cosiddetto rain garden.

Prémissse Ville métropolitaine de Gênes

Le développement rapide des centres urbains et l'imperméabilisation des sols qui en résulte ont entraîné des changements importants en termes de volume, d'intensité et de qualité de l'écoulement des eaux de pluie dans les villes. L'eau provenant de surfaces étanches ne peut pas s'infiltrer dans le sol et devient donc une cause d'inondation suite à des phénomènes météorologiques de plus en plus fréquents et d'intensité élevée dus à des changements climatiques, ce qui rend les centres urbains encore plus vulnérables.

L'intérêt croissant pour ces questions a conduit à l'élaboration de stratégies durables qui non seulement résolvent le problème de la gestion des eaux pluviales dans les villes, en imitant le cycle naturel de l'eau, mais peuvent également offrir d'autres avantages pour rendre les villes plus sûres et plus durables.

Le projet Proterina 3 Evolution, financé par l'Union européenne dans le cadre du programme Interreg Italie-France, va exactement dans ce sens, et plus particulièrement dans le cadre de projets innovants pour l'atténuation des risques d'inondation.

Les cinq communes de l'Alta Val Polcevera (Campomorone, Ceranesi, Mignanego, S. Olcese et Serra Riccò) ont adhéré ces dernières années à un protocole d'accord avec la ville métropolitaine de Gênes pour la construction d'une infrastructure verte et bleue dans la commune de Campomorone: il s'agit du rain garden.

I rain garden nascono all'interno dell'architettura sostenibile ed ecologica, come risposta ad alcuni dei problemi sollevati dall'urbanizzazione. Principalmente lo scopo è quello di raccogliere l'acqua piovana, gestendo in modo sapiente tutti i disagi dovuti ai violenti acquazzoni, nonché ai problemi di allagamento di molte aree cittadine. Inoltre attraverso la fitodepurazione permettono la riduzione di agenti inquinanti nelle acque di scolo.

Si tratta di un'iniziativa del tutto nuova per la Liguria, e con pochi precedenti in Italia, mentre questa tipologia di giardini è assai diffusa nei Paesi anglosassoni, e per questo motivo si è preferito mantenere il suo nome in inglese.

Il Dipartimento di Architettura e Design dell'Università degli Studi di Genova ha sviluppato delle linee guida per la progettazione di questi giardini, che andavano ovviamente ripensati in funzione di un clima di tipo mediterraneo, monitorando al tempo stesso, a partire dal prototipo di Campomorone, l'efficacia di queste strutture, che possono essere realizzate un po' ovunque e con costi molto contenuti.

Ci si augura pertanto, come ente di Area vasta che assiste i Comuni del Genovesato, che questa esperienza possa costituire un primo modello al quale ispirarsi in futuro per le progettazioni dei nostri giardini, sia pubblici sia privati, con uno sguardo sempre più attento alle conseguenze che gli interventi dell'uomo comportano sull'ambiente.

Simone Ferrero
Consigliere Delegato Ambiente della Città metropolitana di Genova

Les rain gardens sont créées dans le cadre de l'architecture durable et écologique, en réponse à certains des problèmes posés par l'urbanisation. L'objectif principal est de collecter l'eau de pluie, en gérant habilement tous les inconvénients causés par les averses violentes, ainsi que les problèmes d'inondations de nombreuses zones de la ville. De plus, grâce à la phytoépurification, ils permettent de réduire les polluants dans les eaux usées.

Il s'agit d'une initiative totalement nouvelle pour la Ligurie, et avec peu de précédents en Italie, alors que ce type de jardin est très répandu dans les pays anglo-saxons, et pour cette raison il a été jugé préférable de conserver son nom en anglais.

La Faculté d'Architecture et de Design de l'Université de Gênes a élaboré des lignes directrices pour la conception de ces jardins, qui devaient évidemment être repensées en fonction du climat méditerranéen, tout en contrôlant, à partir du prototype du Campomorone, l'efficacité de ces structures, qui peuvent être construites presque partout et à très faible coût.

Nous espérons donc que cette expérience, en tant qu'organisme de grande envergure qui assiste les municipalités du territoire de Gênes, sera un premier modèle à inspirer à l'avenir pour la conception de nos jardins, tant publics que privés, avec une attention croissante aux conséquences des interventions humaines sur l'environnement.

Simone Ferrero
*Administrateur Délégué à l'Environnement
de la Ville métropolitaine de Gênes*

Introduzione

Le infrastrutture verdi procurano numerosi benefici sia per la natura che per l'uomo, in particolare in aree densamente costruite. Lo sviluppo di infrastrutture verdi fa parte della strategia UE 2020 sulla biodiversità che prevede il ripristino di almeno il 15% degli ecosistemi degradati e il mantenimento e rafforzamento degli ecosistemi e dei loro servizi. Proteggere il capitale naturale e dare il giusto valore ai servizi ecosistemici sono la chiave verso una crescita intelligente e sostenibile, proprio perché aumentano le potenzialità di accrescimento del valore economico dei territori e forniscono nuove opportunità di lavoro a livello locale (Ministero dell'Ambiente, 2014).

Le città sono ecosistemi densamente antropizzati in cui vive più del 50% della popolazione mondiale. In ambito urbano il conflitto tra artificialità e naturalità si manifesta attraverso la perdita di biodiversità, di qualità dei servizi ecosistemici e di resilienza. Le città tendono a crescere spesso per dispersione, lo sprawl, che causa un alto consumo di suolo e ne degrada la qualità, diminuendo la permeabilità, la biodiversità, la capacità di produrre beni e servizi comuni (Ministero dell'Ambiente, 2014). Investire in infrastrutture verdi permette di migliorare la qualità ambientale, di aumentare il benessere delle persone e di ridurre l'impatto dell'attività antropica, come descritto nei paragrafi seguenti.

Il testo raccoglie indicazioni per l'integrazione e l'adattamento di sistemi infrastrutture verdi nell'area mediterranea nord-occidentale, considerando vincoli e potenzialità specifiche dei tessuti urbani densi. I dati riportati provengono da numerose ricerche e studi svolti negli ultimi anni e da manuali elaborati in

Introduction

Les infrastructures vertes offrent de nombreux avantages tant pour la nature que pour l'homme, en particulier dans les zones fortement urbanisées. Le développement d'infrastructures vertes s'inscrit dans le cadre de la stratégie UE 2020 sur la biodiversité qui exige la restauration d'au moins 15% des écosystèmes dégradés et le maintien et le renforcement des écosystèmes et de leurs services. La protection du capital naturel et la valorisation des services écosystémiques sont la clé d'une croissance intelligente et durable, précisément parce qu'elles augmentent le potentiel d'amélioration de la valeur économique des territoires et créent de nouvelles opportunités d'emploi au niveau local (Ministère dell'Ambiente, 2014).

Les villes sont des écosystèmes densément peuplés dans lesquels vit plus de 50% de la population mondiale. Dans les zones urbaines, le conflit entre artificialité et naturalité se manifeste par la perte de biodiversité, de qualité des services écosystémiques et de résilience. Les villes tendent à se développer souvent par dispersion, une expansion urbaine qui entraîne une forte consommation de sols et dégrade leur qualité, diminue leur perméabilité, la biodiversité, la capacité à produire des biens et services communs. (Ministère dell'Ambiente, 2014). Investir dans des infrastructures vertes peut améliorer la qualité de l'environnement, améliorer le bien-être de la population et réduire l'impact des activités humaines, comme exposé dans les paragraphes suivants.

Le texte recueille des indications pour l'intégration et l'adaptation de systèmes d'infrastructures vertes dans le nord-ouest de la Méditerranée, en tenant compte des contraintes et des potentiels spécifiques des tissus urbains denses. Les

diversi paesi con l'obiettivo di incrementare l'utilizzo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche ed il miglioramento della qualità ambientale.

Una prima parte introduttiva comprende una descrizione delle problematiche ambientali ed ecologiche dell'ambiente urbano, dei rischi e impatti dei cambiamenti climatici e relative misure di mitigazione e adattamento e delle problematiche legate alla gestione dell'acqua meteorica. Sono quindi riportate le definizioni relative alle infrastrutture verdi più riconosciute a livello internazionale ed una breve analisi dei benefici della vegetazione in ambiente urbano. Con l'obiettivo di fornire indicazioni per la progettazione di sistemi di infrastrutture verdi adatti all'ambiente urbano, sono state elaborate delle schede descrittive per quattro sistemi: rain garden, infiltration basin, vegetative swale, green roof.

Infine, è presentato il progetto pilota rain garden realizzato nell'ambito del progetto Interreg Marittimo - Italia Francia PROTERINA-3Èvolution.

données rapportées proviennent de nombreuses recherches et études menées ces dernières années et de manuels élaborés dans différents pays dans le but d'accroître l'utilisation des infrastructures vertes pour la gestion des eaux pluviales et l'amélioration de la qualité environnementale.

Une première partie de présentation fournit une description des problèmes environnementaux et écologiques de l'environnement urbain, des risques et des impacts du changement climatique et des mesures d'atténuation et d'adaptation connexes, ainsi que des questions relatives à la gestion des eaux de pluie. Les définitions des infrastructures vertes les plus reconnues au niveau international et une brève analyse des avantages de la végétation dans un milieu urbain sont présentées ci-après. Dans le but de fournir des indications pour la conception de systèmes d'infrastructures vertes adaptés à l'environnement urbain, des fiches descriptives ont été établies pour quatre systèmes: jardin de pluie, bassin d'infiltration, rigole de drainage végétalisée, toiture végétalisée.

Enfin, le document présente le projet pilote de jardin pluvial réalisé dans le cadre du projet Interreg Italie France Maritime PROTERINA-3Èvolution.



1

Cambiamento climatico e ambiente urbano **Changement climatique et environnement urbain**



1.1 Cambiamento climatico e squilibri nelle aree urbane

Katia Perini

Le aree urbane sono responsabili del 70% delle emissioni globali di carbonio e di quasi il 70% del consumo energetico globale (International Energy Agency, 2008; Luederitz et al., 2013; Seto et al., 2012; United Nations, 2012). I problemi ambientali nelle città hanno conseguenze significative sulla salute umana, sulla qualità della vita dei cittadini e sul rendimento economico, a causa dell'elevata vulnerabilità ai cambiamenti climatici (Commission of the European Communities, 2005). Gli insediamenti urbani sono, infatti, allo stesso tempo i maggiori responsabili e le principali "vittime" del cambiamento climatico, dal momento che gli effetti negativi dei cambiamenti climatici sono amplificati dalle caratteristiche degli insediamenti. Inondazioni, calore e siccità, in particolare, sono pericoli che stanno caratterizzando sempre più le aree urbane.

A livello internazionale l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) afferma che, nonostante siano state intraprese molteplici azioni volte alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, gli effetti connessi alla variabilità climatica sono inevitabili. Secondo tali studi la variabilità climatica appare strettamente legata alle attività umane per cui le temperature, le emissioni di CO₂ e il livello dei mari continueranno progressivamente a crescere (come riportato nella Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici del Ministero dell'Ambiente Italiano, Ministero dell'Ambiente, 2014). La maggior parte degli scenari climatici delineati mostra un aumento della temperatura media superficiale, entro la fine di questo secolo, di almeno 1,5°C rispetto al periodo

1.1 Changement climatique et déséquilibres dans les zones urbaines

Katia Perini

Les zones urbaines sont responsables de 70 % des émissions mondiales de carbone et de près de 70 % de la consommation mondiale d'énergie (International Energy Agency, 2008; Luederitz et al., 2013; Seto et al., 2012; United Nations, 2012). Les problèmes environnementaux dans les villes ont des conséquences importantes pour la santé humaine, la qualité de vie de la population et les performances économiques, en raison de leur grande vulnérabilité face au changement climatique. (Commission of the European Communities, 2005). En effet, les établissements urbains sont en même temps les plus grands coupables et les principales «victimes» du changement climatique, puisque les effets négatifs du changement climatique sont amplifiés par les caractéristiques de ces établissements. Les inondations, la chaleur et la sécheresse, en particulier, sont des dangers de plus en plus fréquents dans les zones urbaines.

Au niveau international, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) affirme que, bien que de nombreuses mesures aient été prises pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, les effets de la variabilité climatique sont inévitables. Selon ces études, la variabilité du climat semble être étroitement liée aux activités humaines, de sorte que les températures, les émissions de CO₂ et le niveau de la mer continueront à augmenter progressivement (comme indiqué dans la Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique du ministère italien de l'Environnement), Ministero dell'Ambiente, 2014). La plupart des scénarios climatiques décrits ci-dessus montrent une augmentation de la température moyenne en surface d'au moins 1,5°C à la fin de ce siècle par rapport à la période

1850-1900, un aumento del numero degli eventi climatici estremi e un innalzamento del livello globale medio dei mari tra i 0,26 e gli 0,82 m per effetto dell'aumento del riscaldamento degli oceani e dal progressivo scioglimento dei ghiacciai e delle calotte polari.

Le conseguenze dei cambiamenti climatici si manifestano in dissesti ambientali la cui portata si estende a coinvolgere i sistemi sociali conducendoci a rimettere in discussione l'organizzazione sociale e il rapporto storico tra l'uomo e il suo ambiente. Le questioni emergenti riguardano anche il rischio sulla salute, la sicurezza alimentare, la gestione delle risorse naturali, le diseguaglianze di genere, la marginalizzazione sociale ed economica, i conflitti e le migrazioni (Ministero dell'Ambiente, 2014).

Il cambiamento climatico pone dei rischi per i sistemi umani e naturali (Field et al., 2014) e le aree urbane sono altamente vulnerabili agli effetti del surriscaldamento, in particolare per quanto riguarda le alluvioni e le ondate di calore (Commission of the European Communities, 2005; Field et al., 2014). Tuttavia, l'impatto dei cambiamenti climatici può essere ancora più intenso e più ampio sui sistemi naturali a causa della sua influenza sui sistemi idrologici. Colpisce, in particolare, le risorse idriche in termini di quantità e qualità e molte specie terrestri, d'acqua dolce e marine, che in risposta al cambiamento climatico in corso hanno modificato habitat geografici, attività stagionali, modelli migratori, interazioni (Pachauri et al., 2014). Il cambiamento climatico, quindi, altera le funzioni dei sistemi ecologici e interferisce con la fornitura di servizi ecosistemici e il benessere delle persone basato su questi servizi (Nelson et al., 2013). Infatti, gli ecosistemi terrestri forniscono una serie di servizi vitali per le persone e le società, come la biodiversità, il cibo, le risorse idriche, il sequestro di CO₂ e i

1850-1900, une augmentation du nombre d'événements climatiques extrêmes et une augmentation du niveau moyen de la mer entre 0,26 et 0,82 m en raison de l'augmentation du réchauffement des océans et de la fonte progressive des glaciers et des calottes polaires.

Les conséquences du changement climatique se manifestent par des bouleversements environnementaux dont la portée s'étend aux systèmes sociaux et qui nous amènent à remettre en question l'organisation sociale et la relation historique entre l'homme et son environnement. Les questions émergentes comprennent également les risques sanitaires, la sécurité alimentaire, la gestion des ressources naturelles, les inégalités entre les sexes, la marginalisation sociale et économique, les conflits et les migrations (Ministère dell'Ambiente, 2014).

Le changement climatique présente des risques pour les systèmes humains et naturels (Field et al., 2014) et les zones urbaines sont très vulnérables aux effets de la surchauffe, en particulier en ce qui concerne les inondations et les vagues de chaleur (Commission of the European Communities, 2005; Field et al., 2014). Cependant, l'impact du changement climatique peut être encore plus profond et plus vaste sur les systèmes naturels en raison de son incidence sur les systèmes hydrologiques. Il affecte en particulier les ressources en eau en termes de quantité et de qualité et de nombreuses espèces terrestres, d'eau douce et marines qui, en réponse au changement climatique en cours, ont modifié les habitats géographiques, les activités saisonnières, les modèles migratoires, les interactions, etc. (Pachauri et al., 2014). Le changement climatique modifie donc les fonctions des systèmes écologiques et interfère avec la fourniture de services écosystémiques et le bien-être des populations basés sur ces services (Nelson et al., 2013). En effet, les écosystèmes terrestres fournissent une gamme de services vitaux pour les personnes et les so-

servizi ricreativi. In futuro, la capacità degli ecosistemi di garantire questi servizi sarà determinata dai cambiamenti delle caratteristiche socioeconomiche, dell'uso del suolo, della biodiversità, della composizione atmosferica e del clima (Metzger et al., 2006).

Poiché la temperatura della superficie terrestre è destinata ad aumentare nel corso del XXI secolo, dagli scenari valutati si evince che le ondate di calore probabilmente si verificheranno più spesso e dureranno più a lungo e gli eventi estremi diventeranno più intensi e frequenti in molte regioni. Allo stesso tempo, l'acqua dell'oceano diventerà più calda e più acida e il livello medio globale del mare salirà (Edenhofer et al., 2014).

Secondo la V relazione di valutazione 2014 del gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC), "Adattamento e mitigazione sono strategie complementari per ridurre e gestire i rischi dei cambiamenti climatici. Una sostanziale riduzione delle emissioni nei prossimi decenni potrebbe ridurre i rischi climatici nel ventunesimo secolo e oltre, aumentando le prospettive di un adattamento efficace, riducendo i costi e le sfide della mitigazione a lungo termine" (Pachauri et al., 2014). Pertanto, i piani di mitigazione e adattamento per moderare le emissioni di gas serra e limitare i rischi legati ai cambiamenti climatici dovrebbero essere concepiti congiuntamente (Hamin and Gurran, 2009).

Oltre il 40% dei suoli urbani è attualmente coperto da superfici impermeabili come strade, edifici e parcheggi (Benedict et al., 2012). I cambiamenti climatici e le pressioni antropiche hanno alterato le funzioni dei sistemi ecologici e hanno di conseguenza modificato il flusso dei servizi ecosistemici (Nelson et al., 2013). Questa tendenza è destinata ad aumentare con il previsto aumento della po-

ciétés, tels que la biodiversité, la nourriture, l'eau, la séquestration du CO₂ et les loisirs. Dans l'avenir, la capacité des écosystèmes à fournir ces services sera déterminée par les changements dans les caractéristiques socio-économiques, l'utilisation des sols, la biodiversité, la composition atmosphérique et le climat (Metzger et al., 2006).

Alors que la température à la surface de la Terre devrait augmenter au cours du XXI^e siècle, les scénarios étudiés montrent que les vagues de chaleur sont susceptibles de se produire plus souvent et de durer plus longtemps et que les événements extrêmes deviendront plus intenses et fréquents dans de nombreuses régions. Dans le même temps, l'eau de l'océan deviendra plus chaude et plus acide et le niveau moyen de la mer augmentera à l'échelle mondiale (Edenhofer et al., 2014).

Selon le cinquième rapport d'évaluation 2014 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), «l'adaptation et l'atténuation sont des stratégies complémentaires qui permettent de réduire et de maîtriser les risques liés aux changements climatiques. En limitant fortement les émissions au cours des prochaines décennies, on pourrait réduire les risques climatiques au XXI^e siècle et au-delà, améliorer les perspectives d'adaptation, réduire les coûts de l'atténuation sur le long terme» (Pachauri et al., 2014). Par conséquent, les plans d'atténuation et d'adaptation visant à modérer les émissions de gaz à effet de serre et à limiter les risques liés aux changements climatiques devraient être conçus conjointement (Hamin and Gurran, 2009).

Plus de 40% des sols urbains sont actuellement recouverts de surfaces imperméables telles que routes, bâtiments et parkings (Benedict et al., 2012). Les changements climatiques et les pressions anthropiques ont modifié les fonctions des systèmes écologiques et, par conséquent, le flux des services écosystémiques (Nel-

polazione mondiale nel mondo fino al 68% entro il 2050 (United Nations, DESA Population Division, 2018). In questo quadro il governo del territorio richiede di coniugare interventi a breve termine con interventi sul medio e lungo periodo (Ministero dell'Ambiente, 2014).

Le principali fonti di inquinamento atmosferico nelle aree urbane sono i trasporti, l'industria e gli impianti di riscaldamento/condizionamento (Colvile et al., 2001; Legambiente, 2012). Le principali fonti di inquinamento atmosferico sono dovute anche all'eccessiva concentrazione di asfalto e cemento che causano il fenomeno dell'isola di calore urbano - Urban Heat Island (UHI) che consiste in differenze di temperatura tra il centro città e le aree naturali/rurali circostanti anche di 2-5 gradi Celsius (Taha, 1997). Questo fenomeno si è intensificato negli ultimi anni danneggiando la salute dei cittadini, soprattutto durante l'estate, a causa delle temperature notturne costantemente elevate (Rozbicki and Golaszewski, 2003; Tereshchenko and Filonov, 2001) per la presenza di materiali da costruzione che immagazzinano calore durante il giorno per rilasciarlo successivamente. L'effetto canyon innescato da edifici alti, l'uso di aria condizionata, il calore generato dalle centrali elettriche e dal traffico sono fra le principali cause del surriscaldamento (Rizwan et al., 2008; Santamouris et al., 2001).

Uno studio condotto nella città di Firenze ha evidenziato l'influenza delle aree verdi sulla temperatura dell'aria all'interno della città e ha verificato che la distribuzione della temperatura è collegata alla distanza dal centro della città, al numero medio di edifici per metro quadrato e alla loro altezza. Le temperature dell'aria più elevate sono state riscontrate nel centro della città. Le temperature più basse sono state registrate all'interno di aree verdi situate nel centro della città (parchi o giardini)

son et al., 2013). Cette tendance devrait s'accentuer avec l'augmentation prévue de la population mondiale, qui devrait atteindre 68 % d'ici 2050 (United Nations, DESA Population Division, 2018). Dans ce contexte, la gouvernance territoriale exige une combinaison d'interventions à court terme et à moyen et long terme (Ministère dell'Ambiente, 2014).

Les principales sources de pollution atmosphérique dans les zones urbaines sont les transports, l'industrie et les systèmes de chauffage et de climatisation (Colvile et al., 2001; Legambiente, 2012). Les principales sources de pollution de l'air sont également dues à la concentration excessive d'asphalte et de ciment à l'origine du phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU), qui consiste en des différences de température pouvant atteindre 2-5 degrés Celsius entre le centre-ville et les zones naturelles/rurales environnantes (Taha, 1997). Ce phénomène, néaste pour la santé de citadins, s'est intensifié ces dernières années, en particulier en été, en raison des températures nocturnes constamment élevées (Rozbicki and Golaszewski, 2003; Tereshchenko and Filonov, 2001) dues à la présence de matériaux de construction qui emmagasinent la chaleur pendant la journée pour la libérer ensuite. L'effet canyon provoqué par les grands immeubles, l'utilisation de l'air climatisé, la chaleur générée par les centrales électriques et la circulation sont parmi les principales causes de la surchauffe (Rizwan et al., 2008; Santamouris et al., 2001).

Une étude réalisée dans la ville de Florence a mis en évidence l'influence des espaces verts sur la température de l'air à l'intérieur de la ville et a vérifié que la distribution de la température est liée à la distance du centre-ville, au nombre moyen de bâtiments par mètre carré et à leur hauteur. Les températures de l'air les plus élevées ont été observées dans le centre-ville. Les températures les plus basses ont été enregistrées dans les espaces verts situés en centre-ville (parcs

rispetto a quelle registrate sulla strada (1.5-2 °C; Petralli et al., 2006). Ciò accade perché le superfici verdi hanno valori di albedo diversi rispetto alle superfici dure artificiali (20-30% tra la vegetazione e il 5% sull'asfalto) e un'alta concentrazione di acqua (Taha, 1997).

ou jardins) par rapport à celles enregistrées sur la route (1,5-2 °C; Petralli et al., 2006). En effet, les surfaces vertes ont des valeurs d'albédo différentes de celles des surfaces dures artificielles (20 à 30 % entre la végétation et 5 % sur l'asphalte) et une forte concentration en eau (Taha, 1997).

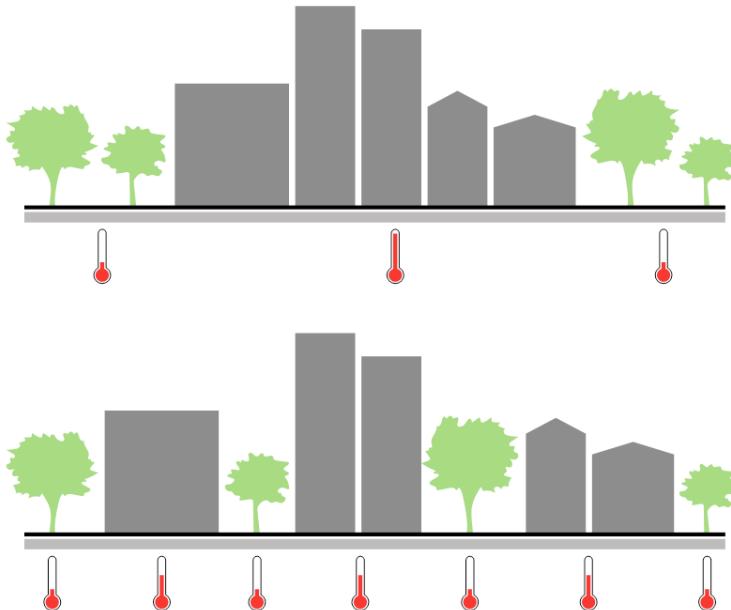


Figura 1.1. Il fenomeno dell'isola di calore urbana

Alti livelli di inquinamento atmosferico in aree urbane densamente popolate sono responsabili di gravi danni alla salute umana. Il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) collega l'inquinamento atmosferico urbano a un milione di morti premature ogni anno. Secondo uno studio condotto da Hoek et al. (2000), la mortalità giornaliera è significativamente associata alla concentrazione di tutti gli inquinanti atmosferici e in particolare all'ozono, all'inquinamento atmosferico da particolato e agli inquinanti gassosi dell'anidride solforosa (SO_2) e del biossido di azoto (NO_2). Le particelle di polvere più piccole di $2,5 \mu\text{m}$ di diametro, presenti

Figure 1.1. Le phénomène de l'îlot de chaleur urbain

Les niveaux élevés de pollution atmosphérique dans les zones urbaines densément peuplées sont responsables de graves dommages pour la santé humaine. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) établit un lien entre la pollution atmosphérique urbaine et un million de décès prématurés chaque année. Selon une étude réalisée par Hoek et al. (2000), la mortalité quotidienne est associée de manière significative à la concentration de tous les polluants atmosphériques et en particulier de l'ozone, de la pollution atmosphérique par les particules et des polluants gazeux que sont le dioxyde de soufre (SO_2) et le dioxyde d'azote (NO_2). Les particules de poussière d'un diamètre inférieur à $2,5 \mu\text{m}$,

nelle aree urbane, sono particolarmente nocive nelle aree urbane densamente popolate perché possono essere inalate profondamente (Powe and Willis, 2004). Come si evince dal report "Air Quality in Europe" 2019, la concentrazione di polveri sottili costituisce una problematica in molte aree del nostro paese (Figura 1.2).

présentes dans les zones urbaines, sont particulièrement nocives dans ces zones densément peuplées car elles peuvent être inhalées et pénétrer profondément dans les poumons (Powe and Willis, 2004). Comme montré par le rapport "Air Quality in Europe" 2019, la concentration de particules fines pose un problème dans de nombreuses régions de notre pays. (Figure 1.2).

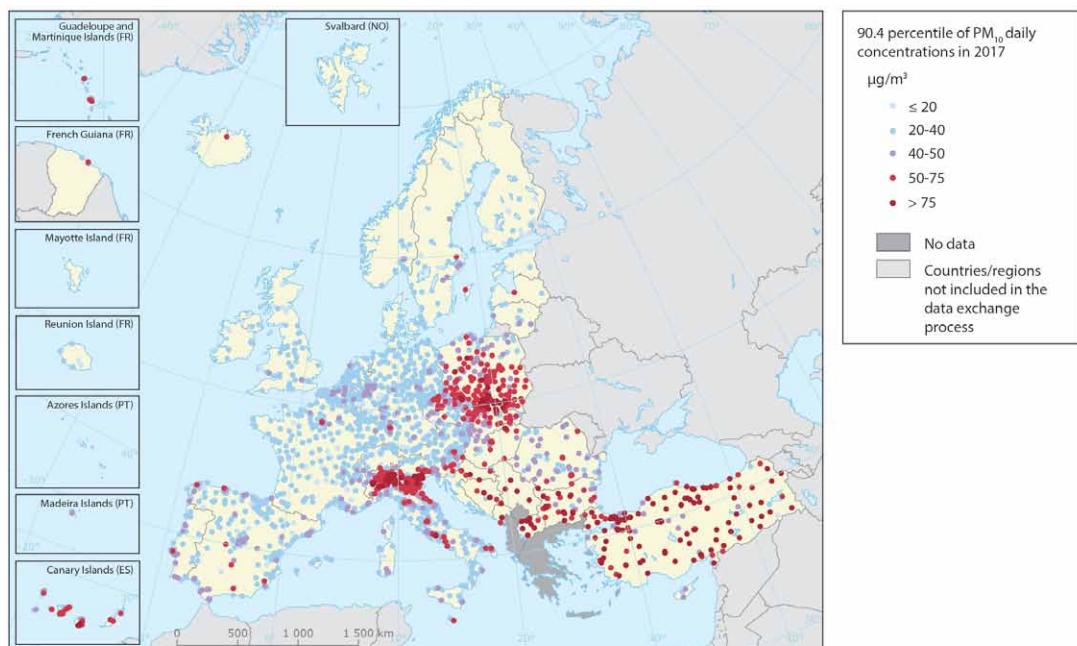


Figura 1.2. Concentrazione PM₁₀. Air quality in Europe — 2019 report

Figure 1.2. Concentration de PM₁₀. Air quality in Europe — 2019 report

L'urbanizzazione crescente ha spesso dimostrato di avere un impatto drammatico anche sui paesaggi naturali (Grimm et al., 2008). In molti casi, la frammentazione e l'inquinamento hanno causato discontinuità negli ecosistemi e perdita di biodiversità.

Anche l'erosione del suolo costituisce problema ambientale globale, che ostacola lo sviluppo sostenibile dell'ambiente e delle sue risorse. Gli studi indicano che il verificarsi e l'intensità di erosione del suolo dipendono principalmente dalle attività umane, in particolare dall'ab-

L'urbanisation croissante s'est souvent avérée avoir un impact dramatique sur les paysages naturels (Grimm et al., 2008). Dans de nombreux cas, la fragmentation et la pollution ont perturbé les écosystèmes et entraîné la perte de biodiversité.

L'érosion des sols est également un problème environnemental mondial, qui entrave le développement durable de l'environnement et de ses ressources. Les études indiquent que l'apparition et l'intensité de l'érosion des sols dépendent principalement des activités humaines, en particulier l'abandon des activités agricoles et la

bandono delle attività agricole e la deforestazione (Wang et al., 2016; Borrelli et al., 2014). L'erosione del suolo causa degrado, inondazioni, intorbidimento delle acque dei fiumi, perdita di nutrienti e inquinamento delle acque (Rickson, 2014). La gestione delle acque piovane riveste un ruolo particolarmente importante nelle città, con effetti negativi sugli ecosistemi fluviali e sulle coste marine.

Problemi ambientali e squilibri ecologici legati ai cambiamenti climatici, in particolare per quanto riguarda la perdita di biodiversità e l'inquinamento, dimostrano la necessità di ridurre i flussi di materia ed energia e di limitare gli impatti (Luederitz et al., 2013; Rockström et al., 2009; Seto et al., 2012; Weisz and Steinberger, 2010). Dopo tutto, «The gamble for ecological survival has always been reliant on technology and design – and when technological limits are obvious, the design adaptation has to be made» (Plunz, 2008).

La progettazione urbana sostenibile deve essere indirizzata alla riduzione degli effetti negativi delle attività antropiche sull'ambiente, sulla salute umana e sulla qualità della vita, limitandone l'impatto all'interno delle città e, allo stesso tempo, le emissioni a scala globale. Considerando le attuali problematiche ambientali ed ecologiche, le infrastrutture verdi svolgono un ruolo chiave in quanto riducono gli squilibri ambientali ed ecologici nelle aree urbane e possono rispondere adeguatamente alle esigenze contemporanee, come già evidenziato dal XX secolo dal Garden City Movement e dai metodi di pianificazione urbana basati sulla natura. Infatti, quando le infrastrutture verdi vengono pianificate, sviluppate e gestite in modo proattivo, possono guidare lo sviluppo urbano, la crescita economica e la conservazione della natura (Tzoulas et al., 2007).

déforestation (Wang et al., 2016; Borrelli et al., 2014). L'érosion des sols entraîne de la dégradation, des inondations, la turbidité de l'eau des rivières, la perte d'éléments nutritifs et la pollution de l'eau (Rickson, 2014). La gestion des eaux pluviales joue un rôle particulièrement important dans les villes, avec des effets négatifs sur les écosystèmes fluviaux et les côtes marines.

Les problèmes environnementaux et les déséquilibres écologiques liés au changement climatique, en particulier en ce qui concerne la perte de biodiversité et la pollution, démontrent la nécessité de réduire les flux de matières et d'énergie et de limiter les impacts (Luederitz et al., 2013; Rockström et al., 2009; Seto et al., 2012; Weisz and Steinberger, 2010). Après tout, «The gamble for ecological survival has always been reliant on technology and design – and when technological limits are obvious, the design adaptation has to be made» «Le pari de la survie écologique a toujours reposé sur la technologie et le design - et lorsque les limites technologiques sont évidentes, il est nécessaire d'adapter le design» (Plunz, 2008).

La conception urbaine durable doit viser à réduire les effets négatifs des activités humaines sur l'environnement, la santé humaine et la qualité de vie, en limitant leur impact dans les villes et, en même temps, leurs émissions à l'échelle mondiale. Compte tenu des problèmes environnementaux et écologiques actuels, les infrastructures vertes jouent un rôle clé dans la réduction des déséquilibres environnementaux et écologiques dans les zones urbaines et peuvent répondre de manière adéquate aux besoins contemporains, comme l'ont déjà souligné le mouvement Garden City du XXe siècle et les méthodes d'urbanisme fondées sur la nature. En effet, lorsque l'infrastructure verte est planifiée, développée et gérée de manière proactive, elle peut guider le développement urbain, la croissance économique et la conservation de la nature (Tzoulas et al., 2007).

Le infrastrutture verdi contribuiscono alla mitigazione dei cambiamenti climatici: la vegetazione cattura il biossido di carbonio attraverso la fotosintesi (Fowler, 2002), sequestrando l'anidride carbonica dall'aria e immagazzinandola come biomassa (Getter and Rowe, 2006). La capacità di raffrescamento degli spazi aperti mitiga il fenomeno dell'isola di calore urbana e riduce le emissioni di gas serra dovute dall'aria condizionata (Perini and Magliocco, 2014). Un altro beneficio indiretto delle infrastrutture verdi è la riduzione delle esigenze di trasporto e delle relative emissioni, che possono essere ottenute promuovendo greenways (percorsi ciclo-pedonali). Inoltre, secondo l'Agenzia europea dell'ambiente (European Environmental Agency, 2015), gli ecosistemi come le aree verdi urbane migliorano le condizioni delle infrastrutture convenzionali, ad esempio, trattenendo le acque piovane attenuano il carico sui sistemi fognari convenzionali, con grandi benefici anche economici.

Le città sono dunque una componente fondamentale per una strategia globale di adattamento ai cambiamenti climatici in quanto rappresentano luoghi di concentrazione di popolazione esposta ai principali impatti che da essi derivano (Ministero dell'Ambiente, 2014).

Le strategie di adattamento possono contribuire al benessere presente e futuro delle popolazioni e alla salute degli ecosistemi (Pachauri et al., 2014; TEEB, 2011), ma il successo delle strategie di mitigazione e adattamento dipende da politiche coordinate e iniziative di cooperazione su scala internazionale, regionale, nazionale e subnazionale, poiché le singole strategie di adattamento e di mitigazione che affrontano i cambiamenti climatici non sono sufficienti.

L'infrastructure verte contribue à l'atténuation des changements climatiques: la végétation capte le dioxyde de carbone par photosynthèse (Fowler, 2002), capte le dioxyde de carbone de l'air et le stocke sous forme de biomasse (Getter and Rowe, 2006). La capacité de climatisation des espaces ouverts atténue le phénomène d'îlot de chaleur urbain et réduit les émissions de gaz à effet de serre dues l'air climatisé (Perini and Magliocco, 2014). Un autre avantage indirect de l'infrastructure verte est la réduction des besoins de transport et des émissions connexes, qui peut être obtenue en favorisant les voies vertes (parcours pour cyclistes et piétons). De plus, selon l'Agence européenne pour l'environnement (European Environmental Agency, 2015), les écosystèmes tels que les espaces verts urbains améliorent les conditions des infrastructures conventionnelles, par exemple en retenant l'eau de pluie, ce qui diminue la charge des systèmes d'égouts conventionnels, avec de grands avantages économiques également.

Les villes sont donc un élément clé d'une stratégie globale d'adaptation aux changements climatiques, car ce sont des lieux de concentration de population exposés aux principaux impacts de ces derniers (Ministère dell'Ambiente, 2014).

Les stratégies d'adaptation peuvent contribuer au bien-être actuel et futur des populations et à la santé des écosystèmes (Pachauri et al., 2014; TEEB, 2011), mais le succès des stratégies d'atténuation et d'adaptation dépend de politiques coordonnées et d'initiatives de coopération à l'échelle internationale, régionale, nationale et infranationale, car les stratégies individuelles d'adaptation et d'atténuation face aux changements climatiques ne sont pas suffisantes.

Tabella 1.1. Strategie di mitigazione e adattamento relative al clima attraverso infrastrutture verdi, vegetate e non vegetate (Field et al., 2014; Perini and Sabbion, 2017)

Tableau 1.1. Stratégies d'atténuation du changement climatique et d'adaptation grâce à des infrastructures vertes, végétales et non végétales (Field et al., 2014; Perini and Sabbion, 2017)

Infrastrutture verdi-blu non vegetate Infrastructures vertes et bleues non végétales	
Riduzione dello scorrimento superficiale delle acque meteoriche e protezione da allagamenti Réduction de l'écoulement superficiel des eaux de pluie et protection contre les inondations	ADATTAMENTO driver: precipitazioni estreme ADAPTATION facteur: précipitations extrêmes
Infrastrutture verdi-blu vegetate Infrastructures vertes et bleues végétales	
Riduzione dello scorrimento superficiale delle acque meteoriche e protezione da allagamenti Réduction de l'écoulement superficiel des eaux de pluie et protection contre les inondations	ADATTAMENTO driver: precipitazioni estreme ADAPTATION facteur: précipitations extrêmes
Miglioramento della salute degli ecosistemi Amélioration de la santé des écosystèmes	ADATTAMENTO - driver: precipitazioni estreme, siccità, surriscaldamento e onda di calore ADAPTATION - facteurs: précipitations extrêmes, sécheresse, surchauffe et vague de chaleur
Sequestro CO2 (fotosintesi) Séquestration CO2 (photosynthèse)	MITIGAZIONE ATTÉNUATION
Regolazione del microclima (evaporazione e ombreggiamento) Régulation du microclimat (évaporation et ombrage)	ADATTAMENTO - driver: siccità, surriscaldamento e onda di calore ADAPTATION - facteurs: sécheresse, surchauffe et vague de chaleur
Riduzione dei consumi per condizionamento delle emissioni relative Réduction de la consommation grâce au conditionnement des émissions relatives	MITIGAZIONE ATTÉNUATION
Altri effetti: es. riduzione delle emissioni legate ai trasporti grazie all'uso di piste ciclabili e aree verdi Autres effets tels que la réduction des émissions dues aux transports grâce à l'utilisation de pistes cyclables et d'espaces verts	MITIGAZIONE ATTÉNUATION

1.2 Acque meteoriche e relative criticità in ambito urbano

Paola Sabbion

L'acqua è un'infrastruttura ecologica che assicura funzioni idrologiche, geologiche, biologiche, economiche, sociali e culturali (Allan and Castillo, 2007). Essa interviene in sistemi interdipendenti che producono una rete altamente connessa di elementi multifunzionali che forniscono benefici per la comunità e garantiscono il funzionamento ecologico degli ecosistemi. I sistemi idrici sono infatti coinvolti in una vasta gamma di processi, dalla mitigazione dei cambiamenti climatici allo sviluppo economico. Il documento finale della Conferenza delle Nazioni Unite Rio + 20, in linea con questa visione, afferma infatti che: "l'acqua è al centro dello sviluppo sostenibile poiché è strettamente legata a una serie di grandi sfide globali" (UN, 2012). Una direttiva del Parlamento europeo (n. 2000/60/CE) afferma inoltre che essa "non è un prodotto commerciale ma, piuttosto, un patrimonio che deve essere protetto, difeso e trattato come tale" (European Parliament, 2000).

In condizioni naturali, l'acqua svolge in modo efficiente le funzioni ambientali di base. Nel ciclo naturale la pioggia penetra nel terreno e gradualmente filtra nelle falde acquifere. Aree boschive (e, in diversa misura, superfici vegetate in genere) sono in grado di assorbire e trattenere acqua in modo naturale: foglie, rami, arbusti, erba e terreno diminuiscono e rallentano lo scorrimento superficiale dell'acqua (runoff). La maggior parte delle precipitazioni che cade sulla vegetazione viene assorbita nel terreno e infine si unisce alla falda acquifera e in parte torna nell'atmosfera per traspirazione. Al contrario, in presenza di superfici impermeabili come asfalto e cemen-

1.2 L'eau de pluie et ses aspects critiques en milieu urbain

Paola Sabbion

L'eau est une infrastructure écologique qui assure des fonctions hydrologiques, géologiques, biologiques, économiques, sociales et culturelles (Allan and Castillo, 2007). Elle intervient dans des systèmes interdépendants qui produisent un réseau hautement connecté d'éléments multifonctionnels qui apportent des bénéfices à la communauté et assurent le fonctionnement écologique des écosystèmes. Les systèmes hydriques participent à une vaste gamme de processus, allant de l'atténuation des changements climatiques au développement économique. Le document final de la Conférence des Nations Unies Rio + 20, qui s'inscrit dans cette optique, affirme, en effet, que: «l'eau est au cœur du développement durable car elle est liée étroitement à plusieurs problèmes mondiaux clefs» (UN, 2012). Une directive du Parlement européen (2000/60/CE) affirme que celle-ci «n'est pas un produit commercial, mais un héritage lequel est protégé, se défend et fait l'objet de négociation en tant que tel» (European Parliament, 2000).

Dans des conditions naturelles, l'eau remplit efficacement les fonctions environnementales de base. Dans le cycle naturel, la pluie pénètre dans le sol et s'infiltre progressivement dans les nappes souterraines. Les zones boisées (et, à différents degrés, les zones végétalisées en général) sont capables d'absorber et de retenir l'eau naturellement: feuilles, branches, arbustes, herbe et sol réduisent et ralentissent l'écoulement superficiel de l'eau (ruissellement). La plus grande partie des précipitations qui tombent sur la végétation est absorbée dans le sol et finit par rejoindre les eaux souterraines et retourne en partie dans l'atmosphère par transpiration. Au contraire, en présence de surfaces imperméables comme l'asphalte et

to l'acqua non può infiltrarsi nel suolo (Dunnett and Kingsbury, 2008). Le superfici urbane impermeabili provocano così un effetto 'ombrellino' che aumenta il deflusso delle acque piovane: l'acqua tende a scorrere più rapidamente a causa della minore permeabilità, con conseguente aumento di quantità e velocità del deflusso superficiale, instabilità idrogeologica e rischio di allagamenti. In città circa il 75% delle precipitazioni si disperde a causa del deflusso superficiale, rispetto a una perdita stimata del 5% nelle aree boschive (Scholz-Barth, 2001). Inoltre le forti precipitazioni nelle aree urbane si riflettono rapidamente nei picchi del livello dei fiumi, provocando inondazioni (Dunnett and Kingsbury, 2008).

Anche la qualità delle acque rappresenta una questione di fondamentale importanza (Czemiel Berndtsson, 2010). Il deflusso delle acque piovane inquinate urbane influisce, infatti, sulla qualità delle acque di scarico che vengono contaminate da scarichi industriali, gas di scarico, fertilizzanti, acque reflue residenziali e industriali e rifiuti. Tale inquinamento costituisce un rischio per la salute pubblica e l'ambiente, come la riduzione della qualità dell'acqua potabile e l'insicurezza delle acque per la balneazione (EPA, 2016).

le cementi, l'acqua non può s'infiltrare nel suolo (Dunnett and Kingsbury, 2008). Les surfaces urbaines étanches provoquent ainsi un effet «parapluie» qui augmente l'écoulement des eaux de pluie: l'eau a tendance à s'écouler plus rapidement en raison de la perméabilité plus faible, ce qui entraîne une augmentation de la quantité et de la vitesse de l'écoulement en surface, une instabilité hydrogéologique et des risques d'inondation. En ville, environ 75 % des précipitations sont dispersées par l'écoulement superficiel, comparativement à une perte estimée à 5 % dans les zones boisées (Scholz-Barth, 2001). En outre, les fortes précipitations dans les zones urbaines se traduisent rapidement par des pics du niveau des rivières, provoquant des inondations (Dunnett and Kingsbury, 2008).

La qualité de l'eau est également une question cruciale (Czemiel Berndtsson, 2010). L'écoulement des eaux de pluie urbaines polluées a, en effet, une incidence sur la qualité des eaux usées contaminées par les déversements industriels, les gaz d'échappement, les engrangements, les eaux usées résidentielles et industrielles et les déchets. Cette pollution constitue un risque pour la santé publique et l'environnement, de même que la réduction de la qualité de l'eau potable et l'insécurité des eaux de baignade (EPA, 2016).

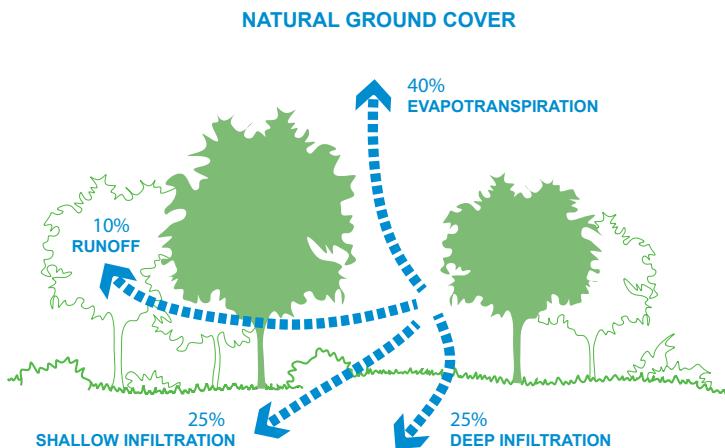
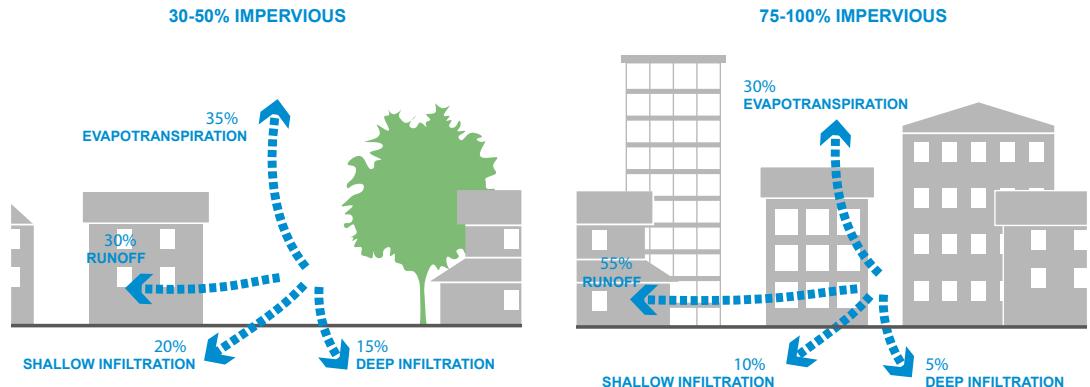


Figura 1.3.
Permeabilità delle superfici naturali e antropizzate
(fonte: US EPA, modificato).

Figure 1.3.
Permeabilité des surfaces naturelles et artificielles
(source: US EPA, modifié).



In definitiva, gli effetti delle piogge su superfici vegetate e su superfici impermeabili in aree edificate sono un fattore di importanza primaria, quindi la gestione delle acque piovane è tra le questioni più urgenti che devono essere affrontate nelle aree urbane. La gestione delle risorse idriche necessita di una attenta organizzazione, soprattutto all'interno degli ambienti urbani, dove è necessario risparmiare risorse idriche e controllare lo stato biologico e chimico dei flussi. Per questi motivi, le indicazioni comunitarie sono intese a limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo.

Con ‘impermeabilizzazione’ si intende la costante copertura di un’area di terreno e del relativo suolo con materiali impermeabili artificiali, come asfalto e cemento. La portata e la crescita del fenomeno sono, infatti, significativi, con ricadute negative sui servizi ecosistemici essenziali (ad esempio, produzione alimentare, assorbimento idrico, capacità di filtraggio e tamponamento del suolo), nonché sulla biodiversità. La capacità del suolo di immagazzinare acqua dipende da vari fattori, tra cui tessitura, struttura, profondità e contenuto di materia organica. Un suolo pienamente funzionante immagazzina fino a 3750 tonnellate per ettaro o circa 400 mm di precipitazioni (in altri termini, un metro cubo di suolo poroso può trattenere tra 100 e 300 litri di acqua).

En fin de compte, les effets des précipitations sur les surfaces végétalisées et sur les surfaces imperméables dans les zones construites sont d'une importance capitale, de sorte que la gestion des eaux pluviales est l'une des questions les plus urgentes qui doivent être traitées dans les zones urbaines. La gestion de l'eau nécessite une organisation rigoureuse, notamment en milieu urbain, où il est nécessaire d'économiser les ressources en eau et de contrôler l'état biologique et chimique des flux. Pour ces raisons, les lignes directrices communautaires visent à limiter, atténuer et compenser l'imperméabilisation des sols.

Le terme «imperméabilisation» désigne la couverture constante d'une surface de terrain et de son sol par des matériaux d'imperméabilisation artificiels, tels que l'asphalte et le ciment. L'ampleur et la croissance du phénomène sont importantes, avec des retombées négatives sur les services écosystémiques essentiels (par exemple la production alimentaire, l'absorption d'eau, la capacité de filtration et de tamponnement des sols), ainsi que sur la biodiversité. La capacité du sol à stocker l'eau dépend de différents facteurs, dont la texture, la structure, la profondeur et la teneur en matière organique. Un sol plein fonctionnel stocke jusqu'à 3750 tonnes par hectare ou environ 400 mm de précipitations (c'est-à-dire qu'un mètre cube de sol poreux peut contenir entre 100 et 300 litres d'eau).

L'impermeabilizzazione riduce l'assorbimento di pioggia nel suolo, in casi estremi impedendolo completamente, con una serie di effetti diretti sul ciclo idrogeologico, ma anche alcuni effetti indiretti sul microclima a livello di temperatura e umidità del suolo. I tre maggiori impatti diretti sull'acqua dovuti ad una maggiore impermeabilizzazione del suolo sono la riduzione del tasso di infiltrazione idrica (a basse ed elevate profondità), l'aumento dello scorrimento superficiale (con possibili inondazioni e inquinamento superficiale), e una minore evapotraspirazione nelle zone edificate.

Una pianificazione corretta necessita di un approccio integrato che richiede l'impegno completo di tutte le autorità pubbliche competenti, in particolare di quegli enti governativi (ad esempio comuni, provincie e regioni) di norma responsabili della gestione del territorio (European Commission, 2012). L'occupazione di suolo e l'impermeabilizzazione possono essere limitate attraverso la penetrazione del verde nelle aree metropolitane, contribuendo alla rigenerazione urbana e incoraggiando il recupero di terreni dismessi abbandonati all'interno delle aree urbane e il relativo ripristino ecologico.

Un aspetto molto interessante della gestione sostenibile delle acque urbane è la progettazione di infrastrutture verdi che include corridoi ecologici, contesti urbani e suburbani. Il ripristino dei sistemi idrici urbani può essere realizzato progettando nuovi sistemi di infiltrazione, ritenzione, evapotraspirazione e controllo del ciclo dell'acqua, attraverso la selezione della vegetazione e la corretta applicazione di tecniche costruttive compatibili. Sono molti i sistemi e le componenti di controllo adatti all'ambiente urbano che, quando correttamente pianificati progettati e man-

L'imperméabilisation réduit l'absorption de la pluie dans le sol, dans les cas extrêmes l'empêchant complètement, avec un certain nombre d'effets directs sur le cycle hydrogéologique, mais aussi certains effets indirects sur le microclimat au niveau de la température et de l'humidité du sol. Les trois principaux impacts directs sur l'eau dus à l'imperméabilisation accrue du sol sont la réduction du taux d'infiltration de l'eau (à faible et à grande profondeur), l'augmentation de l'écoulement superficiel (avec de possibles inondations et une pollution de surface) et la réduction de l'évapotranspiration dans les zones construites.

Une planification adéquate nécessite une approche intégrée qui exige l'engagement total de toutes les autorités publiques compétentes, en particulier des organismes gouvernementaux (par exemple, les municipalités, les provinces et les régions) normalement responsables de la gestion du territoire (European Commission, 2012). L'occupation et l'imperméabilisation des sols peuvent être limitées par la pénétration de la végétation dans les zones métropolitaines, qui contribue à la régénération urbaine et encourage la récupération des terres abandonnées dans les zones urbaines et leur réhabilitation écologique.

Un aspect très intéressant de la gestion durable de l'eau en milieu urbain est la conception d'infrastructures vertes qui comprennent des corridors écologiques et des contextes urbains et suburbains. La restauration des réseaux d'eau urbains peut être réalisée en concevant de nouveaux systèmes d'infiltration, de rétention, d'évapotranspiration et de contrôle du cycle de l'eau, en choisissant une végétation appropriée et en mettant correctement en œuvre des techniques de construction compatibles. Il existe de nombreux systèmes et composants de contrôle adaptés à l'environnement urbain qui, lorsqu'ils sont conçus et entretenus correctement, peuvent contribuer à la gestion durable des

tenuti, sono in grado di contribuire alla gestione sostenibile delle acque meteo-riche con benefici sociali, economici ed ambientali.

1.3 Caratteristiche meteorologiche del Territorio Marittimo

Adriano Magliocco

L'area transfrontaliera del Programma Marittimo IT-FR risulta caratterizzata da un'elevata omogeneità per quanto concerne i fenomeni meteorologici. Intensi fenomeni che si manifestano sulle aree marine nei pressi della Corsica e della Sardegna sempre più frequentemente impattano in maniera devastante sulle zone costiere dell'area transfrontaliera che sono storicamente esposte ad un elevato grado di rischio di alluvione e frana, soprattutto nei centri urbani in prossimità dei corsi d'acqua. I frequenti fenomeni estremi, come quelli verificatisi recentemente (triennio 2011-2014) in Costa Azzurra, Sardegna, Liguria, Toscana, presentano forti similitudini per dinamiche e impatti sui territori che si trovano ad affrontare criticità comuni.

Gli impatti più rilevanti nei prossimi decenni saranno conseguenti all'innalzamento eccezionale delle temperature (soprattutto estive), all'aumento della frequenza degli eventi meteorologici estremi (onde di calore, siccità episodi di precipitazioni intense) e alla riduzione delle precipitazioni annuali medie e dei flussi fluviali annui. Gli eventi estremi di precipitazione potranno essere più intensi e concentrati in periodi brevi, come già evidente dai dati osservativi degli ultimi decenni. Per eventi estremi si intendono quelli in cui le variabili climatiche superano una soglia vicina ai valori osservati più alti o più bassi. Questa soglia può essere definita da intensità (ad es. temperature superiori a 40° C)

eaux de pluie avec des avantages sociaux, économiques et environnementaux.

1.3 Caractéristiques météorologiques du Territoire Maritime

Adriano Magliocco

La zone transfrontalière du Programme IT-FR Maritime est caractérisée par une forte homogénéité en ce qui concerne les phénomènes météorologiques. Les phénomènes intenses qui se produisent dans les zones marines proches de la Corse et de la Sardaigne ont de plus en plus fréquemment un impact dévastateur sur les zones côtières de la région transfrontalière qui sont historiquement exposées à un degré élevé de risque d'inondation et de glissement de terrain, en particulier dans les centres urbains proches des cours d'eau. Les phénomènes extrêmes fréquents, tels que ceux qui se sont vérifiés récemment (2011-2014) sur la Côte d'Azur, en Sardaigne, en Ligurie, en Toscane, présentent de fortes similitudes en termes de dynamiques et d'impacts sur les territoires qui sont confrontés à des problèmes communs.

Les impacts les plus importants des chaînes décennies seront dus à la hausse exceptionnelle des températures (surtout en été), à l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses, épisodes de fortes pluies) et à la réduction des précipitations annuelles moyennes et du débit annuel des rivières. Les précipitations extrêmes peuvent être plus intensives et concentrées sur de courtes périodes, comme le montrent déjà les données d'observation des dernières décennies. Les événements extrêmes sont ceux où les variables climatiques dépassent un seuil

o frequenza di occorrenza (ad es. eventi con un periodo di ritorno di 10, 20 o 30 anni). A livello globale, è considerato quasi certo che la frequenza e l'intensità delle temperature massime aumenteranno e che quelle minime estreme diminuiranno (Field and Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012).

I cambiamenti climatici tendono ad accentuare criticità già presenti negli insediamenti urbani e pertanto il tema dell'adattamento deve essere integrato in tutte le politiche e azioni di governo del territorio (Ministero dell'Ambiente, 2014). In Europa le principali fonti scientifiche per la valutazione degli impatti e della vulnerabilità ai cambiamenti climatici concordano che nei prossimi decenni la regione europea e mediterranea dovrà far fronte a impatti dei cambiamenti climatici particolarmente negativi, i quali, combinandosi agli effetti dovuti alle pressioni antropiche sulle risorse naturali, fanno dell'Europa meridionale e del Mediterraneo le aree più vulnerabili d'Europa (Ministero dell'Ambiente, 2014). Le piogge potrebbero essere, infatti, meno frequenti ma più intense: la pressione del vapore di saturazione aumenta con la temperatura dell'aria, quindi l'aria più calda può contenere un maggiore quantitativo di acqua e durante un evento piovoso, di conseguenza, potrebbe cadere un maggior quantitativo di pioggia. Pertanto, per tutti gli scenari, il 50% dei modelli simula un aumento della frequenza delle piogge intense, ma la dispersione tra i modelli è forte e alcuni simulano una diminuzione della frequenza di questi eventi. Il massimo cumulativo di piogge dovrebbe aumentare, così come le superfici interessate da piogge estreme. Picchi di calore con un periodo di ritorno di 20 anni potrebbero avere un periodo di ritorno da 2 a 10 anni nel 2050 e da 1 a 7 anni negli anni 2081 - 2100, a seconda dello scenario e del model-

proche des valeurs les plus élevées ou les plus basses observées. Ce seuil peut être défini par l'intensité (par ex. températures supérieures à 40 °C) ou la fréquence d'occurrence (par ex. événements dont la période de retour est de 10, 20 ou 30 ans). Au niveau mondial, il est presque certain que la fréquence et l'intensité des températures maximales vont augmenter et que les températures minimales extrêmes vont diminuer (Field and Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012).

Les changements climatiques tendent à accentuer les problèmes critiques déjà présents dans les établissements urbains et la question de l'adaptation doit donc être intégrée dans toutes les politiques et actions de gouvernance territoriale (Ministère dell'Ambiente, 2014). En Europe, les principales sources scientifiques d'évaluation des impacts et de la vulnérabilité aux changements climatiques conviennent que les régions européennes et méditerranéennes seront confrontées à des impacts particulièrement négatifs des changements climatiques dans les décennies à venir, qui, combinés aux effets des pressions anthropiques sur les ressources naturelles, font du sud de l'Europe et de la Méditerranée les régions les plus vulnérables d'Europe. (Ministère dell'Ambiente, 2014). Les précipitations peuvent être moins fréquentes mais plus intenses: la pression de la vapeur de saturation augmente avec la température de l'air, donc l'air plus chaud peut contenir une plus grande quantité d'eau et pendant un événement pluvieux, par conséquent, une plus grande quantité de pluie peut tomber. Par conséquent, pour tous les scénarios, 50 % des modèles simulent une augmentation de la fréquence des fortes précipitations, mais la dispersion entre les modèles est forte et certains simulent une diminution de la fréquence de ces événements. Les précipitations maximales cumulées devraient augmenter, de même que les zones touchées par des précipitations extrêmes. Les pics de cha-

lo considerato. In estate, il numero di giorni torridi dovrebbe essere in forte aumento, in base ai risultati di Set di simulazioni (Field and Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012).

A causa del clima mediterraneo e delle caratteristiche geomorfologiche, le regioni dell'ambiente Marittimo IT-FR sono inoltre soggette, in particolare durante le abbondanti piogge primaverili o autunnali, a rischi significativi di alluvioni. Queste alluvioni sono spesso localizzate ma a volte molto intense; i rischi sono localizzati in alcune aree, principalmente nelle aree vallive dei bacini, dove l'urbanizzazione è concentrata e dove un violento temporale può far salire il livello dell'acqua dei torrenti in tempi rapidi (anche meno di un'ora). Queste regioni sono anche spesso interessate da un forte deflusso, sia a causa dell'impermeabilizzazione dei suoli in alcune aree altamente urbanizzate che a causa dell'abbandono delle attività agricole sui versanti collinari (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2012).

PACA e Corsica

Per quanto riguarda gli impatti dei cambiamenti climatici nel settore idrico sui bacini del Rodano-Mediterraneo e della Corsica, tra il 1970 e il 2006, non appare nessuna tendenza significativa. Infatti, le precipitazioni estive sono in diminuzione, mentre quelle di novembre sono in aumento (Chaouche et al., 2010). Il 2014 è risultato essere uno degli inverni più piovosi degli ultimi 60 anni (Figure 1.4, 1.5, 1.6, 1.7). La dispersione dei risultati secondo il modello di cambiamento climatico e quindi l'incertezza sull'evoluzione delle precipitazioni sono forti. Tuttavia entro il 2050 i diversi modelli convergono verso una diminuzione delle precipitazioni medie annuali (da -2 a -25%), ma secondo alcuni scenari anche verso un aumento di 10 volte del numero di giorni di ondate di calore al

leur avec une période de retour de 20 ans pourraient avoir une période de retour de 2 à 10 ans en 2050 et de 1 à 7 ans dans les années 2081 à 2100, selon le scénario et le modèle considérés. En été, le nombre de journées torrides devrait augmenter fortement, selon les résultats de séries de simulations (Field and Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012).

En raison du climat méditerranéen et des caractéristiques géomorphologiques, les régions de l'environnement Maritime IT-FR sont également exposées à d'importants risques d'inondation, notamment lors des très fortes pluies de printemps ou d'automne. Ces inondations sont souvent localisées mais parfois très intenses; les risques sont localisés dans certaines zones, principalement dans les vallées des bassins, où l'urbanisation est concentrée et où un violent orage peut éléver le niveau des torrents en peu de temps (même moins d'une heure). Ces régions sont aussi souvent touchées par un fort écoulement, à la fois en raison de l'imperméabilisation des sols dans certaines zones fortement urbanisées et en raison de l'abandon des activités agricoles sur les coteaux (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2012).

PACA et Corse

En ce qui concerne les impacts du changement climatique dans le secteur de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et de la Corse, entre 1970 et 2006, aucune tendance significative n'apparaît en fait, les précipitations estivales diminuent, tandis que les précipitations de novembre augmentent (Chaouche et al., 2010). 2014 a été l'un des hivers les plus pluvieux des 60 dernières années (Figures 1.4, 1.5, 1.6, 1.7). La dispersion des résultats selon le modèle du changement climatique et donc l'incertitude sur l'évolution des précipitations sont fortes. Cependant, d'ici 2050, les différents modèles convergent vers une diminution des précipitations moyennes annuelles (de -2 à -25 %), mais selon certains scénarios

2080. Gli episodi di siccità estiva potrebbero essere 1,5 volte più lunghi (Deque, 2007). Ad esempio, già l'estate 2017 si è caratterizzata per un clima estremamente secco superiore in rapporto alla media stagionale di riferimento 1981-2010 (Figura 1.8).

également vers un décuplement du nombre de jours de canicule d'ici 2080. Les épisodes de sécheresse estivale pourraient être 1,5 fois plus longs (Deque, 2007). Par exemple, l'été 2017 était déjà caractérisé par un climat extrêmement sec, supérieur à la moyenne saisonnière de référence pour 1981-2010 (Figure 1.8).

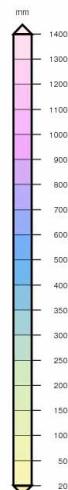
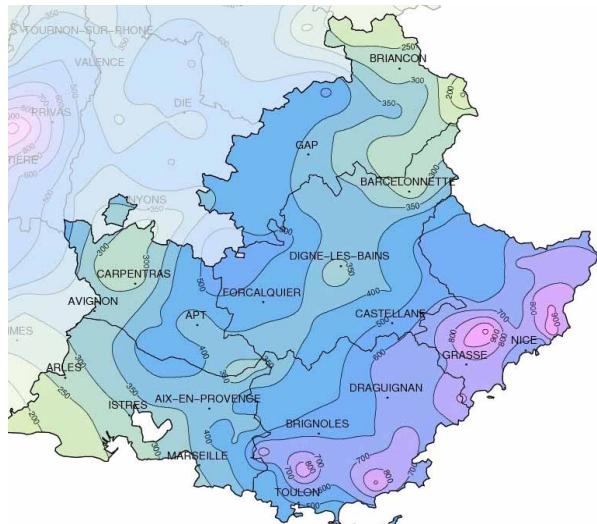


Figura 1.4.

Bilancio climatico inverno 2013-2014 zona PACA - cumulo stagionale delle precipitazioni inverno 2014

(Fonte: Meteo France)

Figure 1.4.

Bilan climatique hiver 2013-2014 zone PACA - accumulation saisonnière des précipitations hiver 2014

(Source: Meteo France)

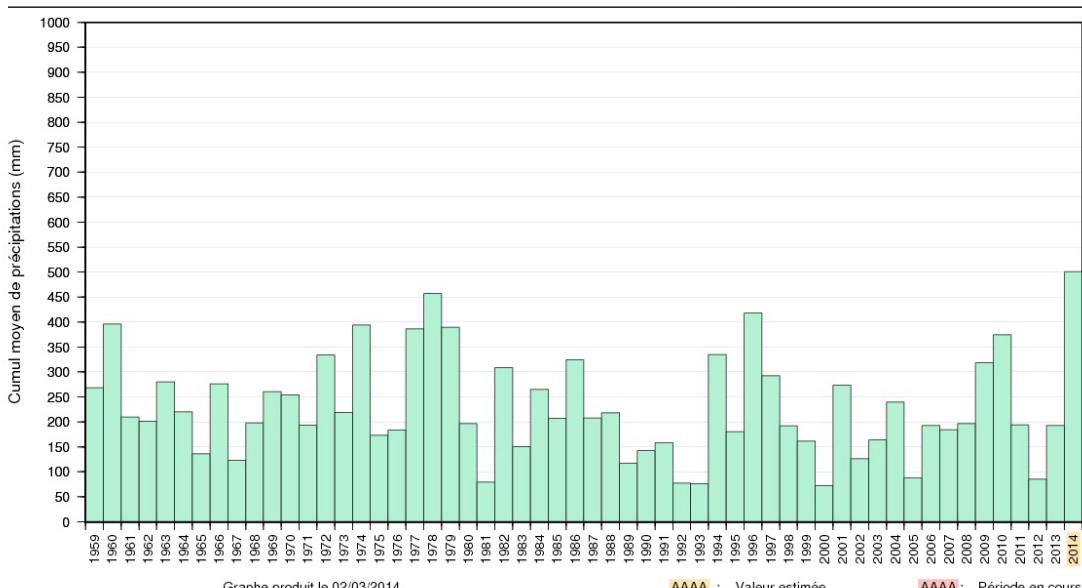


Figura 1.5. Grafico delle precipitazioni cumulate medie invernali dal 1959 nella regione PACA (Météo France)

Figure 1.5. Graphique des précipitations hivernales cumulées moyennes depuis 1959 en région PACA (Météo France)

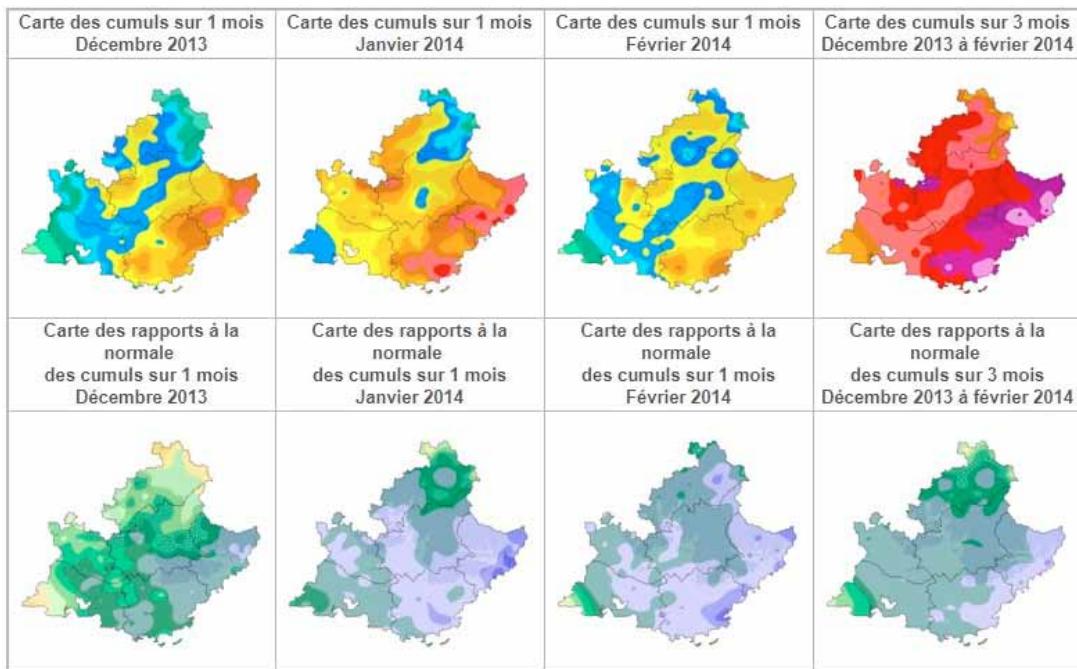


Figura 1.6.
 Precipitazione cumulata (mm) invernale 2014

Figure 1.6.
 Précipitations cumulées (mm) de l'hiver 2014

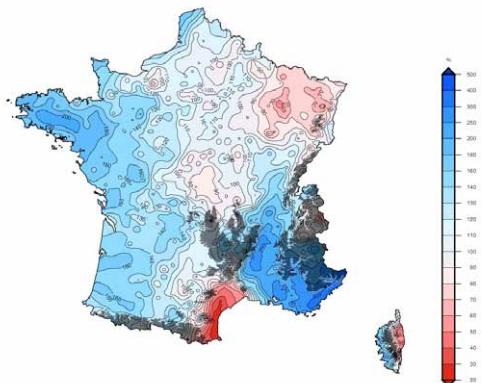


Figura 1.7. Cumulo di precipitazioni invernali 2014 in rapporto alla media stagionale di riferimento 1981-2010 (Météo France)

Figure 1.7. Cumul des précipitations hivernales 2014 par rapport à la moyenne saisonnière de référence 1981-2010 (Météo France)

Per quanto riguarda la Corsica, mentre in Francia nell'inverno 2017 le precipitazioni hanno registrato un deficit di oltre il 40% (con gennaio 2017 tra i mesi più secchi nel periodo 1959-2017), le piogge registrate sono state sopra la media.

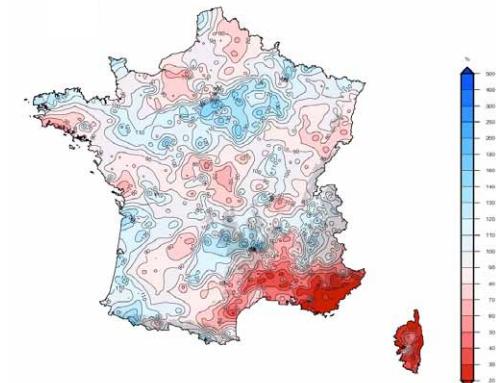


Figura 1.8. Cumulo di precipitazioni estate 2017 in rapporto alla media stagionale di riferimento 1981-2010 (Météo France)

Figure 1.8. Cumul des précipitations estivales 2017 par rapport à la moyenne saisonnière de référence 1981-2010 (Météo France)

En ce qui concerne la Corse, alors qu'en France, pendant l'hiver 2017, les précipitations ont enregistré un déficit de plus de 40% (janvier 2017 étant l'un des mois les plus secs de la période 1959-2017), les précipitations enregistrées étaient supérieures à la moyenne.

Gli accumuli di precipitazioni sono esplosi nella regione con oltre 900 mm registrati localmente (Figura 1.9).

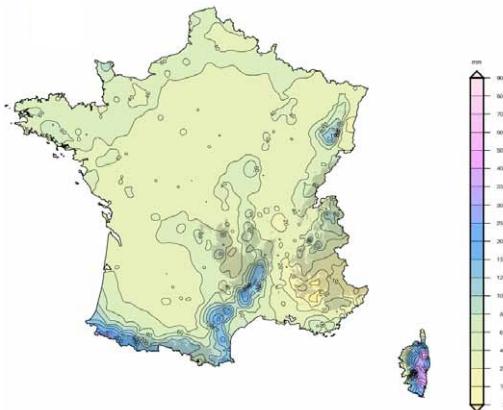


Figura 1.9. Cumulo mensile di precipitazioni gennaio 2017 (Météo France)

Figure 1.9. Accumulation mensuelle des précipitations janvier 2017 (Météo France)

Les accumulations de précipitations ont explosé dans la région avec plus de 900 mm enregistrés localement (Figure 1.9).

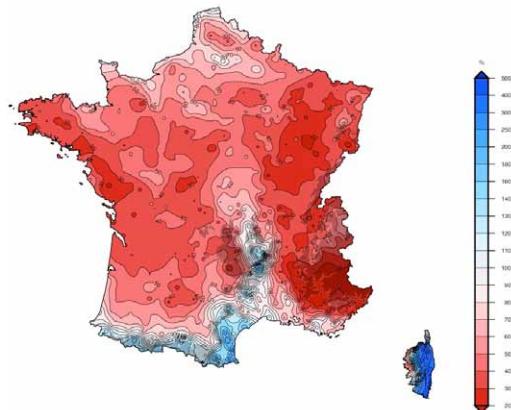


Figura 1.10. Rapporto dei cumuli di precipitazioni (gennaio 2017) con la media mensile di riferimento 1981-2010 (Météo France)

Figure 1.10. Ratio des accumulations de précipitations (janvier 2017) par rapport à la moyenne mensuelle de référence 1981-2010 (Météo France)

Météo France ha evidenziato il rapporto tra le precipitazioni tra la media mensile e quelle registrate a gennaio 2017. Rispetto a queste misure, in Corsica c'è stato un aumento di quasi il 500% (Figura 1.10). In particolare in tre giorni, dal 21 al 24 gennaio 2017, le precipitazioni cumulative hanno superato i 200 mm vicino a Felce e nella metà orientale della Corsica meridionale (Figura 1.11).

Météo France a mis en exergue le rapport entre les précipitations moyennes mensuelles et celles enregistrées en janvier 2017. Par rapport à ces mesures, on observe une augmentation de près de 500 % en Corse (Figure 1.10). En particulier, en trois jours, du 21 au 24 janvier 2017, les précipitations cumulées ont dépassé 200 mm près de Felce et dans la moitié est du sud de la Corse (Figure 1.11).

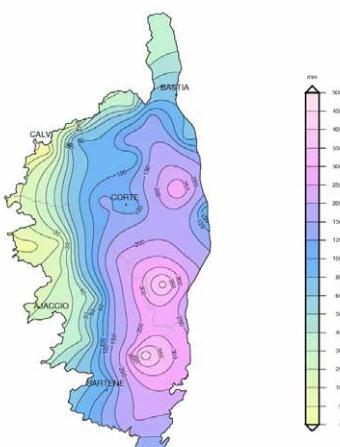


Figura 1.11. Cumulo delle precipitazioni 21-24 gennaio 2017 (Météo France)

Figure 1.11. Cumul des précipitations 21-24 janvier 2017 (Météo France)

Liguria

I dati elaborati da ARPAL e riportati nell'Atlas climatico della Liguria (Agrillo and Bonati, 2013) mostrano rilevanti differenze stagionali in termini di precipitazione cumulata. Le precipitazioni sono concentrate nella stagione autunnale, con il resto dell'anno che si caratterizza per un clima più secco (Figure 1.12 a,b,c,d,e).

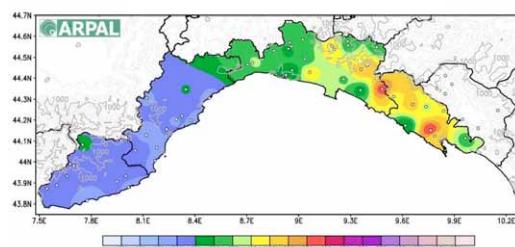


Figura 1.12a. precipitazione cumulata (mm) media invernale 1981-2010

Figure 1.12a. précipitations cumulées (mm) moyennes hivernales 1981-2010

Ligurie

Les données traitées par l'ARPAL et reprises dans l'Atlas Climatique de la Ligurie (Agrillo and Bonati, 2013) montrent des différences saisonnières significatives en termes de précipitations cumulées. Les précipitations sont concentrées en automne, le reste de l'année étant caractérisé par un climat plus sec (figures 1.12a, b, c, d, e).

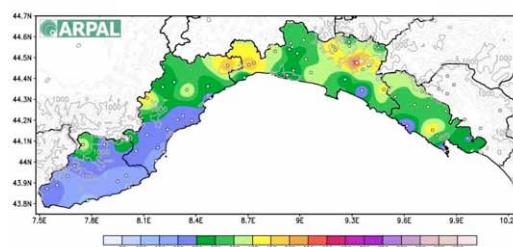


Figura 1.12b. precipitazione cumulata (mm) media primaverile 1981-2010

Figure 1.12b. précipitations cumulées (mm) moyennes printanières 1981-2010

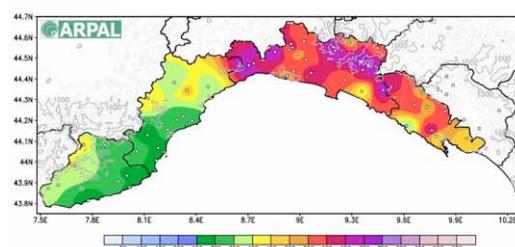


Figura 1.12c. precipitazione cumulata (mm) media autunnale 1981-2010

Figure 1.12c. précipitations cumulées (mm) moyennes automnales 1981-2010

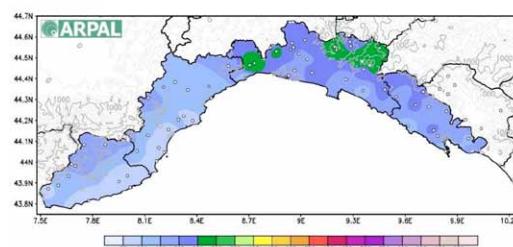


Figura 1.12d. precipitazione cumulata (mm) media estiva 1981-2010

Figure 1.12d. précipitations cumulées (mm) moyennes estivales 1981-2010

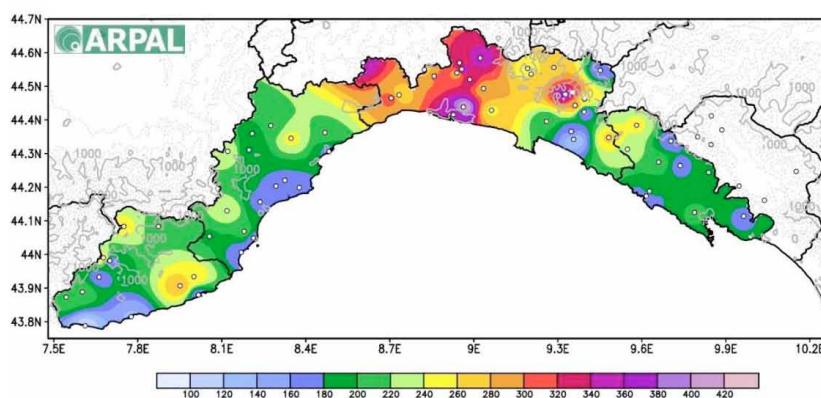


Figura 1.12e.
quantità di pioggia max giornaliera (mm) per T=50 anni

Figure 1.12e.
quantité de pluie max journalière (mm) pour T=50 ans

Toscana

Per quanto riguarda le precipitazioni, a livello stagionale ed annuale queste vanno verso una lieve diminuzione, anche se raramente significativa dal punto di vista statistico. Questo fatto è dovuto principalmente alla diminuzione delle precipitazioni nel periodo invernale e primaverile. Gli eventi precipitativi intensi hanno fatto registrare aumenti importanti ed è stato notato inoltre, per quanto riguarda le precipitazioni totali, un chiaro aumento degli eventi più intensi e un calo di quelli meno intensi (Consorzio LaMMA, 2015). Recentemente si alternano, più di prima, anni con forte carenza idrica ad anni con forte disponibilità idrica (Consorzio LaMMA, 2015) (Figure 1.13 e 1.14).

Toscane

En ce qui concerne les précipitations, au niveau saisonnier et annuel, celles-ci présentent une légère diminution, même si cette dernière est rarement significative statistiquement. Ceci est principalement dû à la diminution des précipitations en hiver et au printemps. Les épisodes de précipitations intenses ont connu des augmentations significatives et, en termes de précipitations totales, une nette augmentation des épisodes les plus intenses et une diminution des moins intenses ont également été observées (Consorzio LaMMA, 2015). Plus récemment, des années de graves pénuries d'eau et des années de forte disponibilité d'eau se sont alternées (Consorzio LaMMA, 2015) (Figures 1.13 et 1.14).

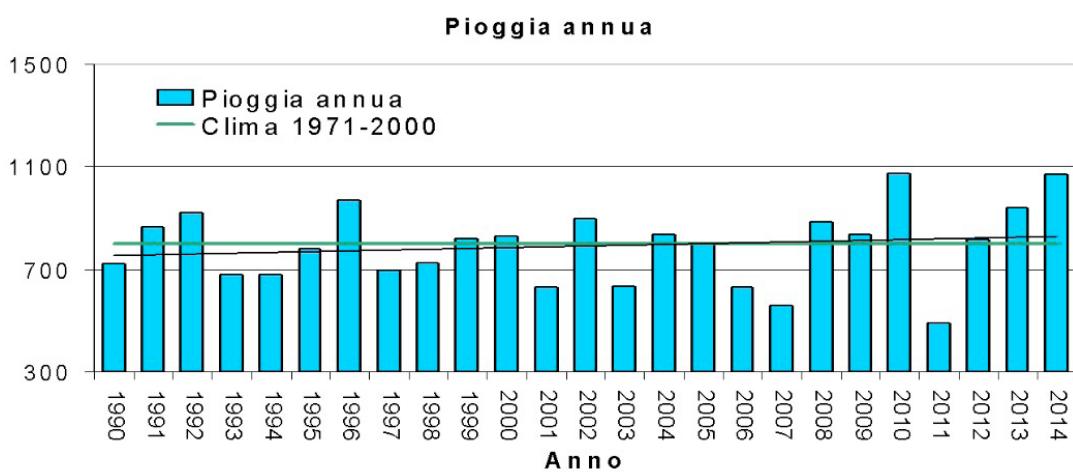


Figura 1.13. pioggia cumulata annua. È indicata la linea di tendenza nel tempo (linea nera) e la pioggia "normale" di riferimento (linea verde) relativa al periodo 1971-2000 (Consorzio LaMMA, 2015)

Figure 1.13. pluie cumulée annuelle. La ligne de tendance dans le temps (ligne noire) et la pluie «normale» de référence (ligne verte) pour la période 1971-2000 sont indiquées (Consorzio LaMMA, 2015)

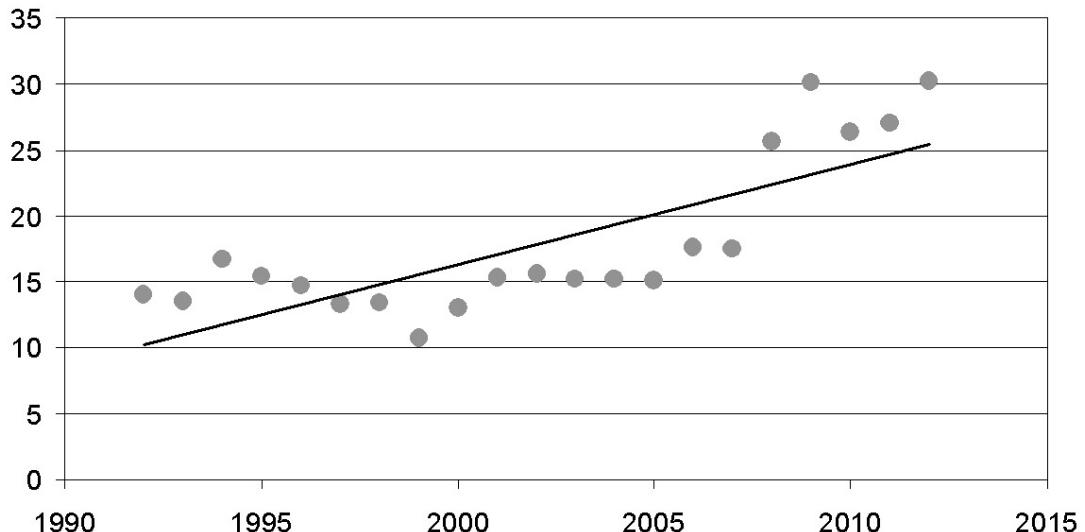
Variabilità di anno in anno del cumulato di pioggia annuale

Figura 1.14. Deviazione standard su base quinquennale delle anomalie di pioggia annuale. È indicata la linea di tendenza nel tempo (linea nera)

Figure 1.14. Écart-type sur une base quinquennale des anomalies de pluie annuelle. La ligne de tendance dans le temps (ligne noire) est indiquée.

Sardegna

Le precipitazioni registrate nel 2016 hanno raggiunto valori totali compresi tra minimi di circa 350-400 mm di alcune località costiere del versante occidentale (es. Sant'Antioco, Stintino) e poco meno di 1200 mm del Gennargentu, inferiori alla media climatica trentennale (1971-2000) nella maggior parte dell'isola. In alcune aree della Sardegna Sudoccidentale le piogge si collocano tra il 60 e l'80% della media climatica, mentre nella parte centro-settentrionale del versante orientale la percentuale supera il 100% con picchi oltre il 120% nel Gennargentu. I mesi più piovosi sono stati febbraio, novembre e dicembre, quello meno piovoso agosto. Nel mese di dicembre in alcune località si sono raggiunti cumulati compresi tra 400 e 500 mm. Le piogge di gennaio sono state deficitarie nella maggior parte del territorio regionale, in particolare nella parte meridionale ed orientale, dove in alcuni casi i cumulati mensili hanno

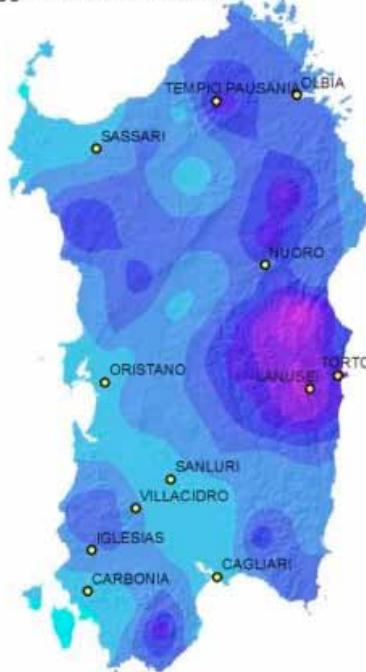
Sardaigne

Les précipitations enregistrées en 2016 ont atteint des valeurs totales comprises entre les minimums d'environ 350-400 mm de certaines localités côtières du versant ouest (par exemple Sant'Antioco, Stintino) et un peu moins de 1200 mm de Gennargentu, inférieures à la moyenne climatique de trente ans (1971-2000) dans une grande partie de l'île. Dans certaines zones du sud-ouest de la Sardaigne, les précipitations se situent entre 60 et 80% du climat moyen, tandis que dans la partie centre-nord du côté Est, le pourcentage dépasse 100% avec des pics de plus de 120% dans la zone de Gennargentu. Les mois les plus pluvieux ont été février, novembre et décembre, le moins pluvieux en août. En décembre, dans certaines localités, un total de 400 à 500 mm a été atteint. Les pluies en janvier ont été insuffisantes dans la majeure partie de la région, en particulier dans le sud et l'est, où, dans certains cas, le cumul mensuel a atteint environ 20 mm, ce qui représente

raggiunto circa 20 mm, risultando inferiori alla metà della media climatica. In febbraio, al contrario, le piogge sono state abbondanti, soprattutto sui settori centrale e nord-occidentale dell'Isola. Sul settore centrale i cumulati hanno raggiunto valori compresi tra 150 mm e 250 mm, pari a circa 2-3 volte la media climatica di riferimento (Figura 1.15) (Arpas, 2017).

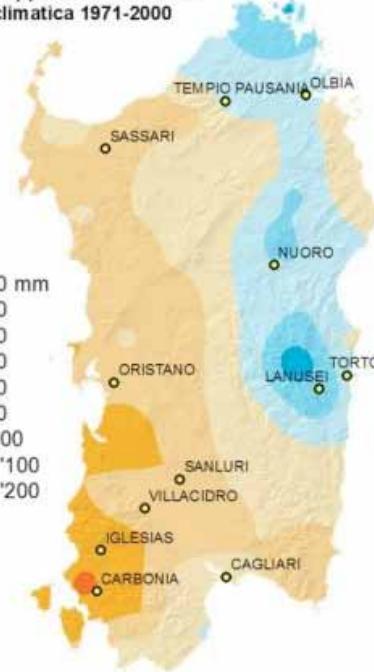
moins de la moitié de la moyenne climatique. En février, au contraire, les pluies ont été abondantes, en particulier dans les secteurs du centre et du nord-ouest de l'île. Dans le secteur central, les valeurs cumulées ont atteint des valeurs comprises entre 150 mm et 250 mm, soit environ 2-3 fois la moyenne climatique de référence (Figure 1.15) (Arpas, 2017).

Piogge annuali - Anno 2016



350 - 400 mm
401 - 500
501 - 600
601 - 700
701 - 800
801 - 900
901 - 1'000
1'001 - 1'100
1'101 - 1'200

Rapporto con la media climatica 1971-2000



0.50 - 0.7
0.71 - 0.8
0.81 - 0.9
0.91 - 1.0
1.01 - 1.1
1.11 - 1.2
1.21 - 1.3
1.31 - 1.5

Figura 1.15. Cumulato annuo di precipitazione (mm) per il 2016 e rapporto con la media climatologica 1971-2000

Figure 1.15. Précipitations annuelles cumulées (mm) pour 2016 et rapport à la moyenne climatique 1971-2000



2

Infrastru^rture verdi

Infrastructures vertes



2.1

Infrastrutture verdi: benefici e servizi ecosistemici

Katia Perini

Il termine green infrastructure (GI) è stato utilizzato per la prima volta in Florida nel 1994, in un documento riguardante le strategie di salvaguardia del territorio (Firehock, 2010). Le GI comprendono reti naturali, semi-naturali e artificiali di sistemi ecologici multifunzionali, fra cui è possibile citare: corsi d'acqua, aree umide, boschi, parchi, percorsi ciclo-pedonali, etc., che contribuiscono al miglioramento della salute delle qualità della vita delle comunità e delle persone (Benedict et al., 2006; European Commission, 2010; Tzoulas et al., 2007). Possono, dunque, essere definite "interconnected network of green space that conserves natural ecosystem values and functions and provides associated benefits to human populations" (Benedict and McMahon, 2001).

Le infrastrutture verdi sono annoverate tra le strategie nature-based di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico, poiché sono in grado di migliorare la qualità ambientale ed ecologica anche in aree densamente costruite. Le Nature-based solutions sono definite dalla Commissione Europea come azioni ispirate, supportate o copiate dalla natura; sfruttando i complessi processi della natura, come per esempio la capacità di immagazzinare carbonio o di regolare il flusso dell'acqua, riducono i rischi legati al cambiamento climatico e migliorano il benessere (Publications Office of the European Union, 2015). Le GI possono, infatti, contribuire a limitare gli effetti negativi dei rischi legati al clima, fra cui precipitazioni estreme, allagamenti, alluvioni, migliorando la resilienza delle comunità (UNISDR, 2015).

2.1

Infrastructures vertes: avantages et services écosystémiques

Katia Perini

Le terme green infrastructure (en français: Infrastructures vertes, IV) a été utilisé pour la première fois en Floride en 1994 dans un document sur les stratégies de protection du territoire (Firehock, 2010). Les IV comprennent des réseaux naturels, semi-naturels et artificiels de systèmes écologiques polyvalents, notamment des cours d'eau, des zones humides, des forêts, des parcs, des pistes cyclables, etc. qui contribuent à améliorer la santé et la qualité de vie des communautés et des personnes (Benedict et al., 2006; European Commission, 2010; Tzoulas et al., 2007). Elles peuvent donc être définies comme «un réseau interconnecté d'espaces verts qui conserve les valeurs et les fonctions des écosystèmes naturels et procure des avantages connexes aux populations humaines» (Benedict and McMahon, 2001).

Les infrastructures vertes font partie des stratégies naturelles d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, car elles sont en mesure d'améliorer la qualité de l'environnement et de l'écologie même dans les zones densément bâties. Les Nature-based solutions (solutions fondées sur la nature) sont définies par la Commission européenne comme des actions inspirées, soutenues ou copiées par la nature; en exploitant les processus complexes de la nature, tels que la capacité de stocker le carbone ou de réguler le flux de l'eau, elles réduisent les risques associés au changement climatique et améliorent le bien-être (Publications Office of the European Union, 2015). En fait, les IV peuvent contribuer à limiter les effets négatifs des risques liés au climat, tels que les précipitations extrêmes et les inondations, en améliorant la résilience des collectivités (UNISDR, 2015).

La Comunicazione del 2013 della European Commission, intitolata "Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital", afferma che le infrastrutture verdi strategicamente progettate e gestite forniscono servizi ecosistemici su vasta scala. Secondo l'Environmental Protection Agency (EPA, l'Agenzia di protezione ambientale) degli Stati Uniti le GI sono "an effective response to a variety of environmental challenges that is cost-effective, sustainable, and provides multiple desirable environmental outcomes" (New York City Department of Environmental Protection, 2010).

Le diverse definizioni che si possono trovare in letteratura dipendono principalmente dalla scala di intervento considerata: a scala regionale, le infrastrutture verdi possono delineare reti di spazi aperti multifunzionali. A scala locale, costituiscono un approccio sostenibile per la gestione dell'acqua meteorica che mima i processi idrologici naturali (Rouse, 2013). A livello di comunità, le infrastrutture verdi possono essere pianificate come un sistema di percorsi ciclo-pedonali (greenways) che collegano parchi pubblici, mentre a scala regionale, le infrastrutture verdi possono essere utilizzate per migliorare e proteggere i collegamenti esistenti fra le risorse naturali, come foreste e pianure, habitat naturale di specie animali.

La multifunzionalità delle infrastrutture verdi costituisce uno degli aspetti più interessanti: i benefici ambientali comprendono la conservazione della biodiversità e l'adattamento ai cambiamenti climatici; i benefici sociali riguardano la gestione dell'acqua meteorica e la creazione di spazi verdi (European Environmental Agency, 2015). Rispetto alle infrastrutture tradizionali, le soluzioni Nature-based possono costituire alternative sostenibili dal punto di vista am-

La Communication de 2013 de la Commission Européenne, intitulée «*Infrastructure verte — Renforcer le capital naturel de l'Europe*», affirme que les infrastructures vertes conçues et gérées fournissent des services écosystémiques à grande échelle. Selon l'Environmental Protection Agency (EPA, l'Agence de protection environnementale des Etats-Unis), les IV sont «an effective response to a variety of environmental challenges that is cost-effective, sustainable, and provides multiple desirable environmental outcomes» (une réponse efficace à une variété de défis environnementaux qui est rentable, durable et fournit de multiples résultats environnementaux souhaitables. (New York City Department of Environmental Protection, 2010).

Les différentes définitions que l'on trouve dans la littérature dépendent principalement de l'échelle d'intervention considérée: à l'échelle régionale, les infrastructures vertes peuvent dessiner des réseaux d'espaces ouverts polyvalents. A l'échelle locale, ces IV constituent une approche durable de la gestion des eaux pluviales qui imite les processus hydrologiques naturels (Rouse, 2013). Au niveau communautaire, l'infrastructure verte peut être planifiée comme un système de pistes cyclables et de parcours pour piétons (greenways) reliant des parcs publics, tandis qu'à l'échelle régionale, l'infrastructure verte peut être utilisée pour améliorer et protéger les liens existants entre les ressources naturelles, comme les forêts et les plaines, les habitats naturels des espèces animales.

La multifonctionnalité des infrastructures vertes est l'un des aspects les plus intéressants: les avantages environnementaux incluent la conservation de la biodiversité et l'adaptation au changement climatique; les avantages sociaux incluent la gestion des eaux de pluie et la création d'espaces verts (European Environmental Agency, 2015). Par rapport aux infrastructures traditionnelles, les solutions Nature-based peuvent

bientale ed economico, oltre ad essere multifunzionali e flessibili (European Commission, 2015). Le GI migliorano il bilancio idrico delle acque, riducono lo scorrimento superficiale, l'erosione del terreno, migliorano la qualità dell'acqua piovana, tutti servizi ecosistemici fondamentali per l'ambiente urbano.

Sono molte le città di tutto il mondo dove la conservazione transdisciplinare dei servizi ecosistemici urbani e la gestione dell'acqua costituiscono i principi fondamentali per la progettazione urbana (Perini and Sabbion, 2017). L'integrazione di infrastrutture verdi non solo migliora l'approvvigionamento dell'acqua e previene allagamenti, ma fornisce anche benefici importanti per la salute e la qualità della vita dei cittadini. Per esempio, a Malmö (Svezia, Figura 2.1), la rigenerazione urbana del quartiere Augustenborg è stata spinta inizialmente dall'intento di gestire il rischio di alluvioni ma ha anche migliorato la vivibilità degli spazi aperti della città (Kazmierczak and Carter, 2010).

représenter des alternatives durables sur les plans environnemental et économique, tout en étant multifonctionnelles et flexibles (European Commission, 2015). Les IV améliorent l'équilibre hydrique, réduisent l'écoulement superficiel, l'érosion des sols et améliorent la qualité des eaux de pluie, tous des services écosystémiques essentiels pour l'environnement urbain.

Il existe de nombreuses villes dans le monde où la conservation transdisciplinaire des services écosystémiques urbains et la gestion de l'eau sont des principes fondamentaux de la conception urbaine (Perini and Sabbion, 2017). L'intégration des infrastructures vertes améliore non seulement l'approvisionnement en eau et prévient les inondations, mais elle apporte également des avantages importants pour la santé et la qualité de vie des personnes. Par exemple, à Malmö (Suède, Figure 2.1), le renouvellement urbain dans le district d'Augustenborg a d'abord été motivé par la volonté de gérer les risques d'inondation mais aussi d'améliorer la qualité de vie dans les espaces ouverts de la ville (Kazmierczak and Carter, 2010).



Figura 2.1. Augustenborg, Malmö
(foto di Antonina Manzo).



Figure 2.1. Augustenborg, Malmö
(photo d'Antonina Manzo).

Figura 2.2. Copertura verde e bacini per la fitodepurazione, Avignone (Francia)

Figure 2.2. Toiture végétalisée et bassins de phytodépuration, Avignon (France)

Servizi ecosistemici

Gli ecosistemi terrestri forniscono molti servizi vitali per la nostra sopravvivenza. La capacità degli ecosistemi di continuare in futuro a fornire questi servizi dipende dai cambiamenti socioeconomici, dall'uso del suolo, dalla biodiversità, dalla composizione dell'atmosfera e dal clima (Costanza et al., 1992; Metzger et al., 2006).

L'importanza dei servizi forniti dagli ecosistemi per la salute umana sembra più evidente nelle città, poiché i centri urbani dipendono dai benefici offerti da ambienti naturali in salute (Derkzen et al., 2015). Questi, definiti servizi ecosistemici, comprendono acqua potabile, aria pulita, cibo salutare, protezione dalle alluvioni (TEEB, 2011). Inoltre, i servizi ecosistemici riducono l'inquinamento atmosferico e il surriscaldamento causato dall'urbanizzazione e dall'uso del suolo (Larondelle and Haase, 2013).

Nel 2013 la Commissione Europea afferma che le infrastrutture verdi sono una rete pianificata strategicamente di sistemi naturali e semi naturali progettata e gestita per fornire diversi servizi ecosistemici (European Commission, 2013). Pertanto, una progettazione dello spazio verde urbano mirata è di fondamentale importanza per mantenere e ripristinare servizi ecosistemici sistemi urbani salutari e resilienti al cambiamento climatico.

L'agenzia di protezione ambientale americana (US-EPA) sottolinea che le infrastrutture verdi hanno un ruolo fondamentale nella gestione dell'acqua "Green infrastructure involves the use of landscape features to store, infiltrate, and evaporate stormwater. This reduces the amount of water draining into sewers and helps to lower the discharge of pollutants into water bodies in that area. Examples of green infrastructure include rain gardens, swales, constructed wetlands, and permeable pavements" (EPA, 2011).

Services écosystémiques

Les écosystèmes terrestres fournissent de nombreux services cruciaux pour notre survie. La capacité des écosystèmes à continuer de fournir ces services à l'avenir dépend des changements socio-économiques, de l'utilisation des terres, de la biodiversité, de la composition atmosphérique et du climat (Costanza et al., 1992; Metzger et al., 2006).

L'importance des services écosystémiques pour la santé humaine semble plus évidente dans les villes, car les centres urbains dépendent des avantages offerts par des environnements naturels sains (Derkzen et al., 2015). Ces services, appelés services écosystémiques, comprennent l'eau potable, l'air pur, une alimentation saine et la protection contre les inondations (TEEB, 2011). De plus, les services écosystémiques réduisent la pollution atmosphérique et la surchauffe causées par l'urbanisation et l'utilisation des terres (Larondelle and Haase, 2013). En 2013, la Commission européenne déclare que l'infrastructure verte est un réseau stratégiquement planifié de systèmes naturels et semi-naturels conçus et gérés pour fournir différents services écosystémiques (European Commission, 2013). Par conséquent, la conception ciblée d'espaces verts urbains est d'une importance capitale pour maintenir et restaurer les services écosystémiques et des systèmes urbains sains et résistants au changement climatique.

L'Agence américaine de protection de l'environnement (US-EPA) souligne que les infrastructures vertes jouent un rôle clé dans la gestion de l'eau «L'infrastructure verte implique l'utilisation d'éléments paysagers pour stocker, infiltrer et évaporer les eaux pluviales. Cela réduit la quantité d'eau qui s'écoule dans les égouts et aide à diminuer le rejet de polluants dans les plans d'eau de la région. Parmi les exemples d'infrastructures vertes, mentionnons les jardins pluviaux, les rigoles, les marais filtrants artificiels et les chaussées perméables» (EPA, 2011).

Le infrastrutture verdi vegetate, oltre a contribuire alla gestione dell'acqua, aspetto principale affrontato nel presente libro, possono regolare il microclima, mitigando il fenomeno isola di calore, forniscono spazi vitali per la sopravvivenza di specie vegetali e animali e migliorano il benessere degli abitanti (tabella 2) come descritto nel dettaglio nel capitolo successivo.

Tabella 2.1. Esempi di servizi ecosistemici forniti dalle infrastrutture verdi in ambito urbano (Elmqvist et al., 2015; Perini and Sabbion, 2017).

Regolazione del microclima Régulation du microclimat	La vegetazione mitiga il fenomeno isola di calore La végétation atténue le phénomène de l'îlot de chaleur
Gestione dell'acqua Gestion de l'eau	Le superfici permeabili e vegetate riducono lo scorrimento superficiale delle acque meteoriche Les surfaces perméables et végétalisées réduisent l'écoulement superficiel de l'eau de pluie
Riduzione dell'inquinamento Réduction de la pollution	La vegetazione è in grado di migliorare la qualità dell'aria con effetti positivi sulla salute La végétation peut améliorer la qualité de l'air avec des effets positifs sur la santé
Habitat Habitat	Le infrastrutture verdi forniscono spazi vitali per specie vegetali e animali Les infrastructures vertes offrent un espace vital aux espèces végétales et animales
Servizi culturali Services culturels	Gli spazi verdi in ambiente urbano migliorano il benessere degli abitanti Les espaces verts en milieu urbain améliorent le bien-être des habitants

Benefici della vegetazione

Le infrastrutture verdi possono essere vegetate o non vegetate: nel primo caso, possono essere sfruttati i numerosi benefici, o servizi ecosistemici, che l'integrazione della vegetazione in ambiente urbano permette di ottenere.

Gli spazi verdi migliorano il benessere psicologico degli abitanti delle città densamente costruite (Bellomo, 2003). Secondo quanto affermato da (Wilson, 1984), il termine biophilia definisce "the

Les infrastructures vertes végétales, en plus de contribuer à la gestion de l'eau, principal aspect abordé dans ce livre, peuvent réguler le microclimat, atténuer le phénomène de l'îlot de chaleur, fournir un espace vital pour la survie des espèces végétales et animales et améliorer le bien-être des habitants (tableau 2) comme décrit en détail dans le chapitre suivant.

Tableau 2.1. Exemples de services écosystémiques fournis par les infrastructures vertes en zone urbaine (Elmqvist et al., 2015; Perini and Sabbion, 2017).

Avantages de la végétation

Les infrastructures vertes peuvent être végétalisées ou non: dans le premier cas, il est possible d'exploiter les nombreux bénéfices, ou services écosystémiques, que l'intégration de la végétation dans un environnement urbain permet d'obtenir. Les espaces verts améliorent le bien-être psychologique des habitants des villes densément construites (Bellomo, 2003). Selon l'affirmation de (Wilson, 1984), le terme biophilie définit «la propension à chercher

urge to affiliate with other forms of life". Gli esseri umani sono, dunque, istintivamente legati ad altri sistemi viventi ed una insufficiente presenza di aree verdi all'interno delle città si traduce spesso in scarsa qualità della vita ed anche altre problematiche ambientali. Inoltre la vegetazione migliora le condizioni ambientali agendo sia sulle cause che sugli effetti: per esempio, la qualità dell'aria può essere migliorata grazie a diversi tipi di piante (Perini et al., 2017; Yin et al., 2011); al tempo stesso, mitigando il fenomeno isola di calore, il verde urbano può ridurre i consumi per condizionamento, causa di inquinamento atmosferico (Perini and Magliocco, 2014).

Spazi verdi al suolo, sistemi per il verde verticale e coperture verdi migliorano la qualità dell'aria, riducendo la concentrazione di inquinanti, sequestrando e stoccardo il carbonio (grazie ai processi fotosintetici) e raccogliendo polveri sottili, come dimostrato da recenti studi (Lazzari et al., 2018; Perini et al., 2017; Rowe, 2018). In generale, le specie vegetali con più biomassa sono le più efficaci. Le polveri sottili (PM), in particolare quelle più piccole (PM 2.5) e pericolose per la salute umana, restano attaccate alla superficie delle foglie, soprattutto se lisce e cerose (Perini and Roccotielo, 2018). Uno studio condotto in Cina dimostra che all'interno dei parchi urbani la concentrazione di inquinanti si riduce: polveri sottili (2-35%), SO₂ (2-35%), NO₂ (1-21%). Tuttavia è importante specificare che sono molti i fattori che determinano la qualità dell'aria nelle città, fra cui la conformazione urbana e delle specie vegetali scelte. Infatti, in canyon (strade) stretti gli alberi possono anche ridurre il flusso d'aria che ha un ruolo fondamentale nella riduzione degli inquinanti provenienti dagli scarichi dei veicoli (Vos et al., 2013). Pertanto, è fondamentale una progettazione attenta in questo senso per migliorare la qualità ambientale in funzione della morfologia urbana.

des liens avec la nature et avec le vivant». Les êtres humains sont donc instinctivement liés à d'autres systèmes vivants et une présence insuffisante d'espaces verts dans les villes entraîne souvent une mauvaise qualité de vie et d'autres problèmes environnementaux. En outre, la végétation améliore les conditions environnementales en agissant à la fois sur les causes et les effets: par exemple, la qualité de l'air peut être améliorée par différents types de plantes (Perini et al., 2017; Yin et al., 2011); en même temps, en atténuant le phénomène de l'îlot de chaleur, la végétation urbaine peut réduire la consommation par la climatisation, cause de la pollution atmosphérique (Perini and Magliocco, 2014).

Les espaces verts au sol, les systèmes verts verticaux et les toitures végétalisées améliorent la qualité de l'air en réduisant la concentration de polluants, en séquestrant et en stockant le carbone (grâce aux processus de photosynthèse) et en récupérant les poussières fines, comme l'ont démontré des études récentes (Lazzari et al., 2018; Perini et al., 2017; Rowe, 2018). En général, les espèces végétales ayant le plus de biomasse sont les plus efficaces. Les particules fines (PM), surtout les plus petites (PM 2,5) et dangereuses pour la santé humaine, restent attachées à la surface des feuilles, surtout si elles sont lisses et cireuses (Perini et Roccotielo, 2018). Une étude menée en Chine montre que la concentration de polluants dans les parcs urbains est réduite: poussières fines (2-35%), SO₂ (2-35%), NO₂ (1-21%). Cependant, il est important de préciser qu'il existe de nombreux facteurs qui déterminent la qualité de l'air dans les villes, y compris la configuration urbaine et les espèces végétales choisies. En effet, dans les canyons étroits (rues), les arbres peuvent aussi réduire la circulation de l'air qui joue un rôle clé dans la réduction des polluants provenant des gaz d'échappement des véhicules (Vos et al., 2013). C'est pourquoi il est essentiel d'effectuer une conception minutieuse en ce sens afin

Come già accennato, il verde urbano mitiga il fenomeno isola di calore, fino a 2-4°C, poiché le superfici inverdite intercettano la radiazione solare e riducono il surriscaldamento. Susca et al. (2011) ha monitorato questo fenomeno registrando, nella città di New York, 2°C in media di differenza di temperatura fra aree con maggiore o minore quantità di vegetazione.

Le infrastrutture verdi vegetate permettono quindi di ottenere rilevanti benefici e di ridurre l'impatto dei cambiamenti climatici: da un lato, i sistemi hanno stratigrafie studiate per agire efficacemente sulla qualità e quantità delle acque meteoriche, attraverso una rinaturalizzazione del ciclo dell'acqua; dall'altro, grazie all'ombreggiamento, riduzione delle temperature superficiali, evapotraspirazione, modifica dei flussi d'aria, le piante riducono il surriscaldamento. Grazie ad una maggior presenza di verde si può anche migliorare la biodiversità, con la creazione di corridoi e habitat, e produrre cibo grazie all'agricoltura urbana, su coperture verdi o in spazi verdi al suolo. Si possono citare anche benefici economici derivanti dal miglioramento delle condizioni di aree più o meno ampie della città. In questo senso, anche gli effetti positivi nella sfera sociale sono di grande importanza (Perini and Sabbion, 2017).

Considerando più specificatamente gli effetti della vegetazione in termini di gestione delle acque, le piante svolgono diverse funzioni all'interno del ciclo idrologico naturale. Per questo motivo, la vegetazione è un componente importante delle infrastrutture verdi, come anche sottolineato nelle linee guida descritte nel capitolo successivo. Le funzioni idrologiche fornite da alberi e piante sono: intercettazione da parte della chioma, scorrimento lungo il fusto, infiltrazione nel terreno, evapotraspirazione, assorbimento e

d'améliorer la qualité de l'environnement en fonction de la morphologie urbaine.

Comme déjà mentionné, les espaces verts atténuent le phénomène d'îlot thermique, jusqu'à 2-4°C, puisque les surfaces vertes interceptent le rayonnement solaire et réduisent la surchauffe. Susca et al. (2011) a suivi ce phénomène en enregistrant, dans la ville de New York, une différence de température moyenne de 2°C entre des zones caractérisées par une quantité de végétation plus ou moins importante.

Les infrastructures vertes végétales permettent donc d'obtenir des bénéfices significatifs et de réduire l'impact des changements climatiques: d'une part, les systèmes disposent de stratigraphies étudiées pour agir efficacement sur la qualité et la quantité des eaux pluviales, par une restauration du cycle de l'eau; d'autre part, grâce à l'ombrage, la réduction des températures de surface, l'évapotranspiration, la modification des débits, les plantes réduisent le surchauffage. Grâce à une plus grande présence de végétation, il est également possible d'améliorer la biodiversité, en créant des corridors et des habitats, et de produire de la nourriture grâce à l'agriculture urbaine, sur les toitures végétalisées ou dans les espaces verts au sol. L'amélioration de l'état des quartiers plus ou moins grands de la ville présente également des avantages économiques. En ce sens, les effets positifs dans le domaine social sont également d'une grande importance (Perini and Sabbion, 2017).

En considérant plus spécifiquement les effets de la végétation en termes de gestion de l'eau, les plantes remplissent différentes fonctions dans le cycle hydrologique naturel. Pour cette raison, la végétation est un élément important des infrastructures vertes, comme le soulignent également les lignes directrices décrites dans le chapitre suivant. Les fonctions hydrologiques assurées par les arbres et les plantes sont:

ridistribuzione, ricarica dell'acqua del sottosuolo e convogliamento in caso di eventi intensi. Inoltre, i sistemi naturali filtrano gli inquinanti migliorando la qualità dell'acqua, grazie alla combinazione di processi chimici, biologici e fisici (Benedict and McMahon, 2001; Perini and Sabbion, 2017). Questi benefici possono ripristinare le condizioni ecologiche dei corsi d'acqua urbani, ridurre il rischio di allagamenti-alluvioni, migliorare la qualità dell'acqua per proteggere la biodiversità attraverso il miglioramento della connettività tra le reti ecologiche (intese come insiemi di ecosistemi collegati in un sistema spazialmente coerente).

l'interception par la cime, l'écoulement le long de la tige, l'infiltration dans le sol, l'évapotranspiration, l'absorption et la redistribution, la recharge des eaux souterraines et le refoulement lors d'événements intenses. De plus, les systèmes naturels filtrent les polluants, améliorant ainsi la qualité de l'eau grâce à la combinaison de processus chimiques, biologiques et physiques (Benedict and McMahon, 2001; Perini and Sabbion, 2017). Ces avantages peuvent restaurer les conditions écologiques des cours d'eau urbains, réduire le risque d'inondation, améliorer la qualité de l'eau pour protéger la biodiversité en améliorant la connectivité entre les réseaux écologiques (c'est-à-dire les ensembles d'écosystèmes reliés dans un système cohérent sur le plan spatial).

2.2 Politiche comunitarie ed esempi internazionali e nazionali di linee guida

Paola Sabbion

Uno dei primi testi internazionali che afferma chiaramente il concetto di rete ecologica e mira a creare una rete ecologica paneuropea è costituito dalla *Strategia paneuropea per la protezione della diversità biologica e paesaggistica* (1995). Secondo tali principi, la Commissione Europea mira ad istituire una rete transeuropea di continuità ecologica. Inoltre, nel 2013 la Commissione Europea ha pubblicato una comunicazione specifica destinata a incoraggiare l'uso delle infrastrutture verdi, promuovendo la considerazione sistematica dei processi naturali nel contesto della pianificazione territoriale e degli investimenti in questo settore nei livelli locali, regionali e nazionali (European Commission, 2013). Le strategie

2.2 Politiques communautaires et exemples internationaux et nationaux de lignes directrices

Paola Sabbion

L'un des premiers textes internationaux qui énonce clairement le concept de réseau écologique et vise à créer un réseau écologique paneuropéen est la *Stratégie paneuropéenne pour la protection de la diversité biologique et paysagère* (1995). Selon ces principes, la Commission européenne vise à établir un réseau transeuropéen de continuité écologique. En outre, en 2013, la Commission européenne a publié une communication spécifique visant à encourager l'utilisation d'infrastructures vertes et à promouvoir la prise en compte systématique des processus naturels dans le cadre de l'aménagement du territoire et des investissements dans ce secteur aux niveaux local, régional et national (European Commission, 2013). Les stratégies mises en œuvre dans les

messe in campo nei diversi paesi europei includono azioni di mitigazione per ridurre le fonti dei gas a effetto serra e di adattamento ai cambiamenti climatici, secondo l'obiettivo espresso nell'articolo 2 del UNFCCC, la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (Edenhofer et al., 2014).

L'obiettivo ultimo è di stabilizzare le concentrazioni di gas a effetto serra nell'atmosfera a un livello tale da prevenire pericolose interferenze antropogeniche entro i tempi adeguati a consentire agli ecosistemi di adattarsi naturalmente ai cambiamenti climatici. Ridurre la vulnerabilità e l'esposizione alla variabilità del clima attuale è il primo passo verso l'adattamento ai cambiamenti climatici futuri. Ciò può essere ottenuto integrando tale strategia nella pianificazione, nella definizione delle politiche e nel processo decisionale (Pachauri et al., 2014).

In questo contesto, le infrastrutture verdi sono considerate prioritarie per raggiungere gli obiettivi UE 2020 relativi a strategie a livello europeo (Commission of the European Communities, 2013). La Commissione intende sostenere e facilitare lo sviluppo di infrastrutture verdi nell'UE; promuovere l'uso di infrastrutture verdi e buone pratiche, sviluppare orientamenti tecnici, creare piattaforme di scambio, facilitare la condivisione delle informazioni e incoraggiare tecnologie innovative; migliorare l'accesso ai dati e le competenze; cercare meccanismi di finanziamento innovativi per sostenere gli investimenti in progetti di infrastrutture verdi.

Il concetto di infrastruttura verde ha un ruolo chiave per la coesione regionale, richiamando la necessaria integrazione nelle politiche pubbliche per un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse e della strategia sulla biodiversità.

differents pays européens comprennent des actions d'atténuation pour réduire les sources de gaz à effet de serre et d'adaptation au changement climatique, conformément à l'objectif visé à l'article 2 de la CCNUCC, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (Edenhofer et al., 2014).

L'objectif final est de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute interférence anthropique dangereuse dans les délais appropriés pour permettre aux écosystèmes de s'adapter naturellement aux changements climatiques. Réduire la vulnérabilité et l'exposition à la variabilité actuelle du climat est la première étape vers l'adaptation aux changements climatiques futurs. Ceci est possible en intégrant cette stratégie à la planification, à l'élaboration des politiques et au processus de prise de décisions (Pachauri et al., 2014).

Dans ce contexte, les infrastructures vertes sont considérées comme une priorité pour atteindre les objectifs de la stratégie UE 2020 au niveau européen (Commission of the European Communities, 2013). La Commission entend soutenir et faciliter le développement des infrastructures vertes dans l'UE; promouvoir l'utilisation des infrastructures vertes et des bonnes pratiques; élaborer des lignes directrices techniques; créer des plateformes d'échange; faciliter le partage d'informations et encourager les technologies innovantes; améliorer les données et les compétences; rechercher des mécanismes de financement innovants pour soutenir les investissements dans des projets d'infrastructures vertes.

Le concept d'infrastructure verte a un rôle clé à jouer dans la cohésion régionale, en rappelant l'intégration nécessaire dans les politiques publiques pour une Europe économique en termes de ressources et ef-

In diversi paesi europei ed extraeuropei le politiche di implementazione delle infrastrutture verdi, anche attraverso l'integrazione di sistemi per la gestione sostenibile delle acque meteoriche, sono uno strumento privilegiato per la prevenzione di allagamenti e inondazioni, ma anche per il miglioramento le condizioni ambientali delle città e la qualità della vita degli abitanti.

Gli approcci e gli strumenti, brevemente richiamati di seguito, sono, tuttavia, poco diffusi ed ancora in fase di sperimentazione in molti paesi. In Italia solo alcuni comuni hanno elaborato linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche, prendendo spunto dagli approcci sviluppati negli Stati Uniti e nei paesi del nord Europa.

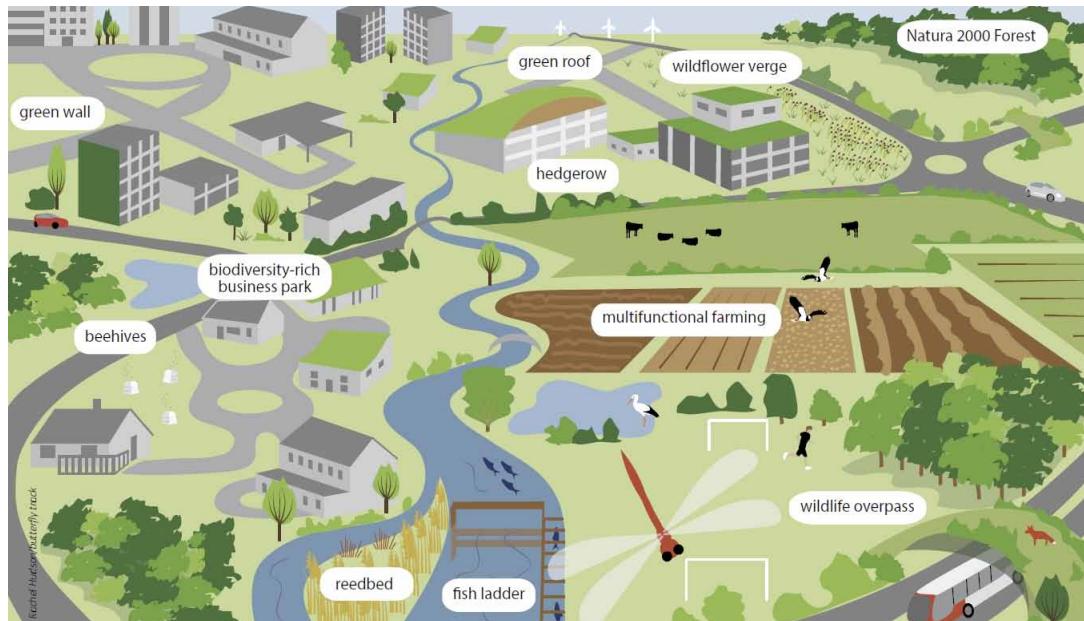
Le principali esperienze, fondate tutte su principi simili, ma con lievi differenze rispetto all'area geografica di sviluppo, sono rappresentate da Best Management Practices (BMPs, adottate principalmente negli Stati Uniti); Water Sensitive Urban Design (WSUD, diffuse in Australia e Regno Unito); Low Impact Development (LID, principalmente negli Stati Uniti e in Canada); Sustainable Drainage System (SuDS, in particolare adottate in Europa) e Trame Verte et Bleue (TVB, in Francia). Infine, si citano le linee guida per la gestione delle acque meteoriche sviluppate in alcune municipalità italiane.

ficace dans l'application de la stratégie en faveur de la biodiversité.

Dans plusieurs pays européens et non européens, les politiques de mise en œuvre d'infrastructures vertes, y compris par l'intégration de systèmes de gestion durable des eaux de pluie, constituent un outil privilégié pour la prévention des inondations, mais aussi pour l'amélioration des conditions environnementales des villes et de la qualité de vie des habitants.

Toutefois, les approches et les outils brièvement mentionnés ci-dessous ne sont pas très répandus et sont encore en phase d'expérimentation dans de nombreux pays. En Italie, seules quelques municipalités ont défini des lignes directrices pour la gestion durable des eaux pluviales, en s'inspirant des approches développées aux États-Unis et dans les pays d'Europe du Nord.

Les principales expériences, toutes basées sur des principes similaires, mais avec de légères différences en fonction de la zone géographique de développement, sont représentées par des Best Management Practices (BMPs, principalement adoptées aux Etats-Unis); le Water Sensitive Urban Design (WSUD, largement répandu en Australie et au Royaume-Uni); Low Impact Development (LID, principalement aux Etats-Unis et au Canada); Sustainable Drainage System (SuDS, particulièrement adopté en Europe) et Trame Verte et Bleue (TVB, en France). Enfin, les paragraphes suivants mentionnent les lignes directrices pour la gestion des eaux pluviales développées dans certaines municipalités italiennes.

**Figura 2.3.**

European Commission, 2013. Building a Green Infrastructure for Europe.

Figure 2.3.

Commission européenne, 2013. Building a Green Infrastructure for Europe.

Best Management Practices (BMPs)

I diversi stati degli USA hanno elaborato manuali e linee guida che contengono specifiche informazioni in funzione del clima, delle caratteristiche del terreno e dello sviluppo urbano. È possibile distinguere due categorie di BMPs: quelle strutturali e quelle non strutturali. Le BMP non strutturali, 'Stormwater Better Site Design Practices', comprendono linee guida, regolamentazioni e normative per la pianificazione dell'uso del suolo per limitare il runoff ed i relativi impatti sul territorio. Le BMP strutturali comprendono strategie e tecniche specifiche per il trattamento dell'acqua meteorica. Le BMP prevedono e raccomandano l'uso combinato dei vari componenti che costituiscono un 'treatment train' (descritto nel capitolo successivo), in funzione delle caratteristiche del sito di intervento.

La gestione dell'acqua meteorica, in termini qualitativi e quantitativi, è guidata da

Best Management Practices (BMP)

Les différents États des États-Unis ont élaboré des manuels et des lignes directrices contenant des informations spécifiques en fonction du climat, des caractéristiques du sol et du développement urbain. On peut distinguer deux catégories de BMP (ou Pratiques de Gestion Optimale): structurelles et non structurelles. Les BMP non structurelles, Stormwater Better Site Design Practices (Meilleures pratiques de conception des sites pour les eaux pluviales), comprennent des lignes directrices, des réglementations et des normes en matière d'aménagement du territoire afin de limiter le ruissellement et ses impacts sur le territoire. Les BMP structurelles comprennent des stratégies et des techniques spécifiques pour le traitement des eaux de pluie. Les BMP prévoient et recommandent l'utilisation combinée des différentes composantes qui constituent un treatment train (ou chaîne de traitement) (décris dans le chapitre suivant), en fonction des caractéristiques du site d'intervention. La gestion des eaux pluviales, en termes

tre azioni principali: in primo luogo, massimizzare l'uso delle BMPs in fase di pianificazione e sfruttare metodi non strutturali per ridurre lo scorrimento superficiale e l'inquinamento che ne deriva; in seconda istanza, gestire e trattare il runoff attraverso l'uso di componenti di controllo strutturali; infine, limitare l'inquinamento dell'acqua attraverso pratiche di prevenzione.

Le BMPs comprendono anche i criteri di dimensionamento unificati per la progettazione dei sistemi di controllo strutturali per un approccio integrato alla gestione dell'acqua in termini di rimozione di inquinanti e miglioramento della qualità dell'acqua, riduzione dei fenomeni di erosione nei bacini fluviali e diminuzione del runoff derivante da eventi eccezionali (Atlanta Regional Commission, 2014).

Low Impact Development (LID)

Dagli anni Novanta del '900, il LID è stato sviluppato negli Stati Uniti, in parallelo con le Best Management Practices, come Sistema di gestione delle acque meteoriche alternativo (Department of Environmental Resource et al., 1999). Attualmente il LID è diffuso anche in Canada. L'approccio prevede diverse tecniche in grado di ridurre il volume di acqua, la velocità di scorrimento, il rischio di allagamenti e la concentrazione di inquinanti (Toronto and Region Conservation Authority et al., 2010). La strategia di gestione delle acque piovane mira a mitigare gli impatti del runoff e dell'inquinamento dell'acqua meteorica agendo sullo scorrimento superficiale vicino alla fonte. Le strategie progettuali prevedono interventi strutturali a piccola scala che imitano il funzionamento idrologico naturale attraverso processi di infiltrazione, evapotraspirazione, raccolta, filtrazione e detenzione dell'acqua allo scopo di ridurre il volume e l'intensità di eventi alluvionali così come elementi patogeni, nutrienti e metalli presenti nelle ac-

qualitativi e quantitativi, est guidée par trois actions principales; premièrement, maximiser l'utilisation des BMP pendant la phase de planification et utiliser des méthodes non structurelles pour réduire l'écoulement superficiel et la pollution qui en résulte; deuxièmement, gérer et traiter le ruissellement en utilisant des éléments de contrôle structurels; et enfin, limiter la pollution des eaux par des pratiques de prévention.

Les BMP comprennent également des critères de dimensionnement unifiés pour la conception de systèmes de contrôle structurels en vue d'une approche intégrée de la gestion de l'eau en termes d'élimination des polluants et d'amélioration de la qualité de l'eau, de réduction des phénomènes d'érosion dans les bassins hydrographiques et de diminution des ruissellements dus à des événements exceptionnels (Atlanta Regional Commission, 2014).

Low Impact Development (LID)

Depuis les années 1990, le LID a été développé aux États-Unis, en parallèle avec les Best Management Practices (Pratiques de gestion optimale), comme système alternatif de gestion des eaux pluviales (Department of Environmental Resource et al., 1999). À l'heure actuelle, le LID est également très répandu au Canada. L'approche comprend différentes techniques permettant de réduire le volume d'eau, la vitesse d'écoulement, le risque d'inondations et la concentration de polluants (Toronto and Region Conservation Authority et al., 2010). La stratégie de gestion des eaux pluviales vise à atténuer les impacts du ruissellement et de la pollution des eaux pluviales en agissant sur l'écoulement superficiel près de la source. Les stratégies de conception comprennent des interventions structurelles à petite échelle qui imitent le fonctionnement hydrologique naturel par infiltration, évapotranspiration, collecte, filtration et rétention d'eau afin de réduire le volume et l'intensité des inondations ainsi que des agents pathogènes, des nu-

que reflue (United States Environmental Protection Agency, 2007). Pertanto, l'approccio LID permette di ottenere diversi benefici, fra cui la possibilità di adattamento al contesto, il mantenimento delle funzioni naturali di ricarica acquifera, la riduzione dei costi di gestione sul lungo termine grazie all'uso di componenti low-cost e di una progettazione ottimale, il coinvolgimento dei cittadini nella cura manutenzione dei beni comuni (Low Impact Development Center, Inc., 2007).

Water Sensitive Urban Design (WSUD)

Si tratta di un approccio sviluppato negli anni Novanta del '900 in Australia e implementato in Inghilterra per proteggere la risorsa idrica. L'Obiettivo delle strategie WSUD è quello di integrare la gestione del ciclo idrologico urbano nel processo di pianificazione per minimizzare l'impatto negativo dell'attività antropica sul ciclo dell'acqua, sui corpi idrici, sul mare, simulando il sistema di drenaggio naturale. Si tratta di un approccio alternativo alla gestione tradizionale delle acque meteoriche che agisce per ridurre lo scorrimento superficiale, intervenendo fin dal momento in cui l'acqua tocca il suolo (Department of the Environment, 2009). Tutte le strategie WSUD sono orientate dai principi chiave della sostenibilità, fra cui limitare il consumo di acqua, riciclare, minimizzare i rifiuti e migliorare la protezione ambientale.

L'approccio alla pianificazione e progettazione WSUD si concentra, in primo luogo, sull'uso di dispositivi per la gestione efficiente dell'acqua e il riuso delle acque meteoriche, reflue, di falda e grigie attraverso una progettazione del paesaggio finalizzata al rispetto del ciclo idrico. Le strategie di gestione WSUD possono ridurre il consumo di acqua potabile utilizzando processi di detenzione, stoccaggio e infiltrazione dell'acqua. La vegetazione è valutata in particolare per filtrare l'acqua meteorica. Inoltre, la conservazione dei valori am-

trimenti e dei metalli presenti dans les eaux usées (United States Environmental Protection Agency, 2007). L'approche du LID permet donc d'obtenir plusieurs avantages, dont la possibilité d'adaptation au contexte, le maintien des fonctions naturelles de recharge des aquifères, la réduction des coûts de gestion à long terme par l'utilisation d'éléments peu coûteux et une conception optimale, l'implication des citoyens dans l'entretien des biens communs (Low Impact Development Center, Inc., 2007).

Water Sensitive Urban Design (WSUD)

Le Water Sensitive Urban Design (Gestion des eaux de ruissellement urbain) est une approche qui a été développée dans les années 1990 en Australie et mise en œuvre en Angleterre pour protéger les ressources en eau. L'objectif des stratégies WSUD est d'intégrer la gestion du cycle hydrologique urbain dans le processus de planification afin de minimiser l'impact négatif de l'activité humaine sur le cycle de l'eau, sur les plans d'eau, sur la mer, en simulant le système de drainage naturel. Il s'agit d'une approche alternative à la gestion traditionnelle des eaux pluviales qui agit pour réduire l'écoulement superficiel, en intervenant dès que l'eau touche le sol (Department of the Environment, 2009). Toutes les stratégies du WSUD sont guidées par les principes clés de la durabilité, notamment la limitation de la consommation d'eau, le recyclage, la réduction des déchets et l'amélioration de la protection de l'environnement.

L'approche de planification et de conception WSUD se concentre principalement sur l'utilisation de dispositifs pour la gestion efficace de l'eau et la réutilisation de la pluie, des déchets, des eaux souterraines et des eaux grises à travers un aménagement paysager qui respectent le cycle de l'eau. Les stratégies de gestion WSUD peuvent réduire la consommation d'eau potable en utilisant des procédés de rétention, de stockage et d'infiltration de l'eau. La végétation est évaluée en particulier pour filtrer

bientali, ricreativi e culturali legati all'acqua è ottenuta minimizzando l'impronta ecologica e attraverso la pianificazione a lungo termine e l'uso di strategie site-specific, monitoraggi e valutazioni.

Così come avviene negli Stati Uniti per le BMPs, anche in Australia ogni regione ha sviluppato un proprio sistema di WSUD, fornendo manuali e linee guida necessarie per la progettazione. Diversamente dal modello americano, l'approccio australiano non prevede la divisione degli elementi di controllo a seconda dell'applicazione nel contesto, ma considera direttamente le prestazioni ottenibili. I trattamenti delle acque sono divisi in tre fasi: quelli primari permettono la rimozione di elementi galleggianti (sedimenti grossolani, oli, grassi) attraverso una selezione fisica o sedimentazione rapida. Il trattamento secondario comprende tecniche di sedimentazione per particelle più piccole e tecniche di filtrazione per dissolvere gli inquinanti organici. Infine, si offrono tecniche di sedimentazione e filtrazione che permettono un avanzato assorbimento biologico per trattare nutrienti, metalli pesanti, batteri (Department of the Environment, 2009).

Sustainable Drainage System (SuDS)

Fra i metodi di gestione dell'acqua, il SuDS è il più diffuso in Europa e in particolare nel Regno Unito. Il Water Management Act del 2010 ha confermato l'interesse della Gran Bretagna nell'ambito della gestione sostenibile dell'acqua e stabilito che il SuDS sarebbe diventata la pratica di gestione principale nel paese, andando a sostituire interamente i sistemi convenzionali.

Le linee guida Sustainable Drainage System sono state sviluppate per affrontare gli impatti dell'urbanizzazione sul ciclo naturale dell'acqua e l'inadeguatezza dei metodi tradizionali nell'affrontare l'aumento delle superfici impermeabili dovuto ai continui processi di trasformazio-

l'eau de pluie. De plus, la conservation des valeurs environnementales, récréatives et culturelles liées à l'eau est réalisée en réduisant au minimum l'empreinte écologique, avec une planification à long terme et avec l'utilisation de stratégies spécifiques au site, des suivis et des évaluations.

Comme aux États-Unis pour les BPM, en Australie aussi, chaque région a développé son propre système de WSUD, en fournissant les manuels et des lignes directrices nécessaires à la conception. Contrairement au modèle américain, l'approche australienne ne prévoit pas la division des éléments de contrôle en fonction de l'application dans le contexte, mais considère directement les performances pouvant être obtenues. Les traitements de l'eau sont divisés en trois phases: les phases primaires permettent l'élimination des éléments flottants (sédiments hétérogènes, huiles, graisses) par une sélection physique ou une sédimentation rapide. Le traitement secondaire comprend des techniques de sédimentation pour les particules plus petites et des techniques de filtration pour dissoudre les polluants organiques. Enfin, des techniques de sédimentation et de filtration sont proposées pour permettre une absorption biologique avancée pour traiter les nutriments, les métaux lourds, les bactéries (Department of the Environment, 2009).

Sustainable Drainage System (SuDS)

Parmi les méthodes de gestion de l'eau, le SuDS (Système de drainage durable) est le plus répandu en Europe et particulièrement au Royaume-Uni. Le Water Management Act de 2010 sur la gestion de l'eau a confirmé l'intérêt de la Grande-Bretagne pour la gestion durable de l'eau et a établi que le SuDS deviendrait la principale pratique de gestion dans le pays, remplaçant ainsi entièrement les systèmes conventionnels.

Les lignes directrices du Sustainable Drainage System ont été élaborées pour traiter les impacts de l'urbanisation sur le cycle naturel

ne del suolo (Ballard et al., 2007; Dickie et al., 2010). L'acqua è considerata uno strumento per ottenere vari benefici, in un'ottica di sostenibilità, riguardanti diversi ambiti che includono aspetti tecnici, ambientali, sociali ed economici.

In particolare, il metodo SuDS prende in considerazione tre aspetti fondamentali: qualità delle acque, quantità e biodiversità che formano il SuDS triangle. I componenti SuDS devono essere scelti seguendo una serie di analisi e valutazioni da effettuarsi fin dalle prime fasi di pianificazione. Per simulare il ciclo idrologico naturale, che caratterizza le condizioni naturali, sono individuate le azioni di immagazzinamento del ru-noff, rilascio lento (attenuazione), in-filtrazione, filtrazione degli inquinanti, sedimentazione, creazione di ambienti attrattivi per le comunità biotiche.

Trame verte et bleue (TVB)

L'implementazione della TVB in Francia risponde in particolare alla necessità di costituire una rete ecologica paneuropea ed è in linea con gli obiettivi della nuova strategia Europa 2020 per la biodiversità (in particolare l'asse 2). La TVB è definita come una rete di continuità ecologica terrestre ed aquatica identificata dagli schemi regionali di coerenza ecologica, nonché dalla pianificazione dello stato e delle autorità locali. L'obiettivo generale di questo approccio è quello di contribuire al miglioramento dello stato di conservazione degli habitat, della biodiversità e il buono stato ecologico dei corpi idrici.

Le continuità ecologiche che costituiscono la TVB includono serbatoi di biodiversità; corridoi ecologici; corsi d'acqua e zone umide, intesi come elementi interconnessi (articoli L.371-1 e R.371-19 del Codice dell'ambiente in Francia). Gli obiettivi della TVB sono definiti dal codice ambientale (articolo L. 371-1 I): la messa in opera della TVB deve con-

de l'eau et l'inadéquation des méthodes traditionnelles pour faire face à l'augmentation des surfaces imperméables due aux processus de transformation constant du sol (Ballard et al., 2007; Dickie et al., 2010). L'eau est considérée comme un outil permettant d'obtenir plusieurs avantages, du point de vue de la durabilité, dans différents domaines qui comprennent des aspects techniques, environnementaux, sociaux et économiques.

En particulier, la méthode SuDS prend en compte trois aspects fondamentaux: la qualité des eaux, la quantité et la biodiversité qui forment le SuDS triangle. Les composantes du SuDS doivent être sélectionnées à la suite d'une série d'analyses et d'évaluations qui doivent être effectuées à un stade précoce de la planification. Pour simuler le cycle hydrologique naturel, qui caractérise les conditions naturelles, les actions de stockage des eaux de ruissellement, de lente libération (atténuation), d'infiltration, de filtration des polluants, de sédimentation, de création d'environnements attrayants pour les communautés biotiques sont identifiées.

Trame verte et bleue (TVB)

La mise en œuvre de la TVB en France répond notamment à la nécessité d'établir un réseau écologique paneuropéen et est conforme aux objectifs de la nouvelle stratégie Europe 2020 pour la biodiversité (en particulier l'axe 2). La TVB est définie comme un réseau de continuité écologique terrestre et aquatique identifié par des programmes régionaux de cohérence écologique, ainsi que par la planification de l'État et des autorités locales. L'objectif global de cette approche est de contribuer à l'amélioration de l'état de conservation des habitats, de la biodiversité et du bon état écologique des masses d'eau.

Les continuités écologiques qui constituent la TVB comprennent des réservoirs de biodiversité, des corridors écologiques, des cours d'eau et des zones humides, considérés comme des éléments inter-

tribuire allo stato di conservazione degli habitat e delle specie naturali, al buono stato ecologico dei corpi idrici e all'identificazione e delineazione della continuità ecologica della trama. Inoltre, deve consentire alle specie animali e vegetali di spostarsi per facilitare gli scambi genetici e promuovere la capacità di adattamento e migliorare la qualità e la diversità dei paesaggi.

Linee guida per la gestione delle acque meteoriche di alcune municipalità italiane

Negli ultimi anni, alcuni comuni e regioni italiane hanno proposto delle linee guida per la gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano. A titolo esemplificativo, si citano quelle di Reggio Emilia, risalenti al 2014, e quelle di Firenze e di Bolzano, entrambe del 2008. Si tratta di documenti snelli, di facile lettura e applicazione rivolti alle amministrazioni e ai tecnici del settore.

Le linee guida del Comune di Reggio Emilia (Comune di Reggio Emilia, 2014), elaborate da servizi interni al Comune congiuntamente ad enti esterni competenti, costituiscono lo strumento unico e condiviso sulla gestione della risorsa acqua in ambito urbano. All'interno del documento sono riportate, innanzitutto, delle indicazioni relative alla gestione delle acque di prima pioggia, cioè i primi 5 mm di precipitazione su una superficie impermeabile dotata di rete drenante. Il trattamento è raccomandato in aree a destinazione produttiva/commerciale, predisponendo vasche di prima pioggia o utilizzando sistemi di depurazione alternativi (es. fitodepurazione). Per quanto riguarda i parcheggi e strade, le linee guida suggeriscono la realizzazione di pavimentazioni drenanti, permeabili o semipermeabili per minimizzare il deflusso superficiale. Grande rilievo è dato anche al principio di 'invarianza idraulica' che stabilisce che

connectés (articles L.371-1 et R.371-19 du Code de l'environnement).

Les objectifs de la TVB sont définis par le Code de l'environnement (article L. 371-1 I): la mise en œuvre de la TVB doit contribuer à l'état de conservation des espèces et des habitants naturels, au bon état écologique des masses d'eau et à l'identification et à la définition de la continuité écologique de la trame. Elle doit également permettre aux espèces animales et végétales de se déplacer pour faciliter les échanges génétiques, favoriser la capacité d'adaptation et améliorer la qualité et la diversité des paysages.

Lignes directrices pour la gestion des eaux pluviales dans certaines municipalités italiennes.

Ces dernières années, plusieurs municipalités et régions italiennes ont proposé des lignes directrices pour la gestion des eaux de pluie en milieu urbain. A titre d'exemple, celles de Reggio Emilia, datant de 2014, et celles de Florence et de Bolzano, datant toutes les deux de 2008, méritent d'être mentionnées. Il s'agit de documents simplifiés, faciles à lire et à appliquer, destinés aux administrations et aux techniciens du secteur.

Les lignes directrices de la municipalité de Reggio Emilia (Comune di Reggio Emilia, 2014), élaborées par des services internes de la municipalité et les organismes externes compétents, constituent l'outil unique et partagé sur la gestion des ressources en eau en milieu urbain. Le document contient tout d'abord des indications relatives à la gestion des premières eaux pluviales, c'est-à-dire les 5 premiers mm de précipitations sur une surface imperméable dotée d'un système drainant. Le traitement est recommandé dans les zones de production/commerciales, en mettant en place des citernes de première pluie ou en utilisant d'autres systèmes d'épuration (par exemple, la phytoépuration). En ce qui concerne les stationnements et les routes, les lignes directrices suggèrent la création de chaussées drainantes,

la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area debba essere costante prima e dopo la trasformazione programmata dell'uso del suolo in quell'area stessa. Le linee guida comunali di Reggio Emilia, come anche quelle di Firenze, adottano le BMPs come approccio per la riduzione dei volumi idrici e per il miglioramento della qualità delle acque. La scelta dei sistemi/strategie deve considerare la tipologia di intervento ed il contesto geomorfologico e paesaggistico. All'interno delle linee guida sono sintetizzate le principali caratteristiche dei vari componenti, suddivisi in sistemi ad infiltrazione ed evaporazione, sistemi vegetati, sistemi di invaso sotterraneo.

Le tecniche di gestione sostenibile delle acque meteoriche - BMPs riportate nelle linee guida del Comune di Firenze sono suddivise in base alla funzione che svolgono (ad esempio ridurre deflusso, infiltrazione, pretrattamento, etc). Per i diversi sistemi è riportata una descrizione, gli aspetti manutentivi ed alcuni esempi (Comune di Firenze, 2008), le informazioni utili per l'orientamento alla scelta dei sistemi. Le migliori pratiche per la gestione sostenibile delle acque in aree urbane comprendono un confronto fra gestione tradizionale e gestione sostenibile delle acque meteoriche (sintetizzato in tabella 3).

Infine, le linee guida per la gestione delle acque meteoriche della Provincia Autonoma di Bolzano sono suddivise secondo i principi chiave della gestione integrata: controllo del deflusso delle acque meteoriche; recupero ed utilizzo delle acque meteoriche; infiltrazione delle acque meteoriche; immissione delle acque meteoriche in acque superficiali. Il documento riporta una descrizione tecnica, con schede riassuntive ed esempi, dei diversi sistemi.

perméables ou semi-perméables pour minimiser l'écoulement superficiel. Une grande importance est également accordée au principe de «l'invariance hydraulique» qui établit que le débit sur la pointe de crue résultant du drainage d'une zone doit être constant avant et après la transformation prévue de l'utilisation des sols dans cette zone. Les directives municipales de Reggio Emilia, ainsi que celles de Florence, adoptent les BMP comme approche pour réduire les volumes d'eau et améliorer la qualité des eaux. Le choix des systèmes/stratégies doit tenir compte du type d'intervention et du contexte géomorphologique et paysager. Les lignes directrices résument les principales caractéristiques des différents composants, répartis en systèmes d'infiltration et d'évaporation, systèmes végétalisés et systèmes de réservoirs souterrains.

Les techniques de gestion durable des eaux pluviales - les BMP mentionnées dans les directives de la municipalité de Florence sont divisées selon la fonction qu'elles remplissent (par exemple, réduire le ruissellement, l'infiltration, le prétraitement, etc.). Pour les différents systèmes il y a une description, les aspects de maintenance et quelques exemples (Comune di Firenze, 2008), les informations utiles pour l'orientation au choix des systèmes. Les meilleures pratiques de gestion durable de l'eau dans les zones urbaines comprennent une comparaison entre la gestion traditionnelle et la gestion durable des eaux pluviales (résumé dans le tableau 3).

Enfin, les lignes directrices pour la gestion des eaux pluviales de la province autonome de Bolzano sont divisées selon les principes clés de la gestion intégrée: contrôle de l'écoulement des eaux pluviales; récupération et utilisation des eaux pluviales; infiltration des eaux pluviales; rejet des eaux pluviales dans les eaux de surface. Le document contient une description technique, avec des fiches récapitulatives et des exemples des différents systèmes.

Tabella 2.2. Confronto fra i metodi tradizionali di gestione delle acque meteoriche e le BMPs (Comune di Firenze, 2008)

	Sistemi Tradizionali Systèmes traditionnels	BMPs BMP
Costi di realizzazione Coûts de réalisation		Possono ritenersi sostanzialmente equivalenti; in molti casi con le BMPs si riesce comunque a ridurre l'adozione di grossi diametri nelle fogna-ture di raccolta, con costi complessivi minori. Ils peuvent être considérés comme substantiellement équivalents; cependant, dans de nombreux cas, avec les BMP, il est possible de réduire l'adoPTION de grands diamètres dans les égouts collecteurs, avec des coûts globaux moindres
Controllo degli allagamenti su scala locale Contrôle des inondations à l'échelle locale	Sì Oui	Sì Oui
Controllo dell'erosione e delle piene a valle Contrôle de l'érosion et des crues en aval	No Non	Sì Oui
Possibilità di riuso dell'acqua Possibilités de réutilisation de l'eau	No Non	Sì Oui
Rimozione degli inquinanti Elimination des polluants	Bassa Faible	Elevata Elevée
Miglioramento del tessuto urbano Amélioration du tissu urbain	No Non	Sì Oui

2.3 Componenti di controllo e *treatment train*

Katia Perini

Per garantire una corretta e sostenibile – in termini ambientali, sociali ed economici – gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano è necessaria una pianificazione a diverse scale, dalla scala locale a quella regionale, e l'utilizzo di sistemi e strategie specifici. I sistemi per la gestione sostenibile delle acque meteoriche possono essere integrati nel tessuto urbano esistente, per ridurre le problematiche derivanti dallo scorrimento superficiale (legate sia alla quantità che alla qualità delle acque), sia nel caso di nuovi insediamenti, con l'obiettivo di ridurre al minimo le alte-

Tableau 2.2. Comparaison entre les méthodes traditionnelles de gestion des eaux pluviales et les BMP (Comune de Firenze, 2008)

	Sistemi Tradizionali Systèmes traditionnels	BMPs BMP
Costi di realizzazione Coûts de réalisation		Possono ritenersi sostanzialmente equivalenti; in molti casi con le BMPs si riesce comunque a ridurre l'adozione di grossi diametri nelle fogna-ture di raccolta, con costi complessivi minori. Ils peuvent être considérés comme substantiellement équivalents; cependant, dans de nombreux cas, avec les BMP, il est possible de réduire l'adoPTION de grands diamètres dans les égouts collecteurs, avec des coûts globaux moindres
Controllo degli allagamenti su scala locale Contrôle des inondations à l'échelle locale	Sì Oui	Sì Oui
Controllo dell'erosione e delle piene a valle Contrôle de l'érosion et des crues en aval	No Non	Sì Oui
Possibilità di riuso dell'acqua Possibilités de réutilisation de l'eau	No Non	Sì Oui
Rimozione degli inquinanti Elimination des polluants	Bassa Faible	Elevata Elevée
Miglioramento del tessuto urbano Amélioration du tissu urbain	No Non	Sì Oui

2.3 Eléments de contrôle *treatment train*

Katia Perini

Pour assurer une gestion correcte et durable des eaux pluviales en milieu urbain, en termes environnementaux, sociaux et économiques, une planification à différentes échelles, de l'échelle locale à celle régionale, et l'utilisation de systèmes et stratégies spécifiques sont nécessaires. Les systèmes de gestion durable des eaux pluviales peuvent être intégrés dans le tissu urbain existant, afin de réduire les problèmes d'écoulement superficiel (liés tant à la quantité qu'à la qualité de l'eau), comme dans le cas de nouveaux établissements, dans le but de minimiser les altérations du cycle hydrogéologique naturel et d'optimiser la

razioni del ciclo idrogeologico naturale e ottimizzare la gestione del ciclo delle acque (Comune di Firenze, 2008).

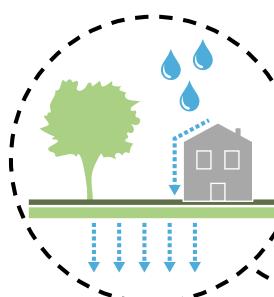
Le linee guida riconosciute a livello internazionale, descritte brevemente nel capitolo precedente, suggeriscono l'utilizzo congiunto di varie misure che agiscono per ridurre lo scorrimento superficiale (runoff) e la presenza di inquinanti.

Tale approccio è comunemente definito treatment train o management train (Figura 2.4). Secondo quanto riportato dalle linee guida SuDS (Sustainable Drainage Systems), si tratta di una strategia basata sulla connessione di sistemi di gestione delle acque (infrastrutture verdi-blu), disposti in serie per garantire il controllo alla sorgente (prevenire il runoff), il controllo locale di un sito e il controllo regionale delle acque provenienti da più siti (Ballard et al., 2007). Il controllo locale può essere ottenuto, per esempio, convogliando l'acqua proveniente da coperture e parcheggi in un bacino di infiltrazione o detenzione. Il controllo regionale prevede il convogliamento dell'acqua pond o wetland, stagni o aree umide di una certa dimensione, o vasche di laminazione (poco adatti al tessuto urbano).

gestion du cycle hydrologique (Comune di Firenze, 2008).

Les lignes directrices reconnues au niveau international, décrites brièvement dans le chapitre précédent, suggèrent d'utiliser conjointement différentes mesures visant à réduire l'écoulement superficiel (ruissellement) et la présence de polluants. Cette approche est communément appelée treatment train ou management train (Figure 2.4). Selon les lignes directrices du SuDS (Système de Drainage Durable), il s'agit d'une stratégie basée sur des systèmes de gestion des eaux reliés entre eux (infrastructures vertes et bleues), mis en place en série afin de garantir le contrôle à la source (prévenir le ruissellement), le contrôle local d'un site et le contrôle régional des eaux provenant de plusieurs sites (Ballard et al., 2007). Un contrôle local peut être réalisé, par exemple, en canalisant l'eau provenant des toits et des parkings vers un bassin d'infiltration ou de rétention. Le contrôle régional implique l'acheminement de l'eau à partir d'étangs, de marais, d'étangs ou de zones humides d'une certaine dimension ou de cuves d'orage (peu adaptés au tissu urbain).

01. PREVENTION



02. SOURCE CONTROL



02. REGIONAL CONTROL



Figura 2.4. SuDs Treatment Train (modificato).

Nei manuali Suds è data una grande im-

Figure 2.4. SuDs Treatment Train (modifié).

Dans les manuels SuDs, une grande impor-

portanza alla prevenzione e al controllo alla sorgente. Solo quando il controllo a monte non è possibile, le linee guida suggeriscono di ricorrere al controllo locale o regionale, sfruttando sistemi di connessione e convogliamento dell'acqua vegetati come trincee filtranti o depressioni del terreno (descritti nel capitolo successivo) o con tubazioni.

In particolare in ambiente urbano, risulta di grande importanza controllare la velocità del deflusso superficiale, ridurre il volume del runoff, rimuovere gli inquinanti e ridurre le sorgenti contaminanti (EPA, 2016). La rimozione degli inquinanti può essere ottenuta grazie ad alcuni meccanismi, fra cui: la sedimentazione, il galleggiamento di inquinanti con peso specifico inferiore all'acqua, la filtrazione attraverso materiali porosi. L'infiltrazione migliora la qualità delle acque grazie all'assorbimento di inquinanti da parte dei microrganismi presenti nel terreno e, inoltre, consente di controllare il deflusso efficacemente. La presenza di piante e alghe esercita una azione di bioremediation di grande importanza. Come sarà descritto nei capitoli successivi, i sistemi e le strategie non sono utilizzabili in tutti i siti e contesti: per esempio, l'infiltrazione non è raccomandata in prossimità delle fondazioni degli edifici e limitata in alcuni comuni.

I diversi approcci alla gestione sostenibile delle acque meteoriche, esplicitati dalle linee guida e dai manuali maggiormente riconosciuti a livello internazionale e descritte nel capitolo precedente, sono guidati dagli stessi obiettivi e utilizzano analoghi sistemi per la riduzione del deflusso superficiale e la riduzione degli inquinanti. Questi sono spesso classificati come segue (Mazzarello and Raimondo, 2015):

- Controllo della sorgente (o delle fonti): si tratta di sistemi in grado di intercettare l'acqua piovana nel momento in cui tocca la superficie, stoccarla

tance est accordée à la prévention et au contrôle à la source. Ce n'est que lorsque le contrôle en amont n'est pas possible que les lignes directrices suggèrent d'utiliser un contrôle local ou régional, en utilisant des systèmes de connexion et d'acheminement d'eau végétalisés tels que des tranchées filtrantes ou des dépressions dans le sol (décris dans le chapitre suivant) ou des conduites.

En milieu urbain en particulier, il est très important de contrôler la vitesse de l'écoulement superficiel, de réduire le volume du ruissellement, d'éliminer les polluants et de réduire les sources de contamination (EPA, 2016). L'élimination des polluants peut se faire par un certain nombre de mécanismes, notamment la sédimentation, la flottation des polluants ayant une densité inférieure à celle de l'eau, la filtration à travers des matériaux poreux. L'infiltration améliore la qualité de l'eau grâce à l'absorption des polluants par les microorganismes présents dans le sol et permet en outre de contrôler efficacement l'écoulement. La présence de plantes et d'algues exerce une action de bioremédiation de grande importance. Comme nous le verrons dans les chapitres suivants, les systèmes et stratégies ne sont pas utilisables dans tous les sites et contextes: par exemple, l'infiltration n'est pas recommandée près des fondations des bâtiments et est limitée dans certaines municipalités.

Les différentes approches de la gestion durable des eaux pluviales, telles qu'elles sont définies dans les lignes directrices et les manuels les plus reconnus au niveau international et décrites au chapitre précédent, sont guidées par les mêmes objectifs et utilisent des systèmes similaires pour réduire l'écoulement superficiel et les polluants. Ces approches sont souvent classées comme suit (Mazzarello and Raimondo, 2015):

- Contrôle de la source (ou des sources): il s'agit de systèmes capables d'intercepter l'eau de pluie lorsqu'elle

temporaneamente, favorire l'evaporazione ed un primo trattamento qualitativo. Oltre a strumenti specifici, fra cui cisterne per la raccolta dell'acqua piovana e pavimentazioni drenanti, possono essere utilizzate coperture/tetti verdi o, più in generale, è raccomandata la riduzione delle superfici impermeabili (anche grazie all'integrazione di pavimentazioni permeabili o porose) e la conservazione di aree naturali esistenti.

- Sistemi di pretrattamento: per la rimozione di una certa quantità di sedimenti e detriti presenti nel runoff, necessario per non ostruire gli altri sistemi/componenti del treatment train, possono essere utilizzati diversi sistemi, fra cui: bacini di detenzione, pozzetti di sedimentazione, separatori a vortice, etc.
- Sistemi di convogliamento; come descritto, quando il controllo alla sorgente non è sufficiente, è necessario garantire la connessione con altri sistemi/strumenti del treatment train. Il collegamento può avvenire con swales, dei canali superficiali con una leggera pendenza e vegetati che, oltre a trasportare l'acqua ne migliorano la qualità trattenendo i detriti e riducendo la velocità di scorrimento durante gli eventi particolarmente intensi.
- Sistemi di filtrazione: filtrazione dei sedimenti fini e inquinanti prima che l'acqua venga convogliata verso l'infiltrazione o sistemi di raccolta. I sistemi, ad esempio trincee filtranti o strisce filtranti, possono prevedere l'uso delle specie vegetali, che contribuiscono al miglioramento della qualità dell'acqua.
- Sistemi di infiltrazione; si tratta di sistemi progettati per favorire la percolazione dell'acqua piovana nel suolo. Possono essere utilizzati per ridurre il runoff, quindi per favorire l'infiltrazione dell'acqua che cade direttamente sulla superficie, oppure

touche la surface, de la stocker temporairement, de favoriser l'évaporation et le traitement initial de qualité. En complément d'outils spécifiques, tels que les citernes de récupération des eaux pluviales et les revêtements drainants, il est recommandé d'utiliser des toitures végétalisées ou, plus généralement, de réduire les surfaces imperméables (également grâce à l'intégration de revêtements de sol perméables ou poreux) et de conserver les espaces naturels existants.

- Systèmes de prétraitement: pour l'élimination d'une certaine quantité de sédiments et de débris présents dans les eaux de ruissellement, nécessaires pour ne pas obstruer les autres systèmes/composants de la chaîne de traitement (treatment train), différents systèmes peuvent être utilisés, notamment: bassins de rétention, cuves de sédimentation, séparateurs vortex, etc.
- Systèmes d'acheminement; comme décrit, lorsque le contrôle à la source n'est pas suffisant, il est nécessaire de garantir la connexion avec d'autres systèmes/ outils de la chaîne de traitement. Le raccordement peut se faire avec des swales (rigoles) des canaux de surface à faible pente et une végétation qui, en plus de transporter l'eau, améliorent la qualité en retenant les débris et en réduisant la vitesse de l'écoulement lors d'événements particulièrement intenses.
- Systèmes de filtration: filtration des sédiments fins et polluants avant que l'eau ne soit acheminée vers l'infiltration ou des systèmes de collecte. Les systèmes, comme les tranchées filtrantes ou les bandes filtrantes, peuvent impliquer l'utilisation d'espèces végétales qui contribuent à améliorer la qualité de l'eau.
- Systèmes d'infiltration: il s'agit de systèmes conçus pour faciliter la percolation de l'eau de pluie dans le sol. Ils peuvent être utilisés pour réduire le ruissellement, donc favoriser l'infiltration

per trattare l'acqua proveniente da altri siti e convogliata tramite appositi sistemi. Questo processo può essere utilizzato a condizione che non vi sia rischio di contaminazione delle falde acquifere, per ricaricare le sorgenti idriche sotterranee e alimentare il deflusso (baseflow) dei corsi d'acqua, ripristinando i processi idrologici naturali. L'efficacia dei sistemi, aree vegetate e non di dimensione variabile come bacini o trincee infiltranti o rain garden ed anche pavimentazioni permeabili, dipende dalle caratteristiche del terreno in termini di permeabilità e dalla profondità della falda.

- Sistemi di detenzione/laminazione: si tratta di aree di una certa dimensione, anche vegetate, per uno stocaggio temporaneo e un successivo rilascio controllato (es. detention pond).
- Sistemi di sedimentazione; stagni e aree umide (pond e wetland) permettono un controllo quantitativo e qualitativo delle acque meteoriche. Si tratta di aree sempre piene che favoriscono la sedimentazione gravitazionale e l'assorbimento biologico.

de l'eau qui tombe directement sur la surface ou pour traiter l'eau provenant d'autres sites et acheminée par des systèmes appropriés. Ce procédé peut être utilisé à condition qu'il n'y ait pas de risque de contamination des eaux souterraines, pour recharger les sources d'eau souterraines et alimenter l'écoulement (baseflow) des cours d'eau, restaurant ainsi les processus hydrologiques naturels. L'efficacité des systèmes, des zones végétalisées et non de taille variable comme les bassins, les tranchées d'infiltration ou les jardins pluviaux et aussi les sols perméables, dépend des caractéristiques du sol en termes de perméabilité et de la profondeur de la nappe phréatique.

- Systèmes de rétention/absorption: il s'agit de zones d'une certaine taille, y compris des zones végétalisées, pour le stockage temporaire et la libération contrôlée successive (p. ex., bassin de rétention).
- Les systèmes de sédimentation; étangs et zones humides (pond et wetland) permettent un contrôle quantitatif et qualitatif de l'eau de pluie. Il s'agit toujours de zones pleines qui favorisent la sédimentation gravitationnelle et l'absorption biologique.

2.4 Sistemi e componenti per la gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano

Katia Perini e Paola Sabbion

Come affermato nel capitolo precedente, sono numerosi i sistemi utilizzati per provvedere a convogliamento, filtrazione, detenzione, sedimentazione, infiltrazione delle acque meteoriche. Di seguito si dà una breve descrizione dei principali sistemi e componenti che vengono comunemente utilizzati in ambiente urbano.

2.4 Systèmes et éléments de gestion des eaux pluviales en milieu urbain

Katia Perini et Paola Sabbion

Comme indiqué dans le chapitre précédent, il existe de nombreux systèmes utilisés pour assurer l'acheminement, la filtration, la rétention, la sédimentation et l'infiltration des eaux de pluie. Une brève description des principaux systèmes et composantes couramment utilisés en milieu urbain est présentée ci-après.

Bioretention Systems (Rain garden)

Si tratta di aree verdi atte a ricevere acqua piovana – raccolta da superfici adiacenti – e facilitarne l'infiltazione nel suolo (se possibile) o l'immissione nella rete di smaltimento. I sistemi di bioritenzione (fra cui i rain garden) utilizzano suolo, arbusti e/o piante erbacee per rimuovere gli inquinanti dal deflusso delle acque piovane. Incorporano depressioni superficiali del suolo per facilitare temporaneamente il deflusso e l'infiltazione del runoff (EPA, 1999). Il rain garden, a seconda della precipitazione cumulata per singolo evento meteorico, può restare allagato per alcune ore, assorbendo l'acqua in eccesso dopo la fine dell'evento, in funzione della sua intensità e della sua durata.

Le specie vegetali più indicate sono quelle resistenti alle fluttuazioni dell'umidità del terreno in grado di provvedere ad un maggiore assorbimento delle acque e degli inquinanti. Si raccomandano piante autoctone con radici profonde per assicurare buone percentuali di infiltazione e condizioni aerobiche necessarie all'attività microbica per il trattamento delle sostanze inquinanti. Questo sistema può essere applicato sia in condizioni non edificate che urbane, utile in particolare nelle aree urbane per gestire la quantità e la qualità del volume di deflusso dell'acqua da siti residenziali, commerciali o industriali. È adatto per aree altamente impermeabili, come parcheggi, strade, marciapiedi (DNR, 2009).

Copertura verde/green roof

Le coperture verdi, che consentono la crescita di specie vegetali diverse su edifici, parcheggi, strade interrate, etc., possono essere soluzioni interessanti che offrono molti dei benefici tipici delle infrastrutture verdi, in particolare per quanto riguarda la progettazione del paesaggio urbano. Le coperture verdi possono diminuire il deflusso delle acque piovane, raggiungendo una riduzio-

Bioretention Systems (Rain garden) (Systèmes de biorétenion - Jardins pluviaux)

Il s'agit d'espaces verts en mesure de recevoir les eaux pluviales, collectées sur les surfaces adjacentes, et de faciliter leur infiltration dans le sol (si possible) ou leur entrée dans le réseau d'évacuation. Les systèmes de biorétenion (dont les jardins pluviaux) utilisent le sol, les arbustes et/ou les plantes herbacées pour éliminer les polluants de l'écoulement des eaux de pluie. Ils intègrent des dépressions superficielles du sol pour faciliter temporairement l'écoulement et l'infiltation du ruissellement (EPA, 1999). Le jardin pluvial, en fonction des précipitations cumulées pour chaque événement météorique, peut rester inondé pendant quelques heures, absorbant l'excès d'eau après la fin de l'événement, en fonction de son intensité et sa durée.

Les espèces végétales les plus appropriées sont celles qui résistent aux fluctuations de l'humidité du terrain et sont capables d'assurer une meilleure absorption de l'eau et des polluants. Il est recommandé d'utiliser des plantes indigènes à racines profondes pour assurer de bons pourcentages d'infiltation et les conditions aérobie nécessaires à l'activité microbienne pour le traitement des polluants. Ce système peut être appliqué aussi bien en milieu urbain qu'en milieu non bâti; il est particulièrement utile en milieu urbain pour la gestion de la quantité et de la qualité du volume d'eau de ruissellement des sites résidentiels, commerciaux ou industriels. Il convient aux zones très imperméables telles que les parkings, les routes, les trottoirs, etc. (DNR, 2009).

Toiture végétalisée/green roof

Les toitures végétalisées qui permettent la croissance de différentes espèces végétales sur les bâtiments, les parkings, les routes souterraines, etc., peuvent être des solutions intéressantes qui offrent de nombreux avantages typiques des infrastructures vertes, notamment en ce qui concerne

ne dal 60% all'85% a seconda del tipo di tetto verde e vegetazione (Kosareo and Ries, 2007; Scholz-Barth, 2001), migliorando anche la qualità dell'acqua, sebbene alcuni materiali utilizzati possano aggiungere sostanze chimiche o composti metallici all'acqua di scarico (Bianchini and Hewage, 2012).

I numerosi prodotti disponibili sul mercato offrono diverse soluzioni integrate per il corretto drenaggio, impermeabilizzazione e protezione della struttura sottostante. Questi sono comunemente classificati in soluzioni intensive, semi-intensive e estensive e si differenziano per stratigrafia (spessore del substrato), usi e specie vegetali utilizzabili (ad esempio prato, arbusti, piccoli alberi; Norma UNI 11235, 2015). Per ogni tipologia, la manutenzione necessaria, il peso del sistema, i benefici microclimatici ottenibili, l'estetica, i costi sono diversi (Dunnett and Kingsbury, 2008; Perini, 2013): i sistemi intensivi possono creare giardini a diverse altezze, con un substrato di spessore dai 30 ai 100 cm (o più); i sistemi estensivi, non calpestabili, sono più leggeri, versatili e richiedono poca manutenzione.

l'aménagement du paysage urbain. Les toitures végétalisées peuvent réduire l'écoulement de l'eau de pluie de 60 % à 85 % en fonction du type de toit végétal et de la végétation (Kosareo and Ries, 2007; Scholz-Barth, 2001), ce qui améliore également la qualité de l'eau, bien que certains matériaux utilisés puissent ajouter des produits chimiques ou des composés métalliques aux eaux usées (Bianchini and Hewage, 2012).

Les nombreux produits disponibles sur le marché offrent différentes solutions intégrées pour le drainage, l'imperméabilisation et la protection correcte de la structure sous-jacente. Ceux-ci sont généralement classés en solutions intensives, semi-intensives et extensives et diffèrent par la stratigraphie (épaisseur de la couche), les utilisations et les espèces végétales qui peuvent être utilisées (par exemple, pelouse, arbustes, petits arbres; UNI 11235, 2015). Pour chaque type, l'entretien nécessaire, le poids du système, les avantages microclimatiques réalisables, l'esthétique, les coûts sont différents (Dunnett and Kingsbury, 2008; Perini, 2013): les systèmes intensifs peuvent créer des jardins à différentes hauteurs, avec une couche d'épaisseur de 30 à 100 cm (ou plus); les systèmes extensifs, non circulables, sont plus légers, polyvalents et nécessitent peu d'entretien..



Figura 2.5. Coperture verdi estensive, Amburgo (Germania)

Figure 2.5. Toitures végétalisées, systèmes extensifs, Hambourg (Allemagne).



Figura 2.6. Copertura verde intensiva, High Line (New York City, USA).

Figure 2.6. Toiture végétalisée, système extensif, High Line (New York City, USA).

Infiltration Basins

Si tratta di depressioni del terreno progettate per consentire l'infiltrazione. La pioggia raccolta deve essere smaltita entro le 48 e le 72 ore al massimo.

La vegetazione gioca un ruolo chiave, aumentando la capacità di infiltrazione del bacino e impedendo l'erosione delle sponde e del fondo. Appaiono come delle aree totalmente inerbite, ma in alcuni casi si può prevedere vegetazione aggiuntiva che, oltre a migliorare l'aspetto estetico del bacino, può contribuire ad incrementare la porosità del terreno grazie all'apparato radicale, a sostenere le pendenze delle pareti laterali limitando il pericolo di erosione, trattenere i sedimenti più grossolani o i rifiuti trasportati dal runoff ed infine può incrementare il processo di infiltrazione rallentando le velocità dei flussi.

Gli stagni o bacini di infiltrazione contribuiscono alla ricarica delle acque sotterranee e alla conservazione del bilancio idrico naturale del sito. Essi possono eliminare efficacemente sedimenti fini, tracce di metalli, sostanze nutritive e batteri. Gli stagni di infiltrazione, inoltre, possono non solo ridurre il rischio di alluvione, ma anche limitare gli impatti termici sui flussi (EPA, 1999). I bacini di infiltrazione sono tipicamente utilizzati in bacini urbanizzati, ma non sono raccomandati nelle aree carsiche, nei parchi industriali, nelle aree ad alta densità e nelle aree inquinate. Non sono adatti per il trattamento di carichi pesanti di sedimenti e inquinanti a causa del potenziale intasamento del fondo di infiltrazione del bacino. Il successo di uno stagno di infiltrazione dipende dal pretrattamento del deflusso nella progettazione generale e dalla manutenzione efficace.

Infiltration Basins (Bassins d'infiltration)

Il s'agit de dépressions dans le sol conçues pour permettre l'infiltration. La pluie récupérée doit être éliminée entre 48 et 72 heures au maximum.

La végétation joue un rôle clé dans l'augmentation de la capacité d'infiltration du bassin et dans la prévention de l'érosion des berges et du fond. Il s'agit de zones totalement enherbées, mais dans certains cas il est possible de prévoir une végétation supplémentaire qui, en plus d'améliorer l'aspect esthétique du bassin, peut contribuer à augmenter la porosité du terrain grâce au système racinaire, à soutenir les pentes des parois latérales limitant le danger d'érosion, à retenir les sédiments plus grossiers ou les déchets transportés par le ruissellement et enfin à accélérer le processus d'infiltration en ralentissant la vitesse des flux.

Les étangs ou bassins d'infiltration contribuent à la restauration des nappes phréatiques et à la préservation de l'équilibre hydrique naturel du site. Ceux-ci peuvent éliminer efficacement les sédiments fins, des traces de métaux, des nutriments et des bactéries. De plus, les bassins d'infiltration peuvent non seulement réduire le risque d'inondation, mais aussi limiter les impacts thermiques sur les flux (EPA, 1999). Les bassins d'infiltration sont généralement utilisés dans les bassins urbanisés, mais ne sont pas recommandés dans les zones karstiques, les parcs industriels, les zones à haute densité et les zones polluées. Ils ne sont pas adaptés au traitement des charges lourdes de sédiments et de polluants en raison du risque de colmatage du fond d'infiltration du bassin. Le succès d'un bassin d'infiltration dépend du traitement préliminaire de l'écoulement dans la conception générale et d'un entretien efficace.



Figura 2.7.
Infiltration basin,
Avignone (Francia)

Figure 2.7.
Bassins d'infiltration,
Avignon (France)

Pavimentazioni permeabili e porose

Le pavimentazioni permeabili permettono l'infiltrazione dell'acqua piovana che può essere anche temporaneamente trattenuta in un sottofondo di ghiaia o pietrisco, in attesa di infiltrarsi nel terreno o di essere convogliata all'impianto fognario.

Sebbene ci si riferisca genericamente ai sistemi di pavimentazioni drenanti, è necessario distinguere tra pavimentazioni porose, in cui l'acqua si infiltra attraverso tutta la superficie del materiale (ad esempio: sistemi inerbiti rinforzati, ghiaia o superfici sterrate, conglomerato bituminoso e cemento drenante) e pavimentazioni permeabili, costituite da elementi di per sé impenetrabili all'acqua, ma disposti in modo che tra gli spazi vuoti sulla superficie sia possibile il passaggio dell'acqua (ad esempio i sistemi modulari in calcestruzzo inerbiti, Figura 2.8).

Una pavimentazione porosa può trattenere gli inquinanti (vicino alla fonte) riducendo il deflusso, diminuendo i picchi e aumentando l'ingresso di acqua nelle falde. Alcuni svantaggi, tuttavia, possono limitare l'utilizzo di questi sistemi, fra questi: il ridotto carico di traffico che possono supportare, occasionali prestazioni insoddisfacenti e rischio di contaminazione delle acque sotterranee a causa di possibili intasamenti della pavimentazione stessa. Inoltre, questi sistemi sono adatti solo a siti con pendenza moderata (Melbourne Water, 2016).

Revêtements perméables et poreux

Les revêtements perméables permettent l'infiltration des eaux pluviales, qui peuvent aussi être retenues temporairement dans un fond de gravillons ou de gros graviers, en attendant de s'infiltrer dans le terrain ou d'être acheminées dans le réseau d'égout.

Bien qu'il soit généralement fait référence aux systèmes de revêtement drainants, il convient de faire la distinction entre les revêtements poreux, où l'eau s'infiltre sur toute la surface du matériau (par exemple, systèmes d'herbe renforcés, gravier ou surfaces en terre battue, conglomerat bitumineux et ciment drainant) et les revêtements perméables, constitués d'éléments imperméables à l'eau en raison de leur nature, mais disposés de telle sorte qu'il puisse y avoir un écoulement entre les espaces de surface (par exemple, les systèmes modulaires en béton, enherbés, Figure 2.8).

Les revêtements poreux peuvent retenir les polluants (près de la source) réduisant, ainsi, le ruissellement, et permettant de diminuer les pics et d'augmenter l'entrée d'eau dans les nappes d'eau. Toutefois, certains inconvénients peuvent limiter l'utilisation de ces systèmes, notamment: la charge de circulation réduite qu'ils peuvent supporter, des performances parfois insuffisantes et le risque de contamination des eaux souterraines en raison du colmatage possible de la chaussée elle-même. De plus, ces systèmes ne conviennent qu'aux sites ayant une pente modérée (Melbourne Water, 2016).

**Figura 2.8.**

Un esempio di pavimentazione permeabile che utilizza sistemi modulari in calcestruzzo inerbiti

Figure 2.8.

Un exemple de revêtement perméable utilisant des systèmes modulaires en béton enherbés

Ponds

Detti anche wet retention basins, sono stagni che contengono uno specchio d'acqua permanente con vegetazione tipica delle aree umide e sono progettati per rimuovere gli inquinanti dall'acqua piovana. I processi di sedimentazione rimuovono particolato, materia organica e metalli. I nutrienti disciolti vengono rimossi attraverso l'assorbimento biologico (EPA, 1999).

Inoltre, negli stagni può essere predisposto lo stoccaggio temporaneo dell'acqua. I ponds sono poco adatti alle aree urbane ad alta densità. I vantaggi dei ponds includono una rimozione da moderata ad alta degli inquinanti urbani e provvedono all'habitat della fauna oltre ad offrire un valore estetico/riconoscitivo. I limiti di utilizzo dei ponds includono la necessità di un flusso continuo di base o supplementare (non dovrebbero essere costruiti in aree dove non vi sono precipitazioni sufficienti o su terreni altamente permeabili); la necessità di terreni pianeggianti o pendenze stabili; i potenziali impatti termici nell'acqua a valle e il rischio di riproduzione delle zanzare (IOWA Department of Natural Resources, 2009). Aree densamente urbanizzate possono precludere l'installazione di un pond e il clima locale (soprattutto la temperatura) può influenzare lo stato della vegetazione e quindi l'assorbimento biologico. Infine, gli stagni richiedono una manutenzione regolare. La pulizia e il mantenimento della vasca permanente è particolarmente importante: l'accumulo

Ponds

Appelés aussi wet retention basins, sont des étangs qui contiennent un plan d'eau permanent avec une végétation typique des zones humides et qui sont conçus pour éliminer les polluants de l'eau de pluie. Les processus de sédimentation éliminent les particules, les matières organiques et les métaux. Les nutriments dissous sont éliminés par absorption biologique (EPA, 1999).

En outre, un stockage temporaire de l'eau peut être prévu dans des étangs. Les ponds ou étangs ne conviennent pas aux zones urbaines à haute densité. Parmi les avantages des étangs, mentionnons l'élimination modérée à élevée des polluants urbains et l'habitat faunique ainsi que la valeur esthétique/récréative des étangs. Les limites de l'utilisation des ponds comprennent la nécessité d'un flux continu de base ou supplémentaire (ils ne devraient pas être construits dans des zones où les précipitations sont insuffisantes ou sur des terrains très perméables), le besoin de terrains plats ou avec des pentes stables, les éventuels impacts thermiques potentiels dans les eaux en aval et le risque de reproduction de moustiques (IOWA Department of Natural Resources, 2009). Les zones densément urbanisées peuvent empêcher la réalisation d'un étang et le climat local (en particulier la température) peut influencer l'état de la végétation et donc l'absorption biologique. Enfin, les étangs nécessitent un entretien régulier. Le nettoyage et l'entretien du bassin permanent sont particulièrement importants: l'accumulation de sédiments dans l'étang

di sedimenti nello stagno riduce la sua capacità di stoccaggio e le sue prestazioni ragion per cui il limo di fondo nelle vasche permanenti dovrebbe essere rimosso almeno ogni 2 - 5 anni (Clar et al., 2004).

Vegetative buffer/filter strips

Le Buffer strips sono elementi lineari costituiti da ghiaia o pavimentazione permeabile in grado di trattare l'acqua piovana nelle aree urbane e di convogliarla verso altri sistemi per la detenzione o l'infiltrazione. Hanno un maggiore appeal estetico se integrati con marciapiedi, cordoli e altri elementi. Le Buffer strips vegetate sono strisce di terreno con una copertura vegetale progettate per captare il deflusso superficiale e per facilitare l'attenuazione del sedimento e la rimozione degli inquinanti.

Le Buffer strips sono una tecnologia a basso costo utilizzata come strumento di convogliamento delle acque piovane, specialmente nei contesti residenziali di densità medio-bassa. Sono particolarmente efficaci per il trasporto dell'acqua piovana da un'area drenata verso un'altra fase del treatment train, ma possono anche essere progettati come strumenti di filtrazione o detenzione. Sono usate per trattare il deflusso da superfici impermeabili come strade, autostrade, tetti e piccoli parcheggi e come sistema per il pretrattamento prima del convogliamento in bacini di infiltrazione o in altri sistemi. Le piante più adatte per le strisce filtranti sono specie erbacee a bassa manutenzione che devono essere in grado di tollerare inondazioni periodiche e inquinanti (New York (N.Y.) et al., 2005).

Vegetative swales

Sono trincee poco profonde, canali aperti o pendii erbosi che possono sostituire i sistemi a condotti nel trasporto dell'acqua piovana. Le swales hanno di-

réduit sa capacité de stockage et ses performances et, par conséquent, le limon de fond dans les bassins permanents doit être éliminé au moins tous les 2 à 5 ans (Clar et al., 2004).

Vegetative buffer/filter strips

Les buffer strips (en français: bandes tampon) sont des éléments linéaires en gravier ou de revêtement perméable capables de traiter les eaux de pluie en milieu urbain et de les acheminer vers d'autres systèmes de rétention ou d'infiltration. Elles ont un plus grand attrait esthétique lorsqu'elles sont intégrées aux trottoirs, bordures et autres éléments. Les buffer strips végétalisées sont des bandes de terrain recouvertes d'une couverture végétale conçues pour capter l'écoulement superficiel et pour faciliter l'atténuation des sédiments et l'élimination des polluants.

Les buffer strips sont une technologie peu coûteuse utilisée comme moyen d'acheminement des eaux de pluie, en particulier dans les contextes résidentiels à densité moyenne-faible. Elles sont particulièrement efficaces pour acheminer l'eau de pluie d'une zone drainée à une autre étape de la chaîne de traitement, mais elles peuvent également être conçues comme des dispositifs de filtration ou de rétention. Elles sont utilisées pour le traitement des eaux de ruissellement provenant de surfaces imperméables comme les routes, les autoroutes, les toits et les petits parkings et comme système de prétraitement avant l'acheminement dans les bassins d'infiltration ou autres systèmes. Les plantes les plus adaptées aux bandes filtrantes sont les espèces herbacées à faible entretien qui doivent être capables de supporter des inondations périodiques et polluantes (New York (N.Y.) et al., 2005).

Vegetative swales

Les vegetative swales (en français: rigoles végétalisées) sont des tranchées peu profondes, des canaux ouverts ou de pentes her-

versi vantaggi rispetto alle pratiche convenzionali di gestione delle acque piovane, in particolare per la loro capacità di ridurre i picchi di flusso, rimuovere gli inquinanti e ridurre i costi: promuovendo l'infiltrazione del ruscellamento superficiale riducono il tasso e la quantità di acqua piovana che entra nei sistemi fognari e, di conseguenza, possono moderare il carico sulle fognature. Si tratta di una tecnologia tradizionalmente utilizzata come strumento di convogliamento delle acque piovane a basso costo, specialmente nei contesti residenziali di densità medio-bassa. Sono particolarmente efficaci per il trasporto dell'acqua piovana da un'area drenata verso un'altra fase del treatment train, ma possono anche essere progettati come strumenti di filtrazione o detenzione, a seconda dei livelli di vincoli del deflusso e delle profondità di ristagno appropriate al contesto. Tuttavia, le vegetated swales sono in genere inefficaci con alti volumi / alta velocità di flusso che possono erodere la copertura vegetata. Alcune altre limitazioni nell'uso delle swales possono verificarsi in aree con topografia molto piana o ripida, su terreni non drenati o erosivi e dove è difficile mantenere una copertura vegetativa densa. Gli impatti ambientali negativi delle swales vegetate possono includere il rischio di infiltrazione di inquinanti nelle falde acquifere locali (EPA, 1999).

Water squares

Le water squares uniscono la funzione di l'accumulo di acqua con la creazione di spazi pubblici fruibili. Entrambe le funzioni sono importanti soprattutto in aree urbane densamente urbanizzate. Questi sistemi non vegetati consistono in uno o più bacini pavimentati, solitamente asciutti, accessibili per usi ricreativi, ovvero utilizzabili come campi da basket o skatepark.

beuses qui peuvent remplacer les systèmes de canalisations pour le transport de l'eau de pluie. Les rigoles présentent plusieurs avantages par rapport aux pratiques conventionnelles de gestion des eaux pluviales, notamment leur capacité à réduire les pointes de flux, à éliminer les polluants et à réduire les coûts: en favorisant l'infiltration du ruissellement de surface, elles réduisent le taux et la quantité d'eau de pluie entrant dans les systèmes d'égout et, par conséquent, elles peuvent réduire la charge sur les installations d'évacuation des eaux d'égout. Il s'agit d'une technologie traditionnellement utilisée comme moyen d'acheminement des eaux de pluie, peu couteux, en particulier dans les contextes résidentiels à densité moyenne-faible. Elles sont particulièrement efficaces pour acheminer l'eau de pluie d'une zone drainée à une autre étape de la chaîne de traitement, mais elles peuvent également être conçues comme des dispositifs de filtration ou de rétention, en fonction des niveaux de contraintes d'écoulement et des profondeurs de stagnation appropriés au contexte. Cependant, les rigoles végétalisées sont généralement inefficaces avec des volumes/vitesse de débit élevés qui peuvent éroder la couverture végétale. D'autres limitations dans l'utilisation des rigoles peuvent se produire dans des zones à topographie très plate ou abrupte, sur des terrains non drainés ou érosifs et où il est difficile de maintenir une couverture végétale dense. Les impacts environnementaux négatifs des rigoles végétalisées peuvent inclure le risque d'infiltration de polluants dans les nappes souterraines locales (EPA, 1999).

Water squares

Les water squares (en français: espaces publics inondables) combinent la fonction de stockage de l'eau avec la création d'espaces publics utilisables. Ces deux fonctions sont importantes, en particulier dans les zones fortement urbanisées. Ces systèmes non végétalisés consistent en un ou plusieurs bassins pavés, généralement secs, accessibles à des fins récréatives, c'est-à-dire

I bacini, nel caso di eventi intensi, raccolgono l'acqua per cederla in un secondo tempo al sistema di smaltimento, riducendo in questo modo il rischio di sovraccarico. L'acqua raccolta viene filtrata prima di essere convogliata nei bacini e viene conservata meno di 32 ore per motivi igienici (European Commission, 2016; Longo et al., 2016). La duplice funzione delle water squares offre l'opportunità di investire denaro per le strutture di stoccaggio dell'acqua, fornendo allo stesso tempo spazi pubblici e aree ricreative nei quartieri più densi. Alcuni interessanti esempi di water squares sono stati recentemente realizzate a Rotterdam (Figure 2.9, 2.10) (De Urbanisten, 2016) e a Barcellona (<http://www.coll-leclerc.com>).

utilisés comme terrains de basket-ball ou comme skateparks.

En cas d'événements intenses, les bassins recueillent l'eau et l'acheminent ensuite au système d'évacuation, réduisant ainsi le risque de surcharge. L'eau ainsi récupérée est filtrée avant d'être acheminée vers les bassins et stockée pendant moins de 32 heures pour des raisons d'hygiène (European Commission, 2016; Longo et al., 2016). La double fonction des water squares offre la possibilité d'investir de l'argent dans des installations de stockage d'eau, tout en offrant des espaces publics et des espaces de loisirs dans des quartiers plus denses. Quelques exemples intéressants de water squares ont été réalisés récemment à Rotterdam (Figures 2.9, 2.10) (De Urbanisten, 2016) et à Barcelone (<http://www.coll-leclerc.com>).



Figure 2.9, 2.10. Watersquare a Rotterdam.



Figure 2.9, 2.10. Watersquare à Rotterdam.

2.5 La vegetazione per le infrastrutture verdi

Paola Sabbion

Considerando che piante prospere ed in salute hanno un ruolo fondamentale nel mantenerne la funzionalità, ma anche le caratteristiche estetiche, il successo di un sistema dipende dalla scelta appropriata delle specie. La selezione della vegetazione utilizzata per le infrastrutture verdi si basa sull'adeguatezza delle specie in base alle condizioni del

2.5 La végétation pour les infrastructures écologiques

Paola Sabbion

Etant donné que les plantes prospères et saines jouent un rôle fondamental dans le maintien du bon fonctionnement, mais aussi des caractéristiques esthétiques, le succès d'un système dépend du choix approprié de l'espèce. La sélection de la végétation utilisée pour les infrastructures vertes est basée sur l'adéquation des espèces en fonction des conditions du site

sito e ai requisiti programmatici delle piante (le specifiche esigenze botaniche, nonché il ruolo nel sito e nell'ambito di una più ampia comunità). Una selezione valida deve pertanto considerare le condizioni climatiche e del suolo, nonché le potenziali interazioni tra le specie e le esigenze di manutenzione future.

Solitamente i sistemi di infrastrutture verdi hanno una morfologia caratterizzata da una depressione del terreno in cui i margini sono irrigati solo occasionalmente mentre la parte più profonda è caratterizzata da un'umidità maggiore e più duratura del suolo. In queste aree le condizioni sono molto simili a quelle che si trovano nelle zone umide e nei margini di transizione tra ecosistemi terrestri e acquatici. Si tratta comunque di condizioni dinamiche caratterizzate da fluttuazioni più o meno marcate nel corso dell'anno. Non essendo la presenza di acqua costante e garantita, la scelta delle piante da inserire risulta piuttosto complessa.

Tuttavia, la lista di specie potenzialmente utili per le infrastrutture verdi è molto ampia. I criteri di selezione primari riguardano le caratteristiche botaniche e le condizioni pedoclimatiche del sito. Considerando il criterio di adattabilità al clima, la priorità di scelta ricade su specie tipiche della regione climatica o delle regioni climatiche affini a quella in cui si deve operare. Considerazioni caso per caso andranno fatte per le specie autoctone, naturalmente adattabili, o specie alloctone compatibili perché provenienti da zone climatiche simili.

Generalmente, le piante dovrebbero poter sopportare periodici allagamenti e allo stesso tempo essere in grado di affrontare condizioni di assenza di precipitazioni. Inoltre, se il suolo è contaminato da inquinanti organici e inorganici, sarà necessario selezionare specie in

et des exigences programmatiques des plantes (besoins botaniques spécifiques ainsi que le rôle dans le site et dans une communauté plus large). Une sélection appropriée doit donc tenir compte des conditions climatiques et pédologiques, ainsi que des interactions potentielles entre les espèces et des besoins d'entretien futurs.

Habituellement, les systèmes d'infrastructures vertes ont une morphologie caractérisée par une dépression du sol dans laquelle les marges ne sont qu'occasionnellement irriguées tandis que la partie la plus profonde est caractérisée par une humidité du sol plus élevée et plus durable. Dans ces zones, les conditions sont très semblables à celles que l'on trouve dans les milieux humides et dans les marges de transition entre les écosystèmes terrestres et aquatiques. Il s'agit toutefois de conditions dynamiques caractérisées par des fluctuations plus ou moins marquées au cours de l'année. La présence d'eau n'étant pas constante et garantie, le choix des plantes à insérer est assez complexe.

Cependant, la liste des espèces potentiellement utiles pour les infrastructures vertes est extrêmement vaste. Les principaux critères de sélection concernent les caractéristiques botaniques et les conditions pédoclimatiques du site. Compte tenu du critère de l'adaptabilité au climat, la priorité du choix porte sur les espèces typiques de la région climatique ou de régions climatiques similaires à celle dans laquelle on doit opérer. Des considérations au cas par cas devraient être prises en compte pour les espèces indigènes, qui sont naturellement adaptables, ou les espèces non indigènes compatibles parce qu'elles proviennent de zones climatiques similaires.

En général, les plantes devraient être capables à la fois de résister à des inondations périodiques et de faire face à des conditions d'absence de précipitations. De plus, si le sol est contaminé par des polluants or-

grado di offrire prestazioni di fitodepurazione. Le specie vegetali più adatte in queste situazioni sono quelle in grado di espandere il loro apparato radicale in profondità nel suolo e quindi di drenare l'acqua in tempi relativamente veloci.

ganiques et inorganiques, il sera nécessaire de sélectionner des espèces qui offrent des performances de phytodépuration. Les espèces végétales les plus appropriées dans ces situations sont celles qui peuvent développer leur système racinaire en profondeur dans le sol et ainsi drainer l'eau relativement rapidement.

Tabella 2.3.

Schema dei criteri di selezione delle specie vegetali:

Tableau 2.3.

Plan des critères de sélection des espèces végétales:

CONDIZIONI DEL CONTESTO CONDITIONS DU CONTEXTE	CARATTERISTICHE SPECIE CARACTÉRISTIQUES DES ESPÈCES	REQUISITI PROGRAMMATIVI CRITÈRES DE PROGRAMMATION
temperatura max/min températures max/min temperature medie températures moyennes	rusticità rusticité	specie rustiche espèces rustiques
regime pluviometrico régime pluviométrique	tolleranza in assenza di irrigazione tolérance en absence d'irrigation	basse esigenze idriche faibles besoins en eau
regime pluviometrico régime pluviométrique	resistenza ad allagamenti temporanei résistance à des inondations temporaires	specie igofile/idee per la filtrazione espèces hygrophiles/adaptées à la filtration
soleggiamento ensoleillement	tolleranza all'ombreggiamento tolérance à l'ombrage	specie adattabili alle condizioni specifiche di soleggiamento espèces adaptables aux conditions spécifiques d'ensoleillement
substrato substrat	tolleranza substrati difficili tolérance substrats difficiles	specie resistenti ad inquinanti espèces résistant aux polluants
esigenze estetiche exigences esthétiques	fogliame/fioriture ornamentali feuillage/fleurs ornementaux	specie dal valore ornamentale espèce avec valeur ornementale
biodiversità biodiversité	attrattività per la biodiversità Attractivité pour la biodiversité	specie benefiche per la biodiversità espèces bénéfiques pour la biodiversité
reperibilità repérabilité	facilità di reperibilità facilité de repérabilité	disponibilità delle specie presso i produttori Disponibilité des espèces chez les producteurs

Potenzialmente si ha a disposizione un gran numero di piante tra cui scegliere, soprattutto nell'insieme delle erbacee perenni. È inoltre necessario tenere in considerazione anche arbusti e, qualora lo spazio disponibile fosse adeguato, piccoli alberi. Le specie annuali potrebbero essere idonee, ma il rischio che i bulbi possano marcire quando il suolo rimane umido a lungo fa sì che siano sconsigliate.

Il existe potentiellement un grand nombre de plantes parmi lesquelles choisir, surtout parmi les plantes herbacées vivaces. Les arbustes et, si l'espace disponible est suffisant, les petits arbres devraient également être pris en compte. Les espèces annuelles peuvent convenir, mais elles sont déconseillées en raison du risque de pourriture des bulbes lorsque le sol reste humide pendant une longue période.

In letteratura si trovano alcune sperimentazioni d'oltreoceano che riguardano soprattutto piante erbacee tipiche della prateria nordamericana. Tali studi misurano la tolleranza delle specie rispetto a un numero consecutivo di giorni di inondazione. Alcuni di questi studi hanno preso in considerazione fluorescenza clorofilliana.

A titolo di esempio, si riportano i risultati di un recente studio (Yuan and Dunnett, 2018), in cui sono state prese in considerazione 15 specie di erbacee perenni che sono state sottoposte a periodici allagamenti per simulare i cicli di inondazione di un rain garden (sistema di bioritenzione descritto nel capitolo precedente). Lo stress delle piante è stato valutato attraverso la misura della fluorescenza clorofilliana. Lo studio è stato condotto in serra con un substrato misto di sabbia, argilla e materiale organico (pH 7,00-9,00). L'esperimento ha dimostrato un 100% di sopravvivenza di tutte le 15 specie, sebbene la risposta fisiologica e il grado di crescita delle specie fosse variato. Tutte le 15 specie hanno mostrato di adattarsi al regime idrologico, in quanto nessuna di esse ha mostrato peggioramento della crescita nell'intervallo di tempo. Dallo studio emerge, tuttavia, l'importanza di evitare la stagnazione dell'acqua per un tempo superiore alle 24 ore.

Le specie tipiche delle zone umide si sono dimostrate in grado di sopportare inondazioni continue, nel gradiente seguono le specie tipiche degli ambienti non permanentemente umidi che sopportano periodiche o stagionali inondazioni; a seguire ancora le specie degli habitat tipici dei climi temperati che sopportano inondazioni non frequenti e infine specie che derivano da habitat da secchi ad aridi che sono intolleranti alle inondazioni. La maggior parte delle specie considerate erano in grado di far fronte a inondazioni poco frequenti o stagionali, che costituiscono le due opzio-

Dans la littérature, on trouve des expériences outre-Atlantique portant principalement sur des plantes herbacées typiques de la prairie nord-américaine. Ces études mesurent la tolérance de l'espèce par rapport à un nombre consécutif de jours d'inondation. Certaines de ces études ont envisagé la fluorescence chlorophyllienne.

A titre d'exemple, les résultats d'une étude récente (Yuan and Dunnett, 2018), dans laquelle 15 espèces de plantes herbacées vivaces ont été prises en considération, qui ont été soumises à des inondations périodiques pour simuler les cycles d'inondation d'un jardin pluvial (système de biorétention décrit dans le chapitre précédent). Le stress des plantes a été évalué en mesurant la fluorescence chlorophyllienne. L'étude a été menée dans une serre avec un substrat mixte de sable, d'argile et de matière organique (pH 7,00-9,00). L'expérience a montré une survie de 100 % des 15 espèces, bien que la réponse physiologique et le taux de croissance de l'espèce varient. Il a été démontré que les 15 espèces s'adaptent toutes au régime hydrologique, car aucune d'entre elles n'a montré de détérioration de sa croissance au fil du temps. Cependant, l'étude montre qu'il est important d'éviter la stagnation de l'eau pendant plus de 24 heures.

Les espèces typiques des zones humides se sont révélées capables de résister à des inondations continues; dans le gradient, ces espèces sont suivies des espèces typiques des milieux humides non permanents qui résistent aux inondations périodiques ou saisonnières, suivies par les espèces d'habitats typiques des climats tempérés résistant aux inondations peu fréquentes et enfin par les espèces dérivant des habitats secs aux arides qui sont intolérantes aux inondations. La plupart des espèces considérées ont pu faire face à des inondations peu fréquentes ou saisonnières, qui sont les deux options les plus fréquentes dans le cas des infrastructures vertes réa-

ni più frequenti nel caso di infrastrutture verdi realizzate in ambito urbano. Ai due estremi abbiamo la *Caltha palustris*, tipica di condizioni di suolo regolarmente saturo e la *Gaura sp.* che è risultata poco tollerante alle inondazioni. Il *Miscanthus sinensis*, che naturalmente cresce lungo i margini dei ruscelli o delle zone umide, sopporta bene periodiche inondazioni.

Tabella 2.4. Adattabilità delle specie rispetto alle condizioni di umidità del suolo (frequenza di inondazione) (Yuan and Dunnett, 2018)

SPECIE ESPECE	SALTUARIA OCCASIONNELLE	PERIODICA/STAGIONALE OCCASIONNELLE	CONTINUA CONTINUE
<i>Astibe sp</i>	X	X	X
<i>Calamagrostis sp</i>			X
<i>Caltha palustris</i>			X
<i>Gaura sp</i>	X	X	
<i>Hemerocallis sp</i>	X	X	X
<i>Iris sibirica</i>	X	X	X
<i>Miscanthus sinensis</i>	X	X	X
<i>Rudbeckia fulgida</i>	X	X	
<i>Sanguisorba sp</i>	X	X	X
<i>Veronicastrum sp</i>	X	X	X

Nell'ambito della selezione delle specie, in via generale è necessario procedere secondo diversi ordini di criteri:

- le condizioni climatiche del sito;
- le necessità specifiche del rain garden, che deve autosostenersi nel tempo in assenza di irrigazioni e garantire le prestazioni di filtrazione e resistenza ad allagamenti temporanei;
- l'impiego di specie dal valore ornamentale e/o benefiche per la biodiversità;
- la disponibilità delle piante nei vivai locali.

Le caratteristiche delle piante devono essere quindi valutate in particolare in

lisées dans les zones urbaines. Aux deux extrêmes, on trouve le *Caltha palustris*, typique des sols régulièrement saturés, et le *Gaura sp.* qui s'est avéré peu tolérant aux inondations. Le *Miscanthus sinensis*, qui pousse naturellement le long des rives des cours d'eau ou de zones humides, résiste bien aux inondations périodiques.

Tableau 2.4. Adaptabilité des espèces aux conditions d'humidité du sol (fréquence des inondations) (Yuan and Dunnett, 2018)

Dans le cadre de la sélection des espèces, il est généralement nécessaire de procéder selon différents ordres de critères:

- les conditions climatiques du site;
- les besoins spécifiques du jardin pluvial, qui doit être autonome dans le temps en l'absence d'irrigation et assurer la performance de filtration et la résistance aux inondations temporaires;
- l'utilisation d'espèces ayant une valeur ornementale et/ou bénéfiques pour la biodiversité;
- la disponibilité des plantes dans les pépinières locales.

Les caractéristiques des plantes doivent donc être évaluées notamment en fon-

relazione a ciclo vitale, apparato fogliare, apparato radicale, fioritura. A queste caratteristiche sono correlate le esigenze culturali, in particolare rispetto a rusticità, esigenze idriche, esposizione, pH del suolo, etc.

L'efficacia di rimozione degli inquinanti è correlata alla capacità di rallentare il flusso, alla densità della vegetazione e al vigore dell'apparato radicale delle piante. Le sostanze inquinanti vengono rimosse grazie all'azione filtrante delle piante erbacee e all'infiltrazione nel sottosuolo. In generale, le specie erbacee sono più efficaci e offrono un migliore controllo dell'erosione rispetto ad altri tipi di vegetazione. L'uso di varietà di erbacee a crescita lenta e tolleranti condizioni difficili del suolo ridurrà al minimo la manutenzione ordinaria (sfalcio e concimazione).

Per quanto riguarda gli aspetti manutentivi, le specie che richiedono una bassa manutenzione sono le più appropriate. Specie autoctone o alloctone ben adattabili hanno, di norma, basse esigenze manutentive. Le piante selezionate devono essere resistenti alle comuni fitopatologie, non necessitare di potature né di irrigazione. La necessità di concimazioni supplementari può essere sostanzialmente ridotta quando la copertura vegetativa include una percentuale di specie che fissano l'azoto come le leguminose. Oltre a ridurre al minimo i costi di manutenzione, una riduzione del fertilizzante applicato ridurrà anche i potenziali effetti nocivi dell'azoto e del deflusso di nitrati nella falda.

I principi generali di piantumazione per le erbacee riguardano la piantagione densa (almeno 6/10 piante al metro quadro), da regolare in base alla specie utilizzata, fattore che aumenta la densità radicale e aiuta a mantenere la permeabilità della superficie (Clar et al., 2004).

ction de leur cycle de vie, de leur système foliaire, de leur système racinaire et de leur floraison. A ces caractéristiques sont liées les exigences de culture, en particulier en ce qui concerne la rusticité, les besoins en eau, l'exposition, le pH du sol, etc.

L'efficacité de l'élimination des polluants est liée à la capacité de ralentir l'écoulement, à la densité de la végétation et à la vigueur du système racinaire des plantes. Les substances sont éliminées grâce à l'action filtrante des plantes herbacées et à l'infiltration dans le sous-sol. En général, les espèces herbacées sont plus efficaces et offrent un meilleur contrôle de l'érosion que les autres types de végétation. L'utilisation de variétés herbacées à croissance lente tolérant des conditions de sol difficiles minimisera l'entretien courant (fauchage et fertilisation).

En ce qui concerne les aspects d'entretien, les espèces nécessitant peu d'entretien sont les plus appropriées. Les espèces indigènes ou non indigènes bien adaptées ont normalement peu besoin d'entretien. Les plantes sélectionnées doivent résister aux pathologies végétales courantes, et ne nécessiter ni taille ni irrigation. La nécessité d'une fertilisation supplémentaire peut être considérablement réduite lorsque la couverture végétale comprend un pourcentage d'espèces fixatrices d'azote telles que les légumineuses. En plus de réduire au minimum les coûts d'entretien, une réduction de l'engrais utilisé réduira également les effets nocifs potentiels du ruissellement de l'azote et l'écoulement des nitrates dans la nappe souterraine.

Les principes généraux de plantation pour les plantes herbacées concernent la plantation dense (au moins 6/10 plantes par mètre carré), à ajuster en fonction des espèces utilisées, ce qui augmente la densité racinaire et contribue à maintenir la perméabilité de la surface (Clar et al., 2004).

Gli arbusti sono elementi stabili che possono anche costituire delle barriere per impedire l'accesso del pubblico se è necessario. Qualche piccolo albero può essere utilizzato per dare diversità all'insieme allorché lo spazio lo consente, ma gli alberi non devono essere piantati troppo vicini a inlet e outlet o altre strutture di drenaggio, dove le loro radici potrebbero interferire con l'integrità strutturale del sistema. È necessario valutare attentamente l'impiego di alberi, anche perché essi possono ombreggiare il manto erboso o le piante erbacee ed arbustive, con conseguenze negative sul sistema. Inoltre, la caduta di foglie dagli alberi può contribuire allo sviluppo di nutrienti indesiderati, aumentando le necessità manutentive. L'impianto di alberi dovrebbe essere attentamente pianificato ed eseguito per evitare questi potenziali problemi.

Il periodo migliore per mettere a dimora le piante è durante la stagione autunnale, quando il suolo è ancora caldo e le piante, che si avviano verso il riposo vegetativo, hanno meno esigenze manutentive. In alcuni casi, o con la messa a dimora in stagioni più calde, potrebbe essere necessario prevedere un impianto di irrigazione a supporto delle piante appena messe a dimora (per un periodo massimo di due anni). Prima che il sistema entri in funzione, è importante che la copertura vegetativa sia densa e vigorosa.

Se vi è la necessità di realizzare superfici a prato (come nel caso della messa in opera di basin o swale), il manto erboso può essere realizzato con specie che presentano una buona rusticità (fino a -10°C circa) e sono resistenti a calpestio. È necessario scegliere la composizione di sementi più adatta al sito, basata sull'adeguatezza anche in termini di tolleranza al calore, adattamento dell'altezza di taglio, tolleranza alla siccità e costi di manutenzione. Nella fascia

Les arbustes sont des éléments stables qui peuvent également constituer des barrières pour empêcher l'accès du public si nécessaire. Certains petits arbres peuvent être utilisés pour donner de la diversité à l'ensemble lorsque l'espace le permet, mais les arbres ne devraient pas être plantés trop près d'inlet (entrées) et d'outlet (sorties) ou d'autres structures de drainage, car leurs racines pourraient nuire à l'intégrité structurale du système. L'utilisation des arbres doit être envisagée avec soin, notamment parce qu'ils peuvent ombrager le gazon ou les plantes herbacées et arbustives, avec des conséquences négatives pour le système. De plus, la chute des feuilles des arbres peut contribuer au développement d'éléments nutritifs indésirables, ce qui augmente les besoins d'entretien. La plantation d'arbres doit être soigneusement planifiée et exécutée pour éviter ces problèmes potentiels.

Le meilleur moment pour planter les plantes est à l'automne, lorsque le sol est encore chaud et que les plantes, qui se dirigent vers le repos, ont moins besoin d'entretien. Dans certains cas, ou en cas de plantation pendant les saisons chaudes, il peut être nécessaire de prévoir un système d'irrigation pour soutenir les plantes nouvellement plantées (pour une période maximale de deux ans). Avant la mise en service du système, il est important que la couverture végétale soit dense et vigoureuse.

S'il est nécessaire de créer des espaces gazonnés (comme dans le cas de l'installation d'un bassin ou d'une rigole), le gazon peut être réalisé avec des espèces qui ont une bonne rusticité (jusqu'à -10°C environ) et qui résistent au piétinement. Il est nécessaire de choisir la composition de semence la plus appropriée pour le site, en fonction de son adéquation en termes de tolérance à la chaleur, d'adaptation à la hauteur de coupe, de tolérance à la sécheresse et de coûts d'entretien. Dans la zone clima-

climatica mediterranea, per esempio, si potrebbero impiegare specie quali *Dichondra sp* e *Zoysia sp*. Alle nostre latitudini l'epoca ideale per la semina è durante i mesi di maggio-giugno, con temperature del suolo ideali per la germinazione. Al di sopra dei 20° C il tasso di germinazione aumenta e raggiunge il culmine tra i 30° e i 35°; è sconsigliabile invece la semina con temperature del suolo inferiori ai 18°C.

Alcune considerazioni possono essere fatte per quanto riguarda la biodiversità. La diversità biologica comprende la varietà e la variabilità tra organismi viventi e i complessi ecologici in cui essi vivono. Contribuire ad arricchire la complessità ecologica urbana attraverso l'impiego di una varietà di specie che vadano a formare una nuova comunità è un fattore positivo, soprattutto quando le ricadute sulla biodiversità possono interessare anche gli aspetti faunistici (ad es. avifauna e insetti).

Infine, la composizione estetica del rain garden riguarda gli accostamenti delle diverse piante, la tessitura del fogliame, l'epoca ed il colore delle fioriture. Piante erbacee perenni e erbe ornamentali possono essere combinate con arbusti sempreverdi che producono fiori e bacche in modo che l'area rimanga interessante anche durante la stagione invernale. Una composizione paesaggistica efficace dell'insieme sarà senz'altro esteticamente più gradevole, contribuendo a migliorare la qualità del sito in cui si inserisce. Per garantire tali prestazioni il sistema deve essere in salute anche dal punto di vista funzionale, per cui è necessario che le piante possano mantenersi sane e rigogliose nel tempo.

tique méditerranéenne, il serait possible d'envisager, par exemple, des espèces telles que *Dichondra sp* et *Zoysia sp*. Sous nos latitudes, le moment idéal pour semer est pendant les mois de mai-juin, avec des températures du sol idéales pour la germination. Au-delà de 20°C, le taux de germination augmente et atteint un pic entre 30°C et 35°C; en revanche, les semis sont déconseillés avec des températures du sol inférieures à 18°C.

Certaines considérations peuvent être prises en compte en ce qui concerne la biodiversité. La diversité biologique comprend la variété et la variabilité entre les organismes vivants et les complexes écologiques dans lesquels ils vivent. Aider à enrichir la complexité écologique urbaine par l'utilisation d'une variété d'espèces pour former une nouvelle communauté est un facteur positif, surtout lorsque les effets sur la biodiversité peuvent également affecter la faune (p. ex. oiseaux et insectes).

Enfin, la composition esthétique du jardin pluvial concerne la combinaison des différentes plantes, la texture du feuillage, la période et la couleur des fleurs. Les plantes herbacées vivaces et les graminées ornementales peuvent être combinées avec des arbustes à feuillage persistant qui produisent des fleurs et des baies de sorte que la zone demeure intéressante même pendant la saison d'hiver. Une composition paysagère efficace de l'ensemble sera certainement plus esthétique et contribuera à améliorer la qualité du site dans lequel il s'intègre. Pour assurer cette performance, le système doit également être sain d'un point de vue fonctionnel, de sorte qu'il est nécessaire que les plantes puissent rester saines et luxuriantes dans le temps.

Tabella 2.5. Esempi di piante erbacee perenni e arbustive adatte ai sistemi/componenti di controllo analizzati

NOME / NOM:
Achillea sp

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	60 - 70
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	ATTRAE FARFALLE ATTIRE LES PAPILLONS

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Arbutus unedo

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	150
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	AUTUNNO AUTOMNE
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	BACCHE DECORATIVE BAIES DÉCORATIVES

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Aster dumosus

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE SOLEIL
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	30 - 70
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	COLORI FIORITURA COULEURS FLORAISON

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Athyrium sp

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	1,2,3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	60 - 70
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	-
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	TOLLERA BENE L'UMIDITÀ TOLÈRE BIEN L'HUMIDITÉ

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Carex testacea

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	1,2,3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/OMBRA SOLEIL/OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	20 - 40
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	COLORE FOGLIAME FEUILLAGE COLORÉ

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF-SWALE-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE
 RIGOLE VÉGÉTALISÉE-BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:
Coreopsis sp

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	30 - 50
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	COLORI FIORITURA COULEURS FLORAISON

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Deschampsia cespitosa

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	25 - 30
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	COLORI INVERNALI COULEURS HIVERNALES

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE
 BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:
Dicentra sp

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/OMBRA SOLEIL/OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	30
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	PRIMAVERA PRINTEMPS
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	COLORI FIORITURA COULEURS FLORAISON

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:*Dichondra repens***RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):**

1,2,3

S/C / S/C:

S

ESPOSIZIONE / EXPOSITION:

SOLE/OMBRA SOLEIL/OMBRE

H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):

3 - 5

EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:

PRIMAVERA PRINTEMPS

ESIGENZE IDRICHÉ / BESOINS EN EAU:

BASSE FAIBLES

NOTE / REMARQUES:

COPRISUOLO/PRATO COUVRE-SOL/PELOUSE

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:

SWALE-INFILTRATION BASIN-GREEN ROOF / RIGOLE VÉGÉTALISÉE-BASSIN D'INFILTRATION

TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:*Echinacea sp***RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):**

3

S/C / S/C:

C

ESPOSIZIONE / EXPOSITION:

SOLE SOLEIL

H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):

70 - 90

EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:

ESTATE/AUTUNNO ÉTÉ/AUTOMNE

ESIGENZE IDRICHÉ / BESOINS EN EAU:

MÉDIE MODÉRÉS

NOTE / REMARQUES:

COLORI FIORITURA COULEURS FLORAISON

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:

RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:*Festuca sp***RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):**

3

S/C / S/C:

S

ESPOSIZIONE / EXPOSITION:

SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE

H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):

20 - 30

EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:

-

ESIGENZE IDRICHÉ / BESOINS EN EAU:

BASSE FAIBLES

NOTE / REMARQUES:

COLORE FOGLIA/MEILLEURE COLORATION

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:

RAIN GARDEN-SWALE-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-RIGOLE VÉGÉTALISÉE-BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:*Iris tenax***RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):**

1,2,3

S/C / S/C:

S

ESPOSIZIONE / EXPOSITION:

SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE

H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):

30 - 45

EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:

PRIMAVERA PRINTEMPS

ESIGENZE IDRICHÉ / BESOINS EN EAU:

MÉDIE MODÉRÉS

NOTE / REMARQUES:

FIORITURA ABBONDANTE FLORAISON ABONDANTE

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:

RAIN GARDEN-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:
Juncus sp

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	100 - 150
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE/ALTE MODÉRÉS/ÉLEVÉS
NOTE / REMARQUES:	PORTEMENTO PORT

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-SWALE-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-RIGOLE VÉGÉTALISÉE-BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:
Lavandula angustifolia

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE SOLEIL
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	60 - 120
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	PROFUMO FIORI E FOGLIE / ATTRAE API PARFUM DES FLEURS ET FEUILLES / ATTIRE LES ABEILLES

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Lonicera pileata

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	50 - 80
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	PRIMAVERA PRINTEMPS
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	COPRISUOLO COUVRE-SOL

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Mahonia aquifolium

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	150 - 200
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	PRIMAVERA PRINTEMPS
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	FIORI E BACCHE FLEURS ET BAIES

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
 RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Miscanthus sinensis

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	2,3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	60 - 120
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	COLORE FOGLIAUME FEUILLAGE COLORÉ

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE
BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:
Ophiopogon japonicus

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	3
S/C / S/C:	S
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	20 - 30
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	PRIMAVERA PRINTEMPS
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	COPRISUOLO COUvre-SOL

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:
Pennisetum alopecuroides

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	30 - 40
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	BASSE FAIBLES
NOTE / REMARQUES:	SPIGHE EPIS

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF-INFILTRATION BASIN / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE
BASSIN D'INFILTRATION

NOME / NOM:
Rudbeckia sp

RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):	3
S/C / S/C:	C
ESPOSIZIONE / EXPOSITION:	SOLE SOLEIL
H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):	30 - 90
EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:	ESTATE ÉTÉ
ESIGENZE IDRICHES / BESOINS EN EAU:	MEDIE MODÉRÉS
NOTE / REMARQUES:	COLORE FIORI / ATTRAE API COULEUR DES FLEURS / ATTIRE LES ABEILLES

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:
RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:

Viburnum sp



RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):

2,3

C/S

ESPOSIZIONE / EXPOSITION:

SOLE/MEZZ'OMBRA SOLEIL/MI-OMBRE

H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):

80 - 100

EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:

PRIMAVERA PRINTEMPS

ESIGENZE IDRICHE / BESOINS EN EAU:

BASSE FAIBLES

NOTE / REMARQUES:

FIORI E BACCHE FLEURS ET BAIES

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:

RAIN GARDEN-GREEN ROOF / JARDIN PLUVIAL-TOITURE VÉGÉTALISÉE

NOME / NOM:

Zoysia japonica



RUSTICITÀ / RUSTICITÉ (1,2,3):

1,2,3

S

ESPOSIZIONE / EXPOSITION:

SOLE/OMBRA SOLEIL/OMBRE

H MEDIA (CM) / H MOYENNE (CM):

2 - 20

EPOCA FIORITURA / EPOQUE DE FLORAISON:

-

ESIGENZE IDRICHE / BESOINS EN EAU:

BASSE FAIBLES

NOTE / REMARQUES:

COPRISUOLO/PRATO COUVRE-SOL/PELOUSE

SISTEMA/COMPONENTE DI CONTROLLO DI RIFERIMENTO / SYSTÈME/COMPOSANTE DE CONTRÔLE DE RÉFÉRENCE:

GREEN ROOF-SWALE-INFILTRATION BASIN / TOITURE VÉGÉTALISÉE-RIGOLE VÉGÉTALISÉE

BASSIN D'INFILTRATION

3

Schede per la progettazione di sistemi per la gestione delle acque meteoriche **Conseils pour la conception de systèmes de gestion des eaux pluviales**



3.1 Premessa

Adriano Magliocco

In un quadro di gestione sostenibile delle acque meteoriche è necessario eseguire il trattamento del runoff quanto più vicino possibile alla sorgente. A questo scopo le diverse componenti di controllo vengono disposte in serie, provvedendo alla connessione delle componenti attraverso strumenti di convogliamento alternativi a quelli tradizionali. Attraverso i sistemi di pretrattamento e convogliamento (es. vegetative buffer strips, swales, o bacini di detenzione), l'acqua viene trasportata verso i sistemi di trattamento per la filtrazione (es. strisce o trincee filtranti, sistemi di bioritenzione) e l'infiltrazione (es. infiltration trench, infiltration basins).

L'intero sistema nel suo complesso viene definito treatment train, ossia una sequenza di strategie e componenti con caratteristiche differenti in grado di agire su più fronti per ottenerne la gestione sostenibile delle acque meteoriche (vedi capitolo precedente).

Nei manuali messi a disposizione dai diversi Paesi vengono illustrati i singoli strumenti di gestione delle acque meteoriche secondo la distinzione dei componenti strutturali in funzione della loro applicabilità e funzione (come descritto nel capitolo precedente).

Di seguito sono trattati alcuni tra i più comuni sistemi di controllo.

I sistemi sono stati selezionati per le loro caratteristiche di adattabilità all'ambiente urbano anche denso. I sistemi presentati sono tutti vegetati: utilizzano quindi specie vegetali vive e hanno pertanto una funzione anche di tipo qualitativo (ovvero contribui-

3.1 Introduction

Adriano Magliocco

Dans le cadre d'une gestion durable des eaux pluviales, le traitement des eaux de ruissellement doit être effectué le plus près possible de la source. Pour cela, les différents éléments de contrôle sont disposés en série, ce qui permet de raccorder ces composants à l'aide de moyens d'acheminement alternatifs aux moyens traditionnels. Grâce aux systèmes de prétraitement et d'acheminement (par ex. bandes tampon végétatives, rigoles ou bassins de rétention), l'eau est acheminée vers les systèmes de traitement pour filtration (par ex. bandes ou tranchées filtrantes, systèmes de biorétenion) et infiltration (par ex. tranchées d'infiltration, bassins d'infiltration).

L'ensemble du système est défini comme un treatment train (chaîne de traitement), c'est-à-dire une séquence de stratégies et de composantes aux caractéristiques différentes qui peuvent agir sur plusieurs fronts pour parvenir à une gestion durable des eaux de pluie (voir chapitre précédent).

Les manuels fournis par les différents pays illustrent les différents outils de gestion des eaux pluviales selon la distinction des composants structurels en fonction de leur applicabilité et de leur fonction (comme décrit dans le chapitre précédent).

Certains des systèmes de contrôle les plus courants sont décrits ci-dessous.

Les systèmes ont été sélectionnés pour leurs caractéristiques d'adaptabilité à l'environnement urbain, même dense. Les systèmes présentés sont tous végétalisés: ils utilisent donc des espèces végétales vivantes et ont donc aussi une fonction qualitative (c'est-à-dire qu'ils

scono al miglioramento della qualità dell'acqua). Si tratta pertanto di componenti multifunzionali, che agiscono sul controllo della quantità, della qualità dell'acqua e sulle funzioni abbinate alla presenza di vegetazione (sia di tipo ecologico che estetico). Inoltre, i sistemi presentati intervengono in diversi fasi del treatment train, sia in fase di pretrattamento, che di controllo (filtrazione, infiltrazione, convogliamento).

Per ogni sistema è illustrata una descrizione sintetica seguita da schede per la pianificazione e la progettazione. Infine sono brevemente descritti altri sistemi che possono essere integrati nell'ambiente urbano per il miglioramento della gestione delle acque meteoriche.

Si segnala che l'eventuale pretrattamento delle acque di prima pioggia deve essere pianificato in accordo con la normativa/linee guida comunali e regionali.

Nelle seguenti schede sono riportate indicazioni per la progettazione di alcuni sistemi/componenti di controllo, infrastrutture verdi che è possibile insediare in area urbana, con la esplicita finalità di gestire le acque piovane quantitativamente e qualitativamente prima che queste vengano assorbite dal terreno o inviate al sistema di smaltimento.

Sono poi citate le indicazioni bibliografiche utili al reperimento di informazioni di maggior dettaglio per la progettazione delle infrastrutture verdi. I diversi sistemi vengono riportati conservandone il nome in inglese, in quanto utilizzati in tutto il mondo e un tentativo di loro traduzione non porterebbe alcun giovamento ai fini della loro individuazione.

contribuent à l'amélioration de la qualité des eaux). Il s'agit donc d'éléments multifonctionnels, qui agissent sur le contrôle de la quantité, de la qualité de l'eau et sur les fonctions associées à la présence de végétation (écologique et esthétique). De plus, les systèmes présentés interviennent dans les différentes phases de la chaîne de traitement, tant dans la phase de prétraitement que dans celle de contrôle (filtration, infiltration, acheminement).

Une brève description est fournie pour chaque système, suivie de fiches de planification et de conception. Enfin, d'autres systèmes qui peuvent être intégrés dans l'environnement urbain pour améliorer la gestion des eaux pluviales sont brièvement décrits.

Il est à noter que tout prétraitement de la première eau de pluie doit être planifié conformément aux réglementations/directives municipales et régionales.

Les fiches suivantes contiennent des indications pour la conception de certains systèmes/éléments de contrôle et infrastructures vertes qui peuvent être installés en milieu urbain, dans le but explicite de gérer quantitativement et qualitativement les eaux pluviales avant que celles-ci ne soient absorbées par le terrain ou acheminées vers le système d'élimination.

Les indications bibliographiques utiles pour trouver des informations plus détaillées pour la conception des infrastructures vertes sont également citées. Les différents systèmes conservent leur nom en anglais, car ils sont utilisés dans le monde entier et une tentative de traduction n'apporterait aucun avantage pour les identifier.

I sistemi considerati sono: Infiltration Basin, Green Roof, Rain Garden, Vegetative Swale.

Ogni scheda riporta, sotto il titolo, le principali caratteristiche del sistema in oggetto e per quali scopi è generalmente utilizzato, con uno schema grafico che ne individua la morfologia e la sua usuale posizione nel treatment train (l'insieme degli elementi che compongono il sistema di raccolta, trattamento e smaltimento delle acque piovane, descritto nel capitolo precedente).

Nel primo paragrafo "Pianificazione", vengono indicate le caratteristiche morfologico-dimensionali dell'area che può proficuamente ospitarlo (pendenza, presenza di altri elementi, ecc.), il tipo di superficie idonea (es. impermeabile o permeabile) e la possibilità di impiegarlo insieme ad altri sistemi, oltre al possibile ruolo ecologico che può avere in relazione alle sue caratteristiche e posizione. Vengono quindi date indicazioni relative alla necessità di procurarsi dati climatici e di valutare le caratteristiche del suolo.

Nel secondo paragrafo "Progettazione", si danno indicazioni sulle fasi progettuali da affrontare. Si indicano le caratteristiche di massima del terreno da impiegare in relazione alla funzione che ha il sistema (potrebbe dover essere modificato quello preesistente). Si indicano le modalità di individuazione dell'inflow (flusso d'acqua in ingresso) e dell'overflow (flusso d'acqua in eccesso da gestire in situazioni meteorologiche critiche).

Viene quindi proposto un approccio al dimensionamento e forniti alcuni elementi dimensionali da considerarsi come riferimento.

Les systèmes étudiés sont donc: Infiltration Basin, Green Roof, Rain Garden, Vegetative Swale.

Chaque fiche indique, sous le titre, les principales caractéristiques du système en question et à quelles fins il est généralement utilisé, avec un schéma identifiant la morphologie et sa position habituelle dans le treatment train (l'ensemble des éléments composant le système de collecte, traitement et évacuation des eaux de pluie, décrit dans le chapitre précédent).

Le premier paragraphe «Planification» indique les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles de la zone où le système peut être utilement mis en œuvre (pente, présence d'autres éléments, etc.), le type de surface appropriée (par exemple imperméable ou perméable) et la possibilité de l'utiliser avec d'autres systèmes, ainsi que le rôle écologique que cette zone peut avoir en fonction de ses caractéristiques et de son emplacement. Des indications sont ensuite fournies quant à la nécessité d'obtenir des données climatiques et d'évaluer les caractéristiques du sol.

Le deuxième paragraphe «Conception» fournit des indications sur les phases de conception à affronter. Les caractéristiques générales du terrain à utiliser sont indiquées en fonction du rôle du système (la fonction préexistante peut devoir être modifiée). Ce paragraphe indique également les méthodes d'identification de l'inflow (flux d'eau entrant) et de l'overflow (excès de flux d'eau à gérer dans des situations météorologiques critiques).

Une méthode relative au dimensionnement est donc proposée et quelques éléments dimensionnels à considérer comme référence sont fournis.

Il terzo paragrafo suggerisce come definire la selezione delle specie vegetali, in funzione delle caratteristiche funzionali (le piante hanno un ruolo attivo in questi sistemi) e delle loro esigenze pedo-climatiche (esposizione all'irraggiamento solare, temperature medie stagionali, temperature minime e massime, ecc.).

Il quarto paragrafo contiene indicazioni per la manutenzione del sistema affinché conservi sia le prestazioni funzionali (gestione delle acque meteoriche), sia quelle estetiche, in certi casi non meno importanti. Dovranno essere monitorati quindi aspetti come le condizioni di salute della vegetazione, i possibili fenomeni di erosione del suolo, aspetti funzionali quali le prestazioni di inlet (apertura o condotto di ingresso) e outlet (apertura o condotto di uscita) e la permeabilità del suolo (che potrebbe modificarsi nel tempo).

Infine troviamo le indicazioni bibliografiche con i testi consultati.

Le troisième paragraphe suggère comment définir la sélection des espèces végétales, en fonction de leurs caractéristiques fonctionnelles (les plantes jouent un rôle actif dans ces systèmes) et de leurs besoins pédologiques et climatiques (exposition au soleil, températures moyennes saisonnières, températures minimales et maximales, etc.)

Le quatrième paragraphe contient des indications pour l'entretien du système afin qu'il préserve à la fois ses prestations fonctionnelles (gestion des eaux pluviales) et ses prestations esthétiques, ce qui ne sont pas moins importantes dans certains cas. Il sera donc nécessaire de veiller à des aspects tels que la santé de la végétation, les phénomènes possibles d'érosion du sol, les aspects fonctionnels tels que les performances d'inlet (ouverture ou conduit d'entrée) et d'outlet (ouverture ou conduit de sortie) et la perméabilité du sol (qui peut changer avec le temps).

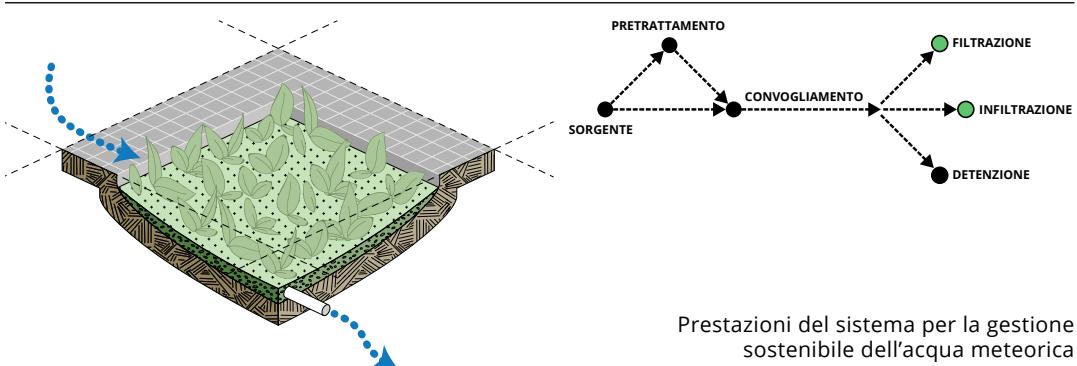
Enfin, les fiches fournissent également les indications bibliographiques des textes consultés.

3.2 RAIN GARDEN

Paola Sabbion

Depressione del terreno vegetata per la filtrazione e/o infiltrazione dell'acqua meteorica.

- Adattabile a diversi contesti: riqualificazione urbana, parcheggi, strade sub-urbane, residenziale;
- multifunzionale;
- micro scala;
- versatilità di forma e dimensione;
- valore estetico;
- trattamento qualitativo dell'acqua;
- intercettazione ed evapotraspirazione;
- riduzione del flusso di picco;
- riduzione dei volumi di deflusso;
- ravvenamento delle acque sotterranee (RAIN GARDEN INFILTRANTE);
- necessità di manutenzione per la presenza di vegetazione rigogliosa e per il rischio di ostruzione di pozzetti e tubazioni.



1. PIANIFICAZIONE

1.1 SITO

- Selezione dell'**area più appropriata** per la messa in opera del rain garden considerando: una distanza di almeno 3 metri dalle fondazioni di edifici, la presenza di sottoservizi, pendenze del sito, vegetazione preesistente, etc.
- Analisi delle **superfici di raccolta dell'acqua meteorica**, che costituirà l'INFLOW del sistema. La superficie di raccolta può essere costituita da strade o parcheggi, quando la pendenza lo permette, o da coperture di edifici circostanti. Nel caso di nuove costruzioni si suggerisce uno studio specifico per ottimizzare la raccolta dell'acqua piovana in funzione del dimensionamento del sistema (2.1. Progettazione-Componenti).
- Valutazione del ruolo ecologico del sito all'interno della rete ecologica.

1.2 AMBIENTE

- **Dati climatici** necessari per il dimensionamento del sistema (2.3. Progettazione-Dimensionamento). Consultando le banche dati regionali, si suggerisce il reperimento dei dati relativi alle temperature massime e minime (ultimi 10-20 anni) e precipitazioni medie, massime giornaliere e cumulate stagionali (30-50 anni).
- **Analisi dell'ombreggiamento** dell'area selezionata per la messa in opera del rain garden (1.1. Pianificazione-Sito). Le ombre portate da edifici o altri elementi devono essere considerate per la scelta delle specie vegetali (3. Specie vegetali), ad esempio, grazie ad uno studio semplificato con modello tridimensionale per: 21 dicembre, 21 marzo, 21 giugno alle ore 12.
- **Altre condizioni** specifiche del contesto (da eventualmente considerare per 3. Specie vegetali) ad esempio esposizione alla salsedine, emissioni da impianti tecnici, inquinamento da polveri, etc.

1.3 SUOLO

- Le **caratteristiche del terreno per l'impianto** sono importanti quanto la posizione, le dimensioni e il volume della struttura. Il suolo ideale deve bilanciare la composizione chimica e le proprietà fisiche per supportare le comunità biotiche sopra e sotto terra. Il terreno deve essere abbastanza permeabile da permettere al deflusso di filtrare, pur avendo caratteristiche adatte a promuovere e sostenere la vegetazione. Inoltre, le sostanze inquinanti (azoto e fosforo) vengono neutralizzate attraverso l'assorbimento e l'attività microbica nel sottosuolo. Quando la composizione del terreno non è adeguata. È consigliata la rimozione del terreno originale per migliorare la miscela.
- L'analisi della **permeabilità** del terreno, da considerare per il dimensionamento del **RAIN GARDEN INFILTRANTE**, può essere effettuata da un esperto geotecnico. La presenza di argilla si può determinare empiricamente prendendo un po' di terra, umidificandola e cercando di farne prima una sfera e poi schiacciandola: più il terreno è appiccicoso e argilloso e meno è drenante. È possibile testare la permeabilità utilizzando uno strumento denominato infiltrometro o con un semplice test sul campo, che si esegue scavando una buca larga 30 cm e profonda 60 cm; si riempie la buca di acqua e si misura, grazie ad un righello, la velocità di infiltrazione. Esempio: immettendo 150 mm d'acqua se la buca si svuota in 12 ore avremo una velocità di infiltrazione di 12,5 mm/ora (Hinman, 2013).

2. PROGETTAZIONE

2.1 COMPONENTI

- **Specie vegetali** (3. Specie vegetali).
- **Substrato** per la piantumazione, coperto da pacciamatura in superficie (minimo 5-6 cm), e substrato del sito non compattato (1.3 Pianificazione - Suolo). Il posizionamento deve prevedere una leggera depressione per trattenere l'acqua (volume di stoccaggio). Lo spessore del substrato per la piantumazione deve essere determinato in relazione alle specie vegetali scelte (3. Specie vegetali) (indicativamente spessore minimo 60 cm). Il terreno deve essere privo di pietre, ceppi, radici o altro materiale legnoso con diametro superiore a 2.5 cm e semi di erbe infestanti. Quando non è adeguato, rimuovere il terreno originale per migliorare la miscela. Una tipica raccomandazione di miscelazione del substrato

che incorpora ammendanti (in quantità variabile 20-50% del volume totale) per migliorare la permeabilità include:

- 30% del volume di compost;
- 70% del volume di sabbia con solo il 5% di miscela argilla / limo.

La miscela del substrato deve avere un indicatore di pH da 6,0 a 6,5 (Clar et al., 2004). Il substrato per la piantumazione e il terreno avranno uno spessore indicativo di 80 cm.

- **Strato drenante:** costituito da 10-15 cm di pietrisco/ghiaia a copertura del **tubo forato** (collegato all'overflow), che permetterà di convogliare l'acqua in eccesso e non saturare il terreno.
- Se l'infiltrazione non è possibile, a causa della presenza di strutture nelle vicinanze, rischio di erosione, falda acquifera alta, contaminazione del sottosuolo, etc. si raccomanda l'uso di uno **strato impermeabilizzante** sotto il sistema (es. in PVC) – solo per **RAIN GARDEN FILTRANTE**.
- **INFLOW:** Per trattare qualitativamente significanti quantità di acqua e ridurre il runoff, nei rain garden viene **convogliata acqua meteorica** raccolta da superfici adiacenti, tramite tubazioni o canalizzazioni aperte, dotate di un regolatore di flusso (che, se necessario, può deviare l'acqua in eccesso che il sistema non può trattare) e di filtri per evitare il passaggio di detriti. Il sistema di convogliamento deve essere progettato considerando la distribuzione dell'acqua e la conseguente creazione di **aree più o meno umide**, da considerare per la scelta delle specie vegetali (3. Specie vegetali). Tubazioni e pozzi devono essere ispezionabili ed accessibili facilmente per la manutenzione (4. Manutenzione).
- **OVERFLOW:** Per non superare i livelli di acqua massimi, è necessario per il **RAIN GARDEN FILTRANTE** l'inserimento di un **tropo pieno** collegato alla rete di smaltimento. In alternativa l'acqua in eccesso può essere convogliata verso un bacino di raccolta (possibilità limitata in ambiente urbano). Tubazioni e pozzi devono essere **ispezionabili** ed accessibili facilmente per la manutenzione (4. Manutenzione).
- Per il **RAIN GARDEN INFILTRANTE** il troppo pieno (OVERFLOW) può non essere necessario ma garantisce il **drenaggio dell'acqua in eccesso** per evitare ristagni e in vista del fenomeno piovoso successivo.
- **Pretrattamento:** componente opzionale per controllare la pressione dell'acqua ed eliminare i sedimenti e, quindi, ridurre gli interventi di manutenzione con diaframmi in sabbia o ghiaia o altri sistemi (4. Manutenzione).

2.2 RACCOLTA DELL'ACQUA METEORICA

- Calcolo dell'area di tutte le **superfici di raccolta dell'acqua meteorica**, ad esempio strade, coperture, parcheggi adiacenti.
- Progettazione del sistema di **convogliamento dell'acqua meteorica** raccolta dalle superfici adiacenti (1.1 Pianificazione-Sito) nel rain garden (INFLOW), sfruttando le pendenze del sito e convogliando l'acqua con canali aperti o coperti da griglie o tubazioni (2.1. Progettazione-Componenti).

2.3 DIMENSIONAMENTO

- Calcolo della **superficie massima** del rain garden in funzione dello spazio disponibile.
- **Dimensionamento** del rain garden considerando: precipitazioni medie, massime e stagionali cumulate, superfici di raccolta (permeabilità e area) e la velocità di infiltrazione nel terreno (RAIN GARDEN INFILTRANTE, 1. Pianificazione). È

possibile porre in relazione i diversi parametri che caratterizzano il rain garden e i valori di piovosità locale. A titolo di esempio, il Rain Garden Handbook for Western Washington (Hinman et al., 2013), riporta una tabella che relaziona le condizioni di piovosità annua con la velocità di infiltrazione (permeabilità) in mm/ora, l'efficienza di trattamento (quale percentuale di acqua raccolta verrà assorbita) e l'estensione del rain garden, calcolato in percentuale rispetto alla superficie di raccolta. È opportuno considerare anche l'intensità massima degli eventi piovosi nell'area di progetto. Valori alti di velocità di infiltrazione permettono una riduzione della estensione del rain garden stesso.

- I rain garden sono progettati per drenare l'acqua in 24-36 ore, con overflow nel caso di eventi atmosferici intensi. Quando le superfici di raccolta adiacenti sono impermeabili – come spesso avviene in area urbana.

- **L'impronta (area) del rain garden** è circa il 6-15% della superficie di raccolta (Derek C. Godwin et al., 2011).

- **Dimensioni consigliate** (Clar et al., 2004):

- ampiezza minima: 180-300 cm;
- lunghezza minima: 300-450 cm;
- depressione del terreno massima: 15-30 cm;
- spessore mimino dello strato di piantumazione (altezza delle piante): 60-120 cm.

3. SPECIE VEGETALI

3.1 ASPETTI GENERALI PER LA SELEZIONE

- La selezione della vegetazione utilizzata per le infrastrutture verdi si basa sull'adeguatezza delle specie in base alle **condizioni del sito e ai requisiti programmatici** (specifiche esigenze botaniche, ruolo nel sito e nell'ambito di più ampie comunità di piante). Una selezione valida deve considerare le condizioni del clima in loco, del suolo e idriche (1. Pianificazione), nonché le potenziali interazioni tra le specie e le esigenze di manutenzione future (4. Manutenzione).
- Il periodo migliore per **mettere a dimora** le piante è durante la stagione autunnale, quando le piante, che si avviano verso il riposo vegetativo, hanno meno esigenze manutentive. In alcuni casi, o con la messa a dimora in stagioni più calde, potrebbe essere necessario prevedere un impianto di irrigazione a supporto delle piante appena messe a dimora (per un periodo massimo di due anni).
- Considerando che le piante prospere e in salute hanno un ruolo fondamentale nel mantenere la funzionalità ma anche le caratteristiche estetiche del rain garden, il successo di questi dispositivi dipende dalla **scelta appropriata delle specie**.

3.2 CARATTERISTICHE BOTANICHE ed esigenze pedoclimatiche

- Le **caratteristiche delle piante** – apparato fogliare, apparato radicale, ciclo vitale, fioritura, frutti/ bacche, etc., a cui sono correlate le esigenze culturali, in particolare rispetto a rusticità, esigenze idriche, esposizione, pH suolo, etc. – devono assicurare una certa variabilità di forme di colori per migliorare le prestazioni funzionali ma anche l'aspetto estetico.
- Piante **erbacee perenni** e **erbe ornamentali** possono essere combinate con **arbusti sempreverdi** che producono fiori e bacche in modo che l'area rimanga interessante anche durante la stagione invernale.

- Le specie che richiedono una **bassa manutenzione** sono le più appropriate. Se ci sono delle grandi aree a prato che sono usate per la bioritenzione è necessario impiegare specie erbacee autoctone, possono essere utilizzati anche specie coprisuolo che di norma richiedono una minima manutenzione.
- I principi generali di **piantumazione** riguardano la piantagione densa (almeno 6/10 piante al metro quadro) in riferimento alle specie utilizzata, fattore che aumenta la densità radicale e aiuta a mantenere la permeabilità della superficie.
- Gli arbusti possono costituire delle **barriere** per impedire l'accesso del pubblico se è necessario e sono elementi stabili.
- Qualche piccolo **albero** può essere utilizzato per dare diversità all'insieme allorché lo spazio lo consenta, ma gli alberi non devono essere piantati troppo vicini a INLET e OUTLET o altre strutture di drenaggio, dove le loro radici potrebbero interferire con l'integrità strutturale del sistema.

3.3 ESIGENZE CLIMATICHE

- Consultando le banche dati regionali è possibile reperire i dati relativi a temperature e precipitazioni (1. Pianificazione). Considerando il criterio di adattabilità al clima, la scelta più ragionevole è quella di rivolgersi a piante tipiche della regione climatica o di regioni climatiche affini a quella in cui si deve realizzare il Rain Garden. Considerazioni caso per caso andranno fatte per le specie autoctone, naturalmente adattabili, o specie alloctone compatibili perché provenienti da zone climatiche simili.
- Resistenza a siccità e allagamenti.** Il rain garden potrebbe soffrire di prolungati periodi di siccità intervallati da periodi stagionali in cui invece potrebbero verificarsi eccezionali fenomeni di piogge che causano allagamenti localizzati per brevi periodi di tempo. Pertanto, è necessario selezionare specie in grado di sopportare anche periodi di siccità. Lo scopo del rain garden infatti è proprio quello di essere completamente sostenibile e indipendente dalle irrigazioni.
- Posizione nel rain garden** rispetto al livello di umidità del suolo. Normalmente il rain garden ha una morfologia caratterizzata da una depressione del terreno in cui i margini sono irrigati solo occasionalmente mentre la parte più profonda è caratterizzata da umidità maggiore e più duratura del suolo (2.1. Progettazione-Componenti). Si tratta comunque di condizioni dinamiche caratterizzate da fluttuazioni più o meno marcate nel corso dell'anno.
- Disposizione rispetto al soleggiamento.** Si cercherà, in via generale, di scegliere specie che ben sopportano le condizioni di semi-ombreggiamento, soprattutto in ambiente urbano, dove le ombre portate dagli edifici circostanti hanno un notevole impatto. Le ombre portate possono essere studiate attraverso un modello tridimensionale (1.2 Pianificazione-Ambiente). L'analisi dell'ombreggiamento dell'area selezionata per la messa in opera del rain garden dovrebbe essere predisposta al momento della pianificazione del rain garden.

3.4 CARATTERISTICHE FUNZIONALI

- Basse esigenze manutentive.** Specie autoctone o alloctone ben adattabili non hanno, di norma, grandi esigenze manutentive. Le piante selezionate devono essere resistente alle comuni fitopatologie, non necessitare di potature né di irrigazione. Per evitare il diserbo si suggerisce di provvedere ad un robusto strato di pacciamatura.

- **Apparato radicale profondo e ben sviluppato.** Le specie vegetali più adatte in queste situazioni sono quelle piante in grado di espandere il loro apparato radicale in profondità nel suolo e quindi in grado di drenare l'acqua in tempi relativamente veloci. Potenzialmente quindi abbiamo a disposizione un gran numero di piante tra cui scegliere soprattutto nell'insieme delle erbacee perenni, tenendo in considerazione anche gli arbusti e, qualora lo spazio disponibile fosse maggiore, anche piccoli alberi.
- **Attrattività per la biodiversità** (benefici ecologici). La diversità biologica comprende la varietà e la variabilità tra organismi viventi e i complessi ecologici in cui essi vivono. Contribuire ad arricchire la complessità ecologica urbana attraverso l'impiego di una varietà di specie che vadano a formare una nuova comunità è un fattore positivo, soprattutto quando le ricadute sulla biodiversità possono interessare anche gli aspetti faunistici (avifauna e insetti).
- **Estetica.** La composizione estetica del rain garden riguarda gli accostamenti delle diverse piante, la tessitura del fogliame, l'epoca ed il colore delle fioriture. Una composizione paesaggistica efficace dell'insieme sarà senz'altro esteticamente più gradevole, andando a rafforzare i servizi ecosistemici connessi. Per garantire tali prestazioni il sistema deve essere in salute dal punto di vista funzionale, in modo che le piante possano mantenersi sane e rigogliose nel tempo.

4. MANUTENZIONE

4.1 ELEMENTI PER IL CONVOGLIAMENTO

- Pulizia periodica del **canale di entrata dell'acqua** (INFLOW):
 - pulire il tubo da sedimenti e residui per evitare la stagnazione di acqua residua;
 - riparare o sigillare i tubi di scarico danneggiati o incrinati o sostituirli se la riparazione non è sufficiente.
- Pulizia periodica del **canale di uscita dell'acqua** (OUTFLOW):
 - pulire il tubo da sedimenti e residui per evitare la stagnazione di acqua residua;
 - riparare o sigillare i tubi di scarico danneggiati o incrinati o sostituirli se la riparazione non è sufficiente.
- Pulizia di eventuali pozzetti quando necessaria

4.2 SPECIE VEGETALI

- Rimozione **foglie secche** inizio primavera e autunno
- Eventuale **sostituzione piante** morte
- In presenza di **piante malate**:
 - rimuovere eventuali piante malate o parti di piante e smaltire per evitare rischio di diffondere la malattia ad altre piante;
 - disinfeccare gli attrezzi da giardinaggio dopo la potatura per prevenire la diffusione di patologie;
 - stabilizzare gli alberi se hanno bisogno di maggiore supporto. Pali e sostegni vanno rimossi dopo il primo anno.
- In caso di **ingiallimento**, scarsa crescita, scarsa fioritura, radici o steli deboli:
 - testare il terreno per identificare specifiche carenze;
 - consultare un professionista esperto o fare riferimento a risorse naturali per la cura del giardino;

[IT]

- non usare fertilizzanti chimici;
- considerare la scelta di sostituire le piante con specie adatte alle condizioni del terreno.
- Se la vegetazione riduce le **distanze visive** e lo spazio dei marciapiedi:
 - mantenere i marciapiedi e le distanze liberi;
 - scegliere piante a crescita lenta e specie di dimensioni ridotte.
- Se la vegetazione ostruisce gli sbocchi dei flussi (INLET e OUTLET):
 - tenere le prese d'acqua libere dalla vegetazione;
 - spostare la vegetazione se il problema persiste.
- In caso di **erbe infestanti**:
 - rimuovere le erbe a mano, soprattutto in primavera quando il terreno è umido e le erbe sono piccole;
 - diserbare le infestanti dalle radici prima che vadano a seme;
 - applicare pacciame o strato ghiaioso dopo aver diserbato.
- In presenza di aree senza strato di **ghiaia o pacciatura** o con uno strato insufficiente (meno di 5 cm), aggiungere pacciame o ghiaia con strumenti a mano.

4.3 SUOLO

- **Controllo dell'erosione** ed eventuale aggiunta di substrato. In caso di erosione continua dei margini laterali, minimizzare gli effetti erosivi aggiungendo ghiaia o ciottoli.
- Pulizia da **sedimenti e detriti**.
- Rimozione di sedimenti e fogliame che riducono la **velocità di drenaggio** in superficie (i sedimenti dovrebbero essere ridotti dal filtro posto in entrata, 2.1. Progettazione-Componenti).
- **Per limitare fenomeni di erosione** del terreno da cui passa l'acqua in entrata (INLET), grazie a condutture o avallamenti, mantenere la copertura di ghiaia o ciottoli.

4.4 ACQUA ACCUMULATA stagnante per più di 48 ore dopo l'evento meteorico

- Controllare la presenza di **foglie, detriti o sedimenti** che riducono la capacità di drenaggio e, se necessario, rimuoverli.
- Se questo non risolve il problema, consulta un professionista per valutare quanto segue:
 - controllare eventuali altre infiltrazioni di acqua (ad esempio, acque sotterranee);
 - verificare che il rain garden sia dimensionato in modo appropriato;
 - verificare il corretto funzionamento dell'overflow;
 - determinare se il suolo è ostruito da sedimenti o se il terreno è compattato.

■ TESTI CONSULTATI ■

- Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide Volume 2 Vegetative Biofilters.
- Derek C. Godwin, Maria Cahill, Marissa Sowles, 2011. Rain Gardens.
- Hinman, C., 2013. Rain Garden Handbook for Western Washington. A Guide for Design, Installation, and Maintenance.

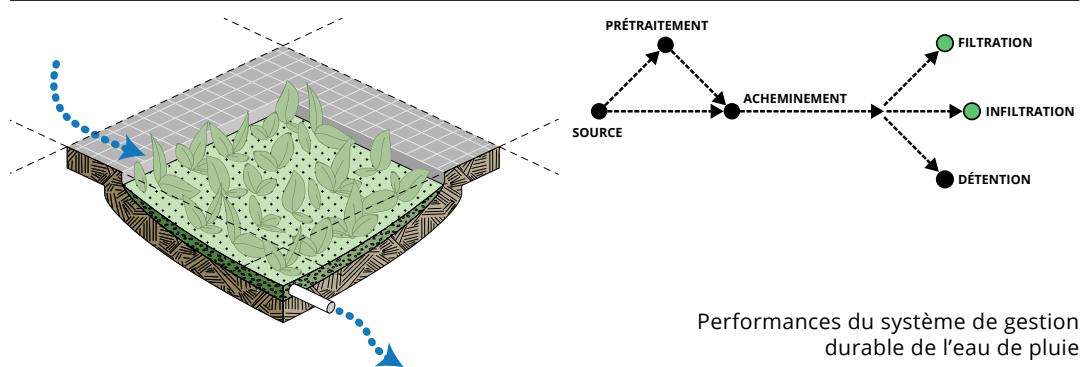
3.2 RAIN GARDEN

Paola Sabbion

[FR]

Dépression du sol végétalisée pour la filtration et/ou l'infiltration de l'eau météorique.

- adaptable à différents contextes: régénération urbaine, stationnement, routes de banlieue, routes résidentielles, etc.;
- multifonctionnel;
- micro-échelle;
- versatilité de forme et de dimension;
- valeur esthétique;
- traitement qualitatif de l'eau;
- interception et évapotranspiration;
- réduction du flux de pic;
- réduction des volumes d'écoulement;
- recharge des eaux souterraines (RAIN GARDEN INFILTRANT);
- nécessité d'entretien en raison de la présence d'une végétation luxuriante et du risque d'obstruction des puits et des canalisations.



1. PLANIFICATION

1.1 SITE

- Sélection de la **zone la plus appropriée** pour l'implantation du rain garden en tenant compte: d'une distance d'eau au moins 3 mètres par rapport aux fondations des bâtiments, de la présence d'égouts, des pentes du site, de la végétation existante, etc.
- Analyse des **surfaces de collecte de l'eau de pluie**, qui constituera l'**INFLOW** du système. La surface de collecte peut être constituée de routes ou de parkings, lorsque la pente le permet, ou de couvertures de bâtiments environnants. Dans le cas des bâtiments neufs, il est conseillé d'effectuer une étude spécifique pour optimiser la collecte des eaux pluviales en fonction de la taille du système (2.1. Conception - Composants).
- Evaluation du rôle écologique du site au sein du réseau écologique.

1.2 ENVIRONNEMENT

- **Données climatiques** nécessaires au dimensionnement du système (2.3. Conception - Dimensionnement). Il est conseillé de consulter les bases de données régionales pour trouver des données sur les températures maximales et minimales (10-20 dernières années) et les précipitations moyennes, les maximales journalières et saisonnières cumulées (30-50 ans).
- **Analyse de l'ombrage** de la zone sélectionnée pour la mise en œuvre du rain garden (1.1 Planification-Site). Les ombres projetées par les bâtiments ou d'autres éléments doivent être prises en compte lors du choix des espèces végétales (3. Espèces végétales), par exemple, grâce à une étude simplifiée avec modèle tridimensionnel pour: 21 décembre, 21 mars, 21 juin à midi.
- **Autres conditions particulières** du contexte (à considérer éventuellement pour 3. Espèces végétale) par exemple: exposition à la salinité, émissions produites par des installations techniques, pollution de poussières etc.

1.3 SOL

- Les **caractéristiques du sol pour la plantation** sont aussi importantes que l'emplacement, la taille et le volume de la structure. Le sol idéal doit équilibrer la composition chimique et les propriétés physiques pour soutenir les communautés biotiques sur la terre et sous la terre. Le terrain doit être suffisamment perméable pour permettre à l'eau de s'écouler par filtration, tout en ayant des caractéristiques propres à favoriser et à soutenir la végétation. De plus, les polluants (azote et phosphore) sont neutralisés par absorption et l'activité microbienne dans le sous-sol. Lorsque la composition du sol n'est pas adéquate, il est recommandé d'enlever le sol d'origine pour améliorer le mélange.
- L'analyse de la **perméabilité** du terrain, à prendre en compte pour le dimensionnement du **RAIN GARDEN INFILTRANT**, peut être effectuée par un expert géotechnique. La présence d'argile peut être déterminée empiriquement en prenant un peu de terre, en l'humidifiant et en essayant d'en faire d'abord une sphère puis en l'écrasant: plus le sol est collant et argileux, moins il est drainant. La perméabilité peut être testée à l'aide d'un appareil appelé infiltromètre ou à l'aide d'un simple test sur le terrain, qui s'effectue en creusant un trou de 30 cm de large et 60 cm de profondeur; le trou est rempli d'eau et la vitesse d'infiltration est mesurée avec une règle. Exemple: en versant 150 mm d'eau si le trou est vidé en 12 heures, le taux d'infiltration sera de 12,5 mm/heure (Hinman, 2013).

2. CONCEPTION

2.1 COMPOSANTS

- **Espèces végétales** (3. Espèces végétales).
- **Substrat** de plantation, recouvert de paillis en surface (minimum 5-6 cm), et substrat du site non compacté (1.3 Planification - Sol). Le positionnement doit prévoir une légère dépression pour retenir l'eau (volume de stockage). L'épaisseur du substrat de plantation doit être calculée en fonction du choix des espèces végétales (3. Espèces végétales) (épaisseur minimale indicative de 60 cm). Le terrain doit être exempt de pierres, de souches, de racines ou d'autres matériaux ligneux d'un diamètre supérieur à 2,5 cm et de graines de mauvaises herbes. Quand le terrain n'est pas approprié, retirer la terre d'origine pour améliorer le mélange. Une recommandation typique pour

le mélange du substrat en y incorporant des additifs (en quantité variable de 20 à 50% du volume total) pour améliorer la perméabilité comprend:

- 30% du volume de compost;
- 70% du volume de sable avec seulement 5% de mélange argile / chaux.

Le mélange de substrat doit avoir un indicateur de pH de 6,0 à 6,5 (Clar et al., 2004). Le substrat de plantation et le terrain ont une épaisseur indicative de 80 cm.

- **Couche drainante:** composée de 10-15 cm de pierre concassée/gravier pour recouvrir le tube perforé (raccordé à l'overflow), qui permettra d'acheminer l'eau excessive et de ne pas saturer le terrain.
- Si l'infiltration n'est pas possible en raison de la présence de structures à proximité, d'un risque d'érosion, d'une nappe phréatique élevée, d'une contamination du sous-sol, etc. nous recommandons l'utilisation d'une **couche d'imperméabilisation** sous le système (par ex. en PVC) – uniquement pour les **RAIN GARDENS FILTRANTS**
- **INFLOW:** Pour traiter qualitativement des quantités d'eau et réduire le ruissellement, l'**eau de pluie** récupérée par des surfaces adjacentes est acheminée au rain garden par des conduites ou des canalisations ouvertes, équipées d'un régulateur de débit (qui, si nécessaire, peut dévier l'excès d'eau que le système ne peut traiter) et de filtres pour empêcher le passage des détritus. Le système de transport doit être conçu en tenant compte de la distribution de l'eau et de la création consécutive de **zones plus ou moins humides**, à prendre en compte pour le choix des espèces végétales (3. Espèces végétales). Les conduites et les puits doivent pouvoir être inspectés et facilement accessibles pour l'entretien (4. Entretien).
- **OVERFLOW:** Pour ne pas dépasser les niveaux d'eau maximaux, il est nécessaire pour le **RAIN GARDEN FILTRANT** qu'un **trop-plein** soit raccordé au réseau d'élimination. Une autre solution consiste à canaliser l'excès d'eau vers un réservoir (possibilité limitée en milieu urbain). Les conduites et les puits doivent pouvoir être **inspectés** et facilement accessibles pour l'entretien (4. Entretien).
- Pour le **RAIN GARDEN INFILTRANT**, le trop-plein (OVERFLOW) peut ne pas être nécessaire mais il garantit le **drainage de l'excès d'eau** pour éviter des stagnations en vue du phénomène de pluie suivant.
- **Prétraitement:** composant en option pour contrôler la pression de l'eau et éliminer les sédiments et, par conséquent, réduire les interventions d'entretien avec des membranes de sable ou de gravier ou d'autres systèmes (4. Entretien).

2.2 COLLECTE DES EAUX PLUVIALES

- Calcul de la superficie de toutes les **surfaces de collecte des eaux pluviales**, par ex. routes, toits, parkings adjacents.
- Conception du système d'**acheminement des eaux de pluie** recueillies sur les surfaces adjacentes (1.1 Planification-Site) vers le rain garden (INFLOW), en exploitant les pentes du site et en transportant l'eau par des canaux ouverts ou couverts de grilles ou de tuyaux (2.1. Conception - Composants).

2.3 DIMENSIONNEMENT

- Calcul de la **surface maximale** du rain garden en fonction de l'espace disponible.
- **Dimensionnement** du rain garden en prenant en compte: les précipitations moyennes, maximales et saisonnières cumulées, les surfaces de collecte (perméabilité et zones) et la vitesse d'infiltration dans le terrain (RAIN GARDEN INFILTRANT, 1. Planification). Il est possible de mettre en relation les différents paramètres qui caractérisent le système.

sent le rain garden et les valeurs des précipitations locales. A titre d'exemple, le Rain Garden Handbook for Western Washington (Hinman et al., 2013), fournit un tableau qui met en relation les conditions pluviométriques annuelles avec le taux d'infiltration (perméabilité) en mm/heure, l'efficacité du traitement (quel pourcentage d'eau collectée sera absorbé) et l'extension du rain garden, calculée en pourcentage de la surface de collecte. L'intensité maximale des précipitations dans la zone du projet doit également être prise en compte. Des valeurs élevées de vitesse d'infiltration permettent de réduire l'extension du rain garden.

- Les rain gardens sont conçus pour drainer l'eau en 24-36 heures, avec overflow en cas de phénomènes météorologiques intenses. Lorsque les zones de collecte adjacentes sont imperméables, comme c'est souvent le cas en milieu urbain.
 - **Les dimensions (la surface) du rain garden** représente environ 6-15% de la surface de collecte (Derek C. Godwin et al., 2011)
- **Dimensions conseillées** (Clar et al., 2004):
 - Largeur minimum: 180-300 cm;
 - Longueur minimum: 300-450 cm;
 - Dépression du terrain maximum: 15-30 cm;
 - Epaisseur minimum de la couche de plantation (hauteur des plantes): 60-120 cm.

3. ESPÈCES VÉGÉTALES

3.1 ASPECTS GÉNÉRAUX POUR LA SÉLECTION

- La sélection de la végétation utilisée pour les infrastructures vertes est basée sur l'**adéquation des espèces en fonction des conditions du site et des exigences programmatiques** (besoins botaniques spécifiques, rôle dans le site et dans l'environnement d'ensembles de plantes plus vastes). Une sélection valide doit tenir compte du climat local, des conditions du sol et de l'eau (1. Planification), ainsi que les interactions potentielles entre les espèces et les besoins futurs d'entretien (4. Entretien).
- La meilleure période pour **planter les plantes** est pendant la saison automnale, quand les plantes, qui se préparent au repos végétatif, nécessitent moins d'entretien. Dans certains cas, ou en cas de plantation pendant les saisons chaudes, il peut être nécessaire de prévoir un système d'irrigation pour soutenir les plantes nouvellement plantées (pour une période maximale de deux ans).
- Etant donné que les plantes prospères et saines jouent un rôle fondamental dans le maintien du bon fonctionnement, mais aussi des caractéristiques esthétiques du rain garden, le succès de ces dispositifs dépend du **choix approprié des espèces**.

3.2 CARACTÉRISTIQUES BOTANIQUES et exigences pédoclimatiques

- Les **caractéristiques des plantes** – système foliaire, système racinaire, cycle de vie, floraison, fruits/baies, etc., auxquelles les exigences de culture sont liées, en particulier en ce qui concerne la rusticité, les besoins en eau, l'exposition, le pH du sol, etc. doivent assurer une certaine variabilité des formes et des couleurs pour améliorer les performances fonctionnelles mais aussi l'aspect esthétique.
- Des plantes **herbacées vivaces et herbes ornementales** peuvent être associées à des **arbustes à feuillage persistant** qui produisent des fleurs et des baies de manière à ce que la zone reste attrayante également pendant l'hiver.
- Les espèces qui nécessitent un **faible entretien** sont les plus appropriées. En cas de grandes surfaces de pelouse qui sont utilisées pour la biorétention, il est nécessaire

d'utiliser des espèces herbacées indigènes; des espèces de couvre-sol peuvent également être utilisées qui nécessitent normalement un entretien minimal.

- Les principes généraux de **plantation** concernent la plantation dense (au moins 6/10 plantes par mètre carré) en fonction des espèces utilisées, facteur qui augmente la densité racinaire et contribue à maintenir la perméabilité de la surface.
- Les arbustes peuvent constituer des **barrières** pour empêcher l'accès du public, si nécessaire et ils représentent des éléments stables.
- Certains petits arbres peuvent être utilisés pour donner de la diversité à l'ensemble lorsque l'espace le permet, mais les arbres ne devraient pas être plantés trop près d'**INLET** (entrée) et d'**OUTLET** (sortie) ou d'autres structures de drainage, car leurs racines pourraient nuire à l'intégrité structurale du système.

3.3 EXIGENCES CLIMATIQUES

- En consultant les bases de données régionales, vous trouverez des données sur les **températures et les précipitations** (1. Planification). Compte tenu du critère de l'adaptabilité au climat, le choix le plus raisonnable est de se tourner vers des plantes typiques de la région climatique ou de régions climatiques similaires à celle où le Rain Garden doit être réalisé. Des considérations au cas par cas devraient être prises en compte pour les espèces indigènes, qui sont naturellement adaptables, ou les espèces non indigènes compatibles parce qu'elles proviennent de zones climatiques similaires.
- **Résistance à la sécheresse et aux inondations.** Le rain garden pourrait souffrir de périodes de sécheresse prolongées entrecoupées de périodes saisonnières au cours desquelles, au contraire, des phénomènes pluviométriques exceptionnels pourraient se produire, provoquant des inondations localisées pendant de courtes périodes. Il est donc nécessaire de sélectionner des espèces capables de résister aux périodes de sécheresse. En fait, le but du rain garden est précisément d'être complètement durable et indépendant de l'irrigation.
- **Position dans le rain garden** par rapport au niveau d'humidité du sol. Normalement, le rain garden a une morphologie caractérisée par une dépression du sol dans laquelle les marges sont irriguées seulement occasionnellement tandis que la partie la plus profonde est caractérisée par une humidité du sol plus élevée et plus durable (2.1. Conception - Composants). Il s'agit toutefois de conditions dynamiques caractérisées par des fluctuations plus ou moins marquées au cours de l'année.
- **Disposition par rapport à l'ensoleillement.** D'une façon générale, on optera pour des espèces pouvant résister aux conditions de semi-ombrage, en particulier dans les environnements urbains, où les ombres projetées par les bâtiments environnants ont un impact considérable. Il est possible d'étudier les ombres projetées à l'aide d'un modèle tridimensionnel (1.2. Planification-Environnement). L'analyse de l'ombrage de la zone sélectionnée pour la mise en œuvre du rain garden devrait être prévue au moment de la planification de ce dernier.

3.4 CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES

- **Entretien réduit.** Les espèces indigènes ou non indigènes qui s'adaptent bien n'ont normalement pas besoin de beaucoup d'entretien. Les plantes sélectionnées doivent résister aux pathologies végétales courantes, et ne nécessiter ni taille ni irrigation. Pour éviter le désherbage, il est recommandé de prévoir une bonne couche de paillis.
- **Système racinaire profond et bien développé.** Les espèces végétales les plus

adaptées dans ces contextes sont: les plantes capables d'étendre leur système racinaire profondément dans le sol et donc capables de drainer l'eau relativement rapidement. Potentiellement, donc, nous avons un grand nombre de plantes parmi lesquelles choisir, surtout dans les plantes vivaces herbacées, en tenant compte aussi des arbustes et, si l'espace disponible est plus grand, même les petits arbres.

- **Attraction pour la biodiversité** (avantages écologiques). La diversité biologique comprend la variété et la variabilité entre les organismes vivants et les complexes écologiques dans lesquels ils vivent. Aider à enrichir la complexité écologique urbaine par l'utilisation d'une variété d'espèces pour former une nouvelle communauté est un facteur positif, surtout lorsque les effets sur la biodiversité peuvent également affecter la faune (oiseaux et insectes).
- **Esthétique.** La composition esthétique du rain garden concerne les combinaisons des différentes plantes, la texture du feuillage, l'époque et la couleur des fleurs. Une composition paysagère efficace de l'ensemble sera certainement plus esthétique et renforcera les services écosystémiques qui y sont liés. Pour assurer ces prestations, le système doit être sain d'un point de vue fonctionnel, de manière à ce que les plantes puissent rester saines et vigoureuses dans le temps.

4. ENTRETIEN

4.1 ÉLÉMENTS POUR L'ACHEMINEMENT

- Nettoyage périodique de la **canalisation d'entrée de l'eau** (INFLOW):
 - nettoyer la conduite des sédiments et des résidus pour éviter la stagnation de l'eau résiduelle;
 - réparer ou sceller les tuyaux d'évacuation endommagés ou fissurés ou les remplacer si la réparation n'est pas suffisante.
- Nettoyage périodique de la **canalisation de sortie de l'eau** (OUTFLOW):
 - nettoyer la conduite des sédiments et des résidus pour éviter la stagnation de l'eau résiduelle;
 - réparer ou sceller les tuyaux d'évacuation endommagés ou fissurés ou les remplacer si la réparation n'est pas suffisante;
 - nettoyage des éventuels puits, si nécessaire.

4.2 ESPÈCES VÉGÉTALES

- Ramassage des **feuilles sèches** début printemps et automne.
- Eventuel **remplacement de plantes** mortes.
- En cas de **plantes malades**:
 - enlever toutes les plantes ou parties de plantes malades et en disposer pour éviter tout risque de contamination de la maladie à d'autres plantes;
 - désinfecter les outils de jardinage après la taille pour prévenir la propagation des maladies;
 - stabiliser les arbres s'ils ont besoin de plus de soutien. Les tiges et les supports doivent être enlevés après la première année.
- En cas de **jaunissement**, faible croissance, mauvaise floraison, de racines ou de tiges faibles:
 - tester le sol pour identifier les lacunes spécifiques;
 - consulter un professionnel expérimenté ou se référer à des ressources naturelles pour l'entretien du jardin;
 - ne pas utiliser d'engrais chimiques;

- envisager de remplacer les plantes par des espèces qui conviennent aux conditions du sol.
- Si la végétation réduit les **distances visuelles** et l'espace sur les trottoirs:
 - maintenir les trottoirs et les distances visuelles libres;
 - choisir des plantes à croissance lente et des espèces de dimensions réduites.
- Si la végétation obstrue les sorties d'écoulement (INLET et OUTLET):
 - garder les prises d'eau libres de végétation;
 - déplacer la végétation si le problème persiste.
- En cas de **mauvaises herbes**:
 - enlever les mauvaises herbes à la main, surtout au printemps lorsque le sol est humide et que les herbes sont petites;
 - arracher les mauvaises herbes à partir des racines avant qu'elles ne montent en graines;
 - couvrir de paillis ou d'une couche de gravier après le désherbage.
- En présence de zones sans couche de **gravier ou paillis** ou avec une couche insuffisante (moins de 5 cm), ajouter du paillis ou du gravier avec des outils manuels.

4.3 SOL

- **Contrôle de l'érosion** et éventuel ajout de substrat. En cas d'érosion continue des bords latéraux, minimiser les effets érosifs en ajoutant du gravier ou des cailloux.
- Nettoyage pour éliminer **sédiments et détritus**.
- Elimination des sédiments et des cueilles qui réduisent la **vitesse de drainage** en surface (la quantité de sédiments devraient être réduite par le filtre situé en entrée, 2.1. Conception - Composants).
- **Pour limiter les phénomènes d'érosion** du terrain à l'endroit d'où passe l'eau d'entrée (INLET), au moyen de canalisations ou de dépressions, pour maintenir le recouvrement de gravier ou de cailloux.

4.4 EAU ACCUMULÉE Stagnante pendant plus de 48 heures après le phénomène météorique

- Contrôler la présence de **feuilles, de débris ou de sédiments** qui réduisent la capacité de drainage et, si nécessaire, les enlever.
- Si cela ne résout pas le problème, consulter un professionnel pour évaluer ce qui suit:
 - vérifier s'il y a d'éventuelles autres infiltrations d'eau (p. ex. eau souterraine);
 - vérifier que le rain garden a des dimensions appropriées;
 - vérifier le bon fonctionnement de l'OVERFLOW;
 - voir si le sol est obstrué par des sédiments ou si le terrain est compacté.

■ TEXTES CONSULTÉS

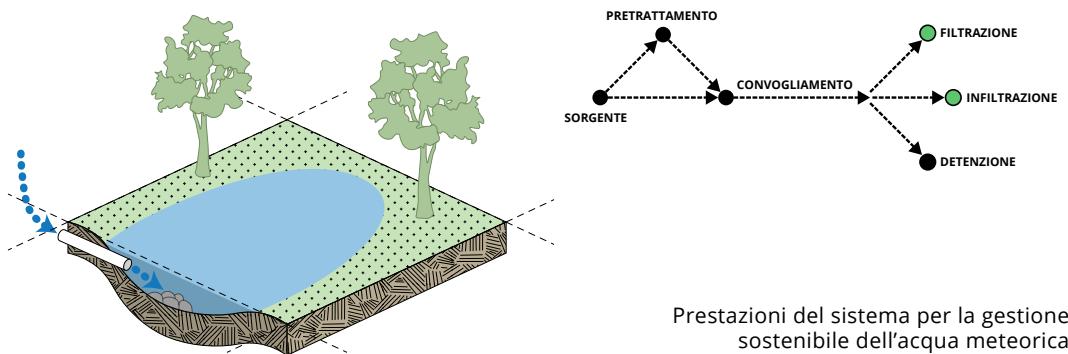
- Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide Volume 2 Vegetative Biofilters.
- Derek C. Godwin, Maria Cahill, Marissa Sowles, 2011. Rain Gardens.
- Hinman, C., 2013. Rain Garden Handbook for Western Washington. A Guide for Design, Installation, and Maintenance.

3.3 INFILTRATION BASIN

Katia Perini

Depressione del terreno che trattiene il runoff e permette la deposizione e filtrazione di inquinanti prima dell'infiltrazione nel sottosuolo.

- Adattabile all'ambiente urbano in aree non dense e non ad alta frequentazione pedonale;
- multifunzionale;
- versatilità di forma e dimensione;
- valore estetico;
- trattamento qualitativo dell'acqua;
- intercettazione ed evapotraspirazione;
- riduzione del flusso di picco;
- riduzione dei volumi di deflusso;
- ravvenamento delle acque sotterranee;
- necessità di manutenzione per la presenza di vegetazione e per il rischio di ostruzione di pozzi e tubazioni.



1. PIANIFICAZIONE

1.1 SITO

- **Selezione dell'area più appropriata** per la messa in opera dell'infiltration basin considerando: presenza di superfici con pendenze inferiori a 15% (Clar et al., 2004) e distanti 6 m da edifici a monte e 30 m da edifici a valle (VirginiaTech, 2013), altezza stagionale della falda freatica (seasonal high water table - SHWT) superiore a 1 m sotto la superficie; va inoltre verificata la presenza di sottoservizi, le pendenze delle superfici di raccolta adiacenti (es. strade, parcheggi), il collegamento ad altri sistemi/componenti, etc.
- Analisi delle superfici di **raccolta dell'acqua meteorica e/o dei possibili collegamenti con altri sistemi/componenti di controllo**, per determinare l'**INFLOW** del sistema. La superficie di raccolta può essere costituita da strade o parcheggi, quando la pendenza lo permette, o da coperture di edifici circostanti. L'acqua meteorica può anche essere convogliata attraverso swale o filter strips (strisce filtranti) o pretrattata (ad esempio grazie a sediment basin, bacini di sedimentazione). Tipicamente la superficie di raccolta non supera i 0.2 km²)

(VirginiaTech, 2013) ed è superiore a 0.02 km² (Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005).

- Valutazione del ruolo ecologico del sito all'interno della rete ecologica.

[IT]

1.2 AMBIENTE

- **Dati climatici** necessari per il dimensionamento del sistema (2.3. Progettazione-Dimensionamento). Consultando le banche dati regionali si suggerisce il reperimento dei dati relativi alle temperature massime e minime (ultimi 10-20 anni) e precipitazioni medie, massime giornaliere e cumulate stagionali (30-50 anni). Per dimensionare un infiltration basin, è opportuno raccogliere i dati delle precipitazioni considerando tempi di ritorno da 10 a 100 anni (parametro che esprime il numero medio di osservazioni necessarie affinché un dato evento si verifichi, es. un evento con tempo di ritorno pari a "100 anni" ha l'1% (= 1/100) di probabilità di accadere in un dato anno).
- **Analisi dell'ombreggiamento** dell'area selezionata per la messa in opera dell'infiltration basins (1.1. Sito). Le ombre portate da edifici o altri elementi devono essere considerate per la scelta delle specie vegetali, ed in particolare quando è previsto l'inserimento di alberi e arbusti (3. Specie vegetali), ad esempio, grazie ad uno studio semplificato con modello tridimensionale per: 21 dicembre, 21 marzo, 21 giugno alle ore 12.
- Altre condizioni specifiche del contesto (da eventualmente considerare per 2. Specie Vegetali), ad esempio: esposizione alla salsedine, emissioni da impianti tecnici, inquinamento da polveri, etc.

1.3 SUOLO

- Il terreno deve essere permeabile per permettere al sistema di svolgere la sua funzione (infiltrare l'acqua meteorica) e non contenere più del 30% di argilla. Anche i terreni troppo permeabili – ad esempio sabbiosi – sono poco adatti (VirginiaTech, 2013).
- L'analisi della **permeabilità** del terreno può essere effettuata da un esperto geotecnico. La presenza di argilla si può determinare empiricamente prendendo un po' di terra, umidificandola e cercando di farne prima una sfera e poi schiacciandola: più il terreno è appiccicoso e argilloso e meno è drenante. È possibile testare la permeabilità utilizzando uno strumento denominato infiltrometro o con un semplice test sul campo (Hinman et al., 2013), che si esegue scavando una buca larga 30 cm e profonda 60 cm. Si riempie la buca di acqua e si misura, grazie ad un righello, la velocità di infiltrazione. Esempio: immettendo 150 mm d'acqua se la buca si svuota in 12 ore avremo una velocità di infiltrazione di 12,5 mm/ora. Per verificare l'assenza di strati impermeabili anche in profondità, si suggerisce una verifica a partire da 1,5 metri sotto la superficie.
- La **prestazione** degli infiltration basin dipende dalla capacità infiltrante del terreno e dall'altezza della falda acquifera.

2. PROGETTAZIONE

2.1 COMPONENTI

- **Specie vegetali** (3. Specie vegetali).
- **Substrato** per la piantumazione e terreno del sito non compattato, posizionato

seguendo la depressione creata per lo stoccaggio temporaneo dell'acqua (2.3 Dimensionamento). Lo spessore del substrato per la piantumazione deve essere determinato in relazione alle specie vegetali scelte (3. Specie vegetali; indicativamente 15 cm per sistemazione a manto erboso). Una tipica **miscelazione del substrato che incorpora ammendanti** (in quantità variabile 20-50% del volume totale) per migliorare la permeabilità include:

- 30% del volume di compost;
- 70% del volume di sabbia con solo il 5% di miscela argilla / limo.
- La miscela del substrato deve avere un indicatore di pH da 6,0 a 6,5 (Clar et al., 2004).
- Il terreno deve essere privo di pietre, ceppi, radici o altro materiale legnoso con diametro superiore a 2,5 cm e semi di erbe nocive infestanti. È molto importante ridurre al minimo la compattazione del suolo.
- Il runoff deve essere sostanzialmente pulito prima di entrare nell'infiltration basin. Un **pretrattamento** a monte è necessario per rimuovere i sedimenti per ridurre il rischio di intasamento e il conseguente mal funzionamento del sistema (4.1. Manutenzione - Elementi per il convogliamento), tramite il passaggio dell'acqua da swale, sediment basin (bacini di sedimentazione) o filter strips (strisce filtranti). Quando non è possibile, si può ricorrere all'inserimento di un pozzetto di sedimentazione. Inoltre, il pretrattamento riduce il rischio di inquinamento dell'acqua di falda derivante dal convogliamento di runoff inquinato (Woods Ballard et al., 2015).
- **INFLOW:** Per trattare qualitativamente quantità significative di acqua e ridurre il runoff, nell'infiltration basin viene **convogliata acqua meteorica** raccolta da superfici adiacenti, tramite tubazioni o canalizzazioni aperte, dotate di un regolatore di flusso. La regolazione del flusso è essenziale per ridurre il rischio di instabilità del terreno e dei versanti. Il flusso può essere controllato anche dal sistema di pretrattamento oppure grazie all'inserimento di una vasca di dissipazione. Tubazioni e pozzi devono essere **ispezionabili** ed accessibili facilmente per la manutenzione (4.1. Manutenzione - Elementi per il convogliamento).
- Il posizionamento di **materiale inerte** sotto l'INLET può ridurre il rischio di erosione e diminuire la velocità del flusso.
- **OVERFLOW:** Per non superare i livelli di acqua massimi, è consigliato l'inserimento di un troppo pieno collegato alla rete di smaltimento. Tubazioni e pozzi devono essere ispezionabili ed accessibili facilmente per la manutenzione (4.1. Manutenzione - Elementi per il convogliamento). Il troppo pieno (OVERFLOW) può non essere necessario ma garantisce il drenaggio dell'acqua in eccesso per evitare ristagni e in vista del fenomeno piovoso successivo.

2.2 RACCOLTA DELL'ACQUA METEORICA

- Calcolo dell'area delle **superficie di raccolta dell'acqua meteorica**, tipicamente costituite da strade, parcheggi.
- Calcolo del **volumen di acqua** da infiltrare proveniente da altre infrastrutture verdi/componenti di controllo, es. swale, sediment basin (bacini di sedimentazione), filter strips (strisce filtranti).
- **Progettazione dell'INFLOW** dell'acqua meteorica, proveniente dalle superfici di raccolta o da altre infrastrutture verdi/componenti di controllo, sfruttando le pendenze del sito e convogliando l'acqua con canali aperti o coperti da griglie o tubazioni (2.1. Componenti).

2.3 DIMENSIONAMENTO

- **Dimensionamento** dell'infiltration basin considerando: le precipitazioni, con tempo di ritorno 2, 10, 30 o 100 anni, le superfici di raccolta (permeabilità e area) e/o l'eventuale collegamento ad altri sistemi/ componenti (es. swale) e la velocità di infiltrazione nel terreno (1.1. Pianificazione - Suolo).
- Gli infiltration basin sono progettati per **drenare l'acqua** in 24-48 ore, con possibilità di inserire un overflow nel caso di eventi atmosferici intensi.
- Fra la base del sistema e il livello della falda acquifera è opportuno tenere una distanza di 1 metro.
- La **base** del basin deve essere piana per garantire uniformità di stoccaggio e infiltrazione.
- I **versanti laterali** devono avere pendenza inferiore a 20% per permettere la stabilizzazione della vegetazione, per operazioni di manutenzione del verde e per evitare rischi di caduta all'interno (VirginiaTech, 2013).
- La progettazione deve innanzitutto considerare i tempi di ritorno dei fenomeni che il basin dovrà trattare: 100 anni, 30 anni, 10 anni (1.2. Pianificazione-Ambiente). A seconda delle caratteristiche del sito di intervento (aree più o meno dense) e dei dati pluviometrici, è possibile dimensionare il sistema in modo tale che l'acqua raggiunga il livello massimo con tempi di ritorno di 100 anni. Qua-lora il sistema venga dimensionato su tempi di ritorno sino a 30 anni, lo svuotamento di metà del suo volume dovrebbe avvenire in non più di 24 ore, per garantire il funzionamento in caso di eventi immediatamente successivi. Per tempi di ritorno superiori, il tempo di svuotamento può essere più lungo ma è comunque funzionale l'impiego di un overflow, valutando il rischio conseguente ad una tracimazione.
- La **differenza di quota fra INLET e OUTLET** adatta all'ambiente urbano è compresa fra 0.3 e 1 m (Clar et al., 2004). Sono possibili anche profondità superiori (Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005), valutandone le implicazioni funzionali.
- La **profondità del sistema** (depth d) si calcola considerando il tasso di infiltrazione e il tempo massimo di allagamento, secondo la formula: $d=fTp$, dove f =velocità di infiltrazione [cm/ora] (1.3. Pianificazione-Suolo) e Tp = il tempo massimo di ristagno dell'acqua [ore] (Clar et al., 2004).
- Il **volume del sistema** è dimensionato considerando le precipitazioni che cado-no sulle superfici di raccolta e sul bacino stesso. Quando l'acqua è convogliata da altri sistemi/componenti (ad esempio swale), deve essere aggiunto il volume di acqua che da esso proviene. Il calcolo geometrico del volume ($V=[(Area\ basin\ superiore+Area\ basin\ inferiore)*d\ profondità\ bacino]*2-1$).

3. SPECIE VEGETALI

3.1 ASPETTI GENERALI PER LA SELEZIONE

- La selezione della vegetazione utilizzata per le infrastrutture verdi si basa sull'**adeguatezza delle specie in base alle condizioni del sito e ai requisiti programmatici** (le sue specifiche esigenze botaniche, il suo ruolo nel sito e nell'ambito di più ampie comunità di piante). Una selezione valida deve considerare le condizioni del clima in loco, del suolo e le condizioni idriche (1. Pianificazione), nonché le potenziali interazioni tra le specie e le esigenze di manutenzione fu-ture (4. Manutenzione).

- Considerando che le piante prospere e in salute hanno un **ruolo fondamentale nel mantenere la funzionalità** ma anche le caratteristiche estetiche del sistema, il successo di questi dispositivi dipende anche dalla scelta appropriata delle specie.
- Prima che il sistema entri in funzione, è importante che la **copertura vegetativa** sia densa e vigorosa.
- Nel basin le sostanze inquinanti vengono rimosse grazie **all'azione filtrante del manto erboso**, alla deposizione o all'infiltrazione nel sottosuolo. Pertanto, la vegetazione ha un ruolo importante per il rallentamento del flusso e l'incremento delle capacità di trattenere, filtrare e assorbire gli inquinanti.
- **L'area di margine del basin può essere piantumata ad alberi e arbusti**, mentre il fondo può essere semplicemente inerbito. L'erba è la scelta più efficace, tuttavia si raccomanda particolare attenzione nella scelta di specie erbacee dense per una copertura vegetativa ottimale.
- Il **tappeto erboso a bassa manutenzione** può essere realizzato con specie che presentano una buona rusticità (fino a -10°C circa) e sono resistenti a calpestio, siccità e allagamenti.
- Alle nostre latitudini **l'epoca ideale per la semina è durante i mesi di maggio-giugno**, con temperature del suolo ideali per la germinazione. Al di sopra dei 20°C il tasso di germinazione aumenta e raggiunge il culmine tra i 30° e i 35°, è consigliabile invece la semina con temperature del suolo inferiori ai 18°C. Per la piantumazione di piante adulte è consigliabile la stagione autunnale. In alcuni casi, o con la messa a dimora in stagioni più calde, potrebbe essere necessario prevedere un impianto di irrigazione di supporto per un periodo massimo di due anni.

3.2 CARATTERISTICHE BOTANICHE ed esigenze pedoclimatiche

- Le **caratteristiche delle piante** devono essere valutate in particolare in relazione all'apparato fogliare, apparato radicale e al ciclo vitale, fioritura. A queste caratteristiche sono correlate le esigenze colturali, in particolare rispetto a rusticità, esigenze idriche, esposizione, pH suolo, etc.
- L'efficacia di rimozione degli inquinanti è correlata alla **capacità di rallentare il flusso**, alla densità della vegetazione e al vigore dell'apparato radicale delle piante.
- Considerando che le piante prospere e in salute hanno un ruolo fondamentale nel mantenere la funzionalità ma anche le caratteristiche estetiche dell'infiltration basin, il successo di questi dispositivi dipende dalla **scelta appropriata delle specie**.
- È necessario scegliere una ottimale **composizione di semi per il manto erboso** più adatta al sito, basata sull'adeguatezza in termini di tolleranza al freddo, tolleranza al calore, adattamento dell'altezza di taglio, tolleranza alla siccità e costi di manutenzione. Nell'area del territorio Marittimo per esempio si potrebbero impiegare specie quali *Dichondra sp* e *Zoysia sp*.
- È necessario **valutare attentamente l'impiego di alberi e arbusti** nell'infiltration Basin. Essi infatti possono fornire una stabilizzazione aggiuntiva, ma anche ombreggiare il manto erboso, con conseguenze non ottimali sul sistema. Inoltre, la caduta di foglie dagli alberi può contribuire allo sviluppo di nutrienti indesiderati, aumentando le necessità manutentive del sistema. Se si prevede l'impianto di alberi e arbusti i processi di selezione e di impianto dovrebbero essere attentamente pianificati ed eseguiti per evitare questi potenziali problemi.

3.3 ESIGENZE CLIMATICHE

- Consultando le banche dati regionali è possibile reperire i dati relativi a **temperature e precipitazioni** (1.2. Pianificazione-Ambiente). Considerando il criterio di adattabilità al clima, la scelta più ragionevole è quella di rivolgersi a piante tipiche della regione climatica o di regioni climatiche simili a quella in cui si deve realizzare l'infiltration basin. Considerazioni caso per caso andranno fatte per l'uso di specie autoctone o specie alloctone adattabili perché provenienti da zone climatiche simili.
- **Resistenza a siccità e allagamenti.** L'infiltration basin all'interno del contesto delle regioni del territorio Marittimo (Liguria, Toscana, Corsica, Sardegna, Paca) potrebbe soffrire di prolungati periodi di siccità intervallati da periodi stagionali in cui invece potrebbero verificarsi eccezionali fenomeni di piogge che causano allagamenti localizzati per brevi periodi di tempo. Pertanto, oltre a considerare le piante tipiche di suoli piuttosto umidi, che possano sopravvivere ad allagamenti in particolari momenti dell'anno, è necessario considerare specie in grado di sopportare anche periodi di prolungata assenza di precipitazioni. Lo scopo dell'infiltration basin infatti è quello di essere completamente sostenibile e indipendente anche da impianti di irrigazione.
- **Posizione nell'infiltration basin** rispetto al livello di umidità del suolo. Normalmente l'infiltration basin ha una morfologia caratterizzata da una depressione del terreno in cui i margini sono irrigati solo occasionalmente mentre la parte più profonda è caratterizzata da umidità maggiore e più duratura del suolo (2.1. Progettazione-Componenti). In queste aree le condizioni sono molto simili a quelle che si trovano nelle zone umide nei margini di transizione tra ecosistemi terrestri e zone umide. Si tratta comunque di condizioni dinamiche caratterizzate da fluttuazioni più o meno marcate nel corso dell'anno.
- **Disposizione rispetto al soleggiamento.** Si cercherà, in via generale, di scegliere specie che ben sopportano le condizioni di semi-ombreggiamento, soprattutto in ambiente urbano, dove le ombre portate dagli edifici circostanti hanno una notevole importanza. Le ombre portate possono essere studiate attraverso un modello tridimensionale (1.2. Pianificazione-Ambiente). L'analisi dell'ombreggiamento dell'area selezionata per la messa in opera dell'infiltration basin dovrebbe essere predisposta al momento della pianificazione.

3.4 CARATTERISTICHE FUNZIONALI

- Specie autoctone o alloctone ben adattabili hanno, di norma, **basse esigenze manutentive**. Le piante selezionate devono essere resistenti alle comuni fitopatologie, non necessitare di potature né di irrigazione.
- In generale, le specie erbacee sono più efficaci e offrono un migliore **controllo dell'erosione** rispetto ad altri tipi di vegetazione di copertura del suolo. L'uso di varietà di erbacee a crescita lenta e tolleranti difficili condizioni del suolo ridurrà al minimo la manutenzione ordinaria (sfalcio e concimazione). La necessità di **concimazioni** supplementari può essere sostanzialmente ridotta quando la copertura vegetativa include una percentuale di specie che fissano l'azoto come le leguminose. Oltre a ridurre al minimo i costi di manutenzione, una riduzione del fertilizzante applicato ridurrà anche i potenziali effetti nocivi dell'azoto e del deflusso di nitrati nella falda.

- La diversità biologica comprende la varietà e la variabilità tra organismi viventi e i complessi ecologici in cui essi vivono. Contribuire ad arricchire la complessità ecologica urbana attraverso l'impiego di una varietà di specie che vadano a formare una nuova comunità è un fattore positivo (con benefici ecologici), soprattutto quando le ricadute sulla **biodiversità** possono interessare anche gli aspetti faunistici (avifauna e insetti).

4. MANUTENZIONE

4.1 ELEMENTI PER IL CONVOGLIAMENTO

- Pulizia periodica del **canale di entrata dell'acqua** (INLET):
 - pulire il tubo da sedimenti e residui per evitare la stagnazione di acqua residua;
 - riparare o sigillare i tubi di scarico danneggiati o incrinati o sostituirli se la riparazione non è sufficiente.
- Pulizia periodica del **canale di uscita dell'acqua** (OUTLET):
 - pulire il tubo da sedimenti e residui per evitare la stagnazione di acqua residua;
 - riparare o sigillare i tubi di scarico danneggiati o incrinati o sostituirli se la riparazione non è sufficiente.
- Pulizia di eventuali pozzetti quando necessaria.
- I detriti e i rifiuti si accumulano principalmente vicino alle strutture di ingresso e di uscita dei controlli delle acque piovane e devono essere rimossi durante le normali operazioni di sfalcio. Si consiglia di prestare particolare attenzione ai detriti galleggianti che possono eventualmente intasare l'outlet.

4.2 SPECIE VEGETALI

- La **manutenzione funzionale** è importante per motivi di prestazioni e sicurezza, mentre la **manutenzione estetica** è importante soprattutto per l'accettazione pubblica delle strutture e perché può anche ridurre le attività di manutenzione funzionale necessarie. Sono necessarie entrambe le forme di manutenzione, ed entrambe devono essere combinate in un programma di manutenzione generale del sistema.
- La **manutenzione estetica** migliora in primo luogo l'aspetto visivo e l'attrattiva del sistema. Un sistema con un bell'aspetto consentirà alla struttura di diventare più facilmente parte integrante di una comunità. In generale, la manutenzione estetica è più importante nei laghetti e negli impianti di biofiltrazione, sebbene possa essere importante anche per le strutture di infiltrazione con un impianto di vegetazione significativo.
- Per quanto possibile, oltre al manto erboso, la progettazione di strutture per l'infiltrazione dell'acqua piovana dovrebbe incorporare elementi paesaggistici naturali che richiedono pochi sfalci.
- Le aree **a prato** dovrebbe garantire un manto erboso sano e denso. L'erba danneggiata durante il processo di rimozione del sedimento deve essere prontamente sostituita utilizzando la stessa miscela di semi utilizzata al momento dell'impianto. Se possibile, il flusso deve essere deviato dalle aree danneggiate fino a quando l'erba non è stabilmente attecchita.
- Il manto erboso deve essere mantenuto denso e compatto con un'altezza uniforme di almeno 50 mm sopra il livello dell'acqua di progetto. A seconda delle specie presenti dovrà essere pianificato un programma di sfalcio per garantire l'altezza ottimale dell'erba.

- La manutenzione comprende:
 - rimozione **foglie secche** inizio primavera e autunno;
 - eventuale **sostituzione piante** morte o malate.
- In caso di **ingiallimento**, scarsa crescita, scarsa fioritura, radici o steli deboli:
 - testare il terreno per identificare specifiche carenze;
 - consultare un professionista esperto o fare riferimento a risorse naturali per la cura del giardino;
 - non usare fertilizzanti chimici;
 - considerare la scelta di sostituire le piante con specie adatte alle condizioni del terreno.
- Se la vegetazione riduce le **distanze visive** e lo spazio dei marciapiedi:
 - mantenere i marciapiedi e le distanze liberi;
 - scegliere piante a crescita lenta e specie di dimensioni ridotte.
- Se la vegetazione ostruisce gli sbocchi dei flussi (INLET e OUTLET):
 - tenere le prese d'acqua libere dalla vegetazione;
 - spostare la vegetazione se il problema persiste.
- In caso di **erbe infestanti**:
 - rimuovere le erbe a mano, soprattutto in primavera quando il terreno è umido e le erbe sono piccole;
 - diserbare le infestanti dalle radici prima che vadano a seme;
 - applicare pacciame o strato ghiaioso dopo aver diserbato.
- Eliminazione degli habitat di riproduzione delle zanzare:
 - qualsiasi pozza d'acqua stagnante può diventare un ambiente di riproduzione delle zanzare;
 - il programma di controllo delle zanzare più efficace è quello che elimina potenziali habitat di riproduzione o, nel caso di stagni o zone umide, garantisce che vengano mantenute condizioni ottimali per la sopravvivenza degli organismi di controllo delle zanzare.

4.3 SUOLO

- **Controllo dell'erosione** ed eventuale aggiunta di substrato. In caso di erosione continua dei margini laterali, minimizzare gli effetti erosivi aggiungendo ghiaia o ciottoli.
- Pulizia di **sedimenti e detriti**.
- Rimozione di sedimenti e fogliame che riducono la **velocità di drenaggio** in superficie (i sedimenti dovrebbero essere ridotti dal filtro posto in entrata, 1.1 Progettazione-Componenti).
- **Per limitare fenomeni di erosione** del terreno da cui passa l'acqua in entrata (INFLOW), grazie a condutture o avvallamenti, mantenere la copertura di ghiaia o ciottoli.
- La rimozione del sedimento nei sistemi di infiltrazione deve includere il monitoraggio della porosità dello strato drenante, la sostituzione o la pulizia dei materiali permeabili se necessario, il ripristino della vegetazione. La rimozione del sedimento per i sistemi di infiltrazione può essere un importante problema operativo e di manutenzione, pertanto va posta particolare attenzione all'accessibilità alle strutture di drenaggio in fase di progettazione.

4.4 ACQUA ACCUMULATA

stagnante per più di 48 ore dopo l'evento meteorico

- Controllare la presenza di foglie, detriti o sedimenti che riducono la **capacità di drenaggio**.
 - Se necessario, rimuovere foglie, detriti o sedimenti.
 - Se questo non risolve il problema, consulta un professionista per valutare quanto segue:
 - controllare eventuali altre infiltrazioni di acqua (ad esempio, acque sotterranee);
 - verificare che l'infiltration basin sia dimensionato in modo appropriato.
- Verificare il corretto funzionamento dell'OVERFLOW.
- Determinare se il suolo è ostruito da sedimenti o se il terreno è compattato.

■ TESTI CONSULTATI ■

- Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide.
- Hinman, C., 2013. Rain Garden Handbook for Western Washington. A Guide for Design, Installation, and Maintenance.
- Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005. The Minnesota Stormwater Manual.
- VirginiaTech, 2013. BMP DesignManual.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual.

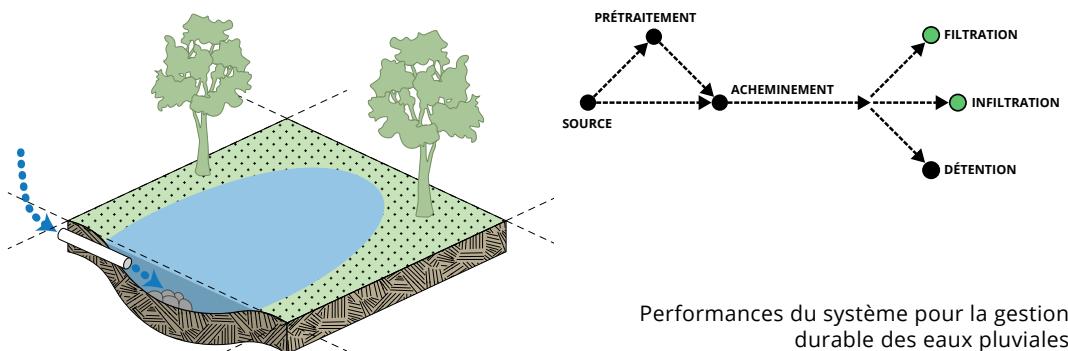
3.3 INFILTRATION BASIN

Katia Perini

[FR]

Dépression du sol qui retient le ruissellement et permet le dépôt et la filtration des polluants avant leur infiltration dans le sol.

- Adaptable à l'environnement urbain dans des zones peu denses et peu fréquentées par les piétons;
- multifonction;
- versatilité en termes de forme et de dimensions;
- valeur esthétique;
- traitement qualitatif de l'eau;
- interception et évapotranspiration;
- réduction du flux de pic;
- réduction du volume d'écoulement;
- recharge de la nappe phréatique;
- nécessité d'entretien en raison de la présence de végétation et du risqué d'obstruction des puits et des conduites.



1. PLANIFICATION

1.1 SITE

- Sélection de la zone la plus appropriée pour la mise en œuvre du bassin d'infiltration en tenant compte de: la présence de surfaces avec des pentes inférieures à 15% (Clar et al., 2004) et avec 6 m de distance par rapport à des bâtiments en amont et 30 m en aval (VirginiaTech, 2013), le niveau haut saisonnier de la nappe (seasonal high water table - SHWT) à plus de 1 m sous la surface; de plus, la présence d'égouts, les pentes des zones de collecte adjacentes (par ex. routes, parkings), le raccordement à d'autres systèmes /composantes etc. doivent également être vérifiés.
- Analyse des surfaces de **collecte des eaux pluviales et/ou des connexions possibles avec d'autres systèmes/composantes de contrôle**, pour déterminer l'INFLOW du système. La surface de collecte peut être constituée de routes ou de parkings, lorsque la pente le permet, ou de toitures de bâtiments environnants. L'eau de pluie peut également être acheminée à travers des swales ou des filter strips (bandes filtrantes)

[FR] ou prétraitée (par exemple à travers des sediment basins, bassins sédimentaires). Habituellement, la zone de collecte ne dépasse pas 0,2 km²) (VirginiaTech, 2013) et est supérieure à 0,02 km² (Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005).

- Evaluation du rôle écologique du site à l'intérieur du réseau écologique.

1.2 ENVIRONNEMENT

- **Données climatiques** requises pour le dimensionnement du système (2.3. Conception-Dimensionnement). Il est conseillé de rechercher des données sur les températures maximales et minimales (10-20 dernières années) et les précipitations moyennes, maximales quotidiennes et cumulatives saisonnières (30-50 ans) en consultant les banques de données régionales.
Pour dimensionner un infiltration basin, il est conseillé de collecter des données de précipitations en considérant des temps de retour de 10 à 100 ans (paramètre exprimant le nombre moyen d'observations nécessaires pour qu'un événement donné se produise, par exemple, un événement avec un temps de retour de «100 ans» a une probabilité de 1% (= 1/100) de survenir dans une année donnée).
- **Analyse de l'ombrage** de la zone sélectionnée pour l'implantation d'infiltration basins (1.1. Site). Les ombres générées par les bâtiments ou autres éléments doivent être prises en compte pour le choix des espèces végétales, et en particulier lorsqu'on envisage d'utiliser des arbres et arbustes (3. Espèces végétales), par exemple, grâce à une étude simplifiée avec modèle tridimensionnel pour: 21 décembre, 21 mars, 21 juin à midi.
- Autres conditions contextuelles (à prendre en compte pour 2. Espèces végétales), par exemple l'exposition à la salinité, les émissions provenant des installations techniques, la pollution dues aux poussières, etc.

1.3 SOL

- Le sol doit être perméable pour permettre au système de remplir sa fonction (infiltrer l'eau de pluie) et ne pas contenir plus de 30% d'argile. Mais les sols trop perméables (par ex. sableux) sont peu adaptés (VirginiaTech, 2013).
- L'analyse de **perméabilité** du terrain peut être effectuée par un expert en géotechnique. La présence d'argile peut être déterminée empiriquement en prenant du sol, en l'humidifiant et en essayant d'en faire d'abord une sphère puis en l'écrasant: plus le sol est collant et argileux, moins il est drainant. La perméabilité peut être testée à l'aide d'un outil appelé infiltromètre ou d'un simple test sur le terrain (Hinman et al., 2013), qui consiste à creuser un trou de 30 cm de large sur 60 cm de profondeur. Le trou est rempli d'eau et la vitesse d'infiltration est mesuré à l'aide d'une règle. Exemple: si on verse 150 mm d'eau si le trou se vide en 12 heures, la vitesse d'infiltration sera de 12,5 mm/heure. Pour vérifier l'absence de couches imperméables même en profondeur, il est conseillé d'effectuer un contrôle à 1,5 mètre sous la surface.
- La performance des infiltration basins dépend de la capacité d'infiltration du sol et de la hauteur de la nappe souterraine.

2. CONCEPTION

2.1 COMPOSANTS

- **Espèces végétales** (3. Espèces végétales).
- **Substrat** pour la plantation et terrain du site non compacté, positionné après la dépression créée pour le stockage temporaire de l'eau (2.3 Dimensionnement). L'épaisseur du substrat pour la plantation doit être déterminée en fonction des espèces végétales choisies (3. Espèces végétales; environ 15 cm pour l'aménagement d'un gazon). Un **mélange typique du substrat incorporant des amendements** (en quantité variable de 20 à 50 % du volume total) pour améliorer la perméabilité comprend:
 - 30% du volume du compost
 - 70% du volume de sable avec seulement 5% de mélange argile / chaux
- Le mélange de substrat doit avoir un indicateur de pH de 6,0 à 6,5 (Clar et al., 2004).
- Le sol doit être exempt de pierres, souches, racines ou autres matériaux ligneux d'un diamètre supérieur à 2,5 cm et de graines de mauvaises herbes. Il est très important de minimiser le compactage du sol.
- Les eaux de ruissellement doivent être substantiellement nettoyées avant d'entrer dans l'infiltration basin. Un prétraitement en amont est nécessaire pour éliminer les sédiments afin de réduire le risque de colmatage et la défaillance du système qui en résulte (4.1 Entretien - Éléments pour l'acheminement), en faisant passer l'eau à travers des swales, sediment basins (bassins sédimentaires) ou filter strips (bandes filtrantes). Lorsque cela n'est pas possible, un puits de sédimentation peut être inséré. De plus, le prétraitement réduit le risque de pollution des eaux souterraines dérivant de l'acheminement des eaux de ruissellement polluées (Woods Ballard et al., 2015).
- **INFLOW:** pour traiter, à des fins qualitatives, des quantités importantes d'eau et réduire le ruissellement, l'eau de pluie recueillie sur les surfaces adjacentes est acheminée dans l'infiltration basin par des canalisations ou des conduits ouverts équipés d'un régulateur de débit. La régulation du débit est essentielle pour réduire le risque d'instabilité du sol et des pentes. Le débit peut également être contrôlé par le système de prétraitement ou par la mise en place d'un bassin de dissipation. Les conduites et les puits doivent pouvoir être inspectés et facilement accessibles pour l'entretien (4.1 Entretien - Éléments pour l'acheminement).
- Placer un **matériau inerte** sous l'INLET peut réduire le risque d'érosion et diminuer la vitesse d'écoulement.
- **OVERFLOW:** afin de ne pas dépasser les niveaux d'eau maximaux, il est recommandé de prévoir un trop-plein raccordé au réseau d'évacuation. Les conduites et les puits doivent pouvoir être inspectés et facilement accessibles pour l'entretien (4.1 Entretien - Éléments pour l'acheminement). Le trop-plein (OVERFLOW) peut ne pas être nécessaire mais il garantit l'évacuation de l'excès d'eau pour éviter la stagnation et dans la perspective du phénomène pluvieux suivant.

2.2 COLLECTE DES EAUX MÉTÉORIQUES

- Calcul de la **surface des zones de collecte des eaux pluviales**, généralement constituées de routes et de parkings.
- Calcul du **volume d'eau** à infiltrer provenant d'autres infrastructures vertes/éléments de contrôle, p. ex. swales, sediment basin (rioles, bassins sédimentaires), filter strips (bandes filtrantes).

- **Conception de l'INFLOW** de l'eau de pluie, provenant des surfaces de collecte ou d'autres infrastructures vertes/éléments de contrôle, en exploitant les pentes du site et en acheminant l'eau par des canalisations ouvertes ou recouvertes par des grilles ou des conduites (2.1. Composantes).

2.3 DIMENSIONNEMENT

- Dimensionnement de l'infiltration basin en tenant compte: des précipitations, avec un temps de retour de 2, 10, 30 ou 100 ans, des surfaces de collecte (perméabilité et surface) et/ou du raccordement éventuel à d'autres systèmes/composants (par ex. swales) et du taux d'infiltration dans le sol (1.1. Planification - sol).
- Les infiltration basins sont conçus pour **drainer l'eau** en 24-48 heures, avec la possibilité d'insérer un overflow (trop-plein) en cas d'événements météorologiques intenses.
- Une distance de 1 mètre doit être maintenue entre le fond du système et le **niveau de la nappe phréatique**.
- Le **fond** du bassin doit être plat pour assurer un stockage et une infiltration uniformes.
- Les **pentes latérales** doivent avoir une inclinaison inférieure à 20% pour permettre la stabilisation et l'entretien de la végétation et pour éviter le risque de chute à l'intérieur (VirginiaTech, 2013).
- La conception doit d'abord tenir compte des temps de retour des phénomènes que le bassin doit traiter: 100 ans, 30 ans, 10 ans (1.2. Planification - Environnement). En fonction des caractéristiques du site d'intervention (zones plus ou moins denses) et des données pluviométriques, il est possible de dimensionner le système de manière à ce que l'eau atteigne son niveau maximal avec un temps de retour de 100 ans. Si le système est dimensionné pour des temps de retour allant jusqu'à 30 ans, le vidage de la moitié de son volume devrait être effectué en moins de 24 heures afin de garantir son fonctionnement en cas de succession immédiate d'événements. Pour des temps de retour plus longs, le temps de vidage peut être plus long mais l'utilisation d'un trop-plein est toujours utile si l'on estime le risque résultant du débordement.
- **La différence de hauteur entre INLET et OUTLET** adaptée à l'environnement urbain se situe entre 0,3 et 1 m (Clar et al., 2004). Des profondeurs plus importantes sont également possibles (Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005), en évaluant leurs implications fonctionnelles.
- La **profondeur du système** (depth d) est calculée en tenant compte du taux d'infiltration et du temps maximum d'inondation, selon la formule: $d=fTp$, où f=vitesse d'infiltration [cm/heure] (1.3. Planification - Sol) et Tp = temps maximal de stagnation de l'eau [heures] (Clar et al., 2004).
- Le **volume du système** est dimensionné en tenant compte des précipitations qui tombent sur les surfaces de collecte et sur le bassin lui-même. Lorsque l'eau est transportée par d'autres systèmes/composants (p. ex. swale), il est nécessaire d'ajouter le volume d'eau qui en provient. Le calcul géométrique du volume ($V= [(Surface du bassin supérieur + Surface du bassin inférieur) *d Profondeur du bassin] *2-1$).

3. ESPÈCES VÉGÉTALES

3.1 ASPECTS GÉNÉRAUX POUR LA SÉLECTION

- La sélection de la végétation utilisée pour les infrastructures vertes est basée sur **l'adéquation des espèces en fonction des conditions du site et des exigences du programme** (ses besoins botaniques spécifiques, son rôle dans le site et dans des en-

semences végétales plus larges). Une sélection adéquate doit tenir compte du climat local, des conditions du sol et des conditions hydriques (1. Planification), ainsi que des interactions potentielles entre les espèces et des besoins d'entretien futurs (4. Entretien).

- Étant donné que des plantes prospères et saines jouent un **rôle clé dans le maintien de la fonctionnalité** mais aussi des caractéristiques esthétiques du système, le succès de ces dispositifs dépend également du choix approprié des espèces.
- Avant que le système ne soit mis en service, il est important que la **couverture végétale** soit dense et vigoureuse.
- Dans le bassin, les substances polluantes sont éliminées grâce à l'**action filtrante** du gazon, par dépôt ou infiltration dans le sous-sol. Par conséquent, la végétation joue un rôle important en ralentissant le flux et en augmentant la capacité de rétention, de filtration et d'absorption des polluants.
- Le **bord du bassin peut être planté d'arbres et d'arbustes**, tandis que le fond peut être simplement engazonné. L'herbe est le choix le plus efficace, mais un soin particulier est recommandé dans le choix d'espèces herbacées denses pour une couverture végétale optimale.
- Le **gazon faible entretien** peut être réalisé à partir d'espèces caractérisées par une bonne rusticité (jusqu'à -10°C environ) et résistantes au piétinement, à la sécheresse et aux inondations.
- Sous nos latitudes, le **moment idéal pour semer est pendant les mois de mai-juin** quand les températures du sol sont idéales pour la germination. Au-delà de 20°C, le taux de germination augmente et atteint son maximum entre 30°C et 35°C, tandis que les semis avec des températures du sol inférieures à 18°C ne sont pas recommandés. Pour la plantation de plantes adultes, la saison d'automne est recommandée. Dans certains cas, ou lorsque l'on plante pendant les saisons chaudes, il peut être nécessaire de prévoir un système d'irrigation de soutien pendant une période maximale de deux ans.

3.2 CARACTÉRISTIQUES BOTANIQUES

Et exigences pédoclimatiques

- Les **caractéristiques des plantes** doivent être évaluées notamment en fonction de l'appareil foliaire, du système racinaire et du cycle de vie, de la floraison. A ces caractéristiques sont liées les exigences de culture, en particulier en ce qui concerne la rusticité, les besoins en eau, l'exposition, le pH du sol, etc.
- L'efficacité de l'élimination des polluants est liée à la **capacité de ralentir l'écoulement**, à la densité de la végétation et à la vigueur du système racinaire des plantes.
- Etant donné que des plantes prospères et saines ont un **rôle fondamental dans le maintien de la fonctionnalité** mais aussi des caractéristiques esthétiques de l'infiltration basin, le succès de ces dispositifs dépend du **choix approprié des espèces**.
- Il est nécessaire de choisir la **composition optimale de la semence pour le gazon** le mieux adapté au site, en fonction de l'adéquation en termes de tolérance au froid, à la chaleur, à la hauteur de coupe, à la sécheresse et aux coûts d'entretien. Par exemple, des espèces telles que *Dichondra sp* et *Zoysia sp* pourraient être utilisées sur le territoire Maritime.
- **L'utilisation d'arbres et d'arbustes dans l'infiltration basin doit être envisagée** avec soin. Ils peuvent fournir une stabilité supplémentaire, mais ils peuvent aussi fournir de l'ombre à l'herbe, avec des conséquences négatives pour le système. De

[FR] plus, la chute des feuilles des arbres peut contribuer au développement d'éléments nutritifs indésirables, augmentant ainsi les besoins d'entretien du système. Si des arbres et des arbustes doivent être plantés, les processus de sélection et de plantation doivent être soigneusement planifiés et exécutés avec précaution pour éviter ces problèmes potentiels.

3.3 EXIGENCES CLIMATIQUES

- En consultant les bases de données régionales, il est possible de trouver des données relatives aux **températures et aux précipitations** (1.2. Planification - Environnement). Compte tenu du critère d'adaptabilité au climat, le choix le plus raisonnable est d'utiliser des plantes typiques de la région climatique ou des régions climatiques similaires à celle dans laquelle l'infiltration basin doit être réalisé. Des considérations au cas par cas devraient être prises en compte pour l'utilisation d'espèces indigènes ou non indigènes qui peuvent être adaptées car elles proviennent de zones climatiques similaires.
- **Résistance à la sécheresse et aux inondations.** L'infiltration basin dans le contexte des régions du territoire maritime (Ligurie, Toscane, Corse, Corse, Sardaigne, Paca) pourrait souffrir de périodes prolongées de sécheresse entrecoupées de périodes saisonnières au cours desquelles des phénomènes pluviométriques exceptionnels pourraient survenir et provoquer des inondations localisées pendant de courtes périodes. Par conséquent, en plus d'envisager les plantes typiques des sols plutôt humides, qui peuvent survivre aux inondations à certaines périodes de l'année, il est nécessaire de prendre aussi en compte des espèces pouvant résister à des périodes d'absence prolongée de précipitations. L'objectif de l'infiltration basin est en fait d'être totalement durable et indépendant même des systèmes d'irrigation.
- **Position dans l'infiltration basin** par rapport au niveau d'humidité du sol. Habituellement, l'infiltration basin a une morphologie caractérisée par une dépression du sol dont les bords ne sont irrigués qu'occasionnellement alors que la partie la plus profonde est caractérisée par une humidité plus élevée et plus durable du sol (2.1. Conception-Composants). Dans ces zones, les conditions sont très similaires à celles que l'on trouve dans les zones humides dans les marges de transition entre les écosystèmes terrestres et les zones humides. Il s'agit toutefois de conditions dynamiques avec des variations plus ou moins marquées au cours de l'année.
- **Disposition par rapport à l'ensoleillement.** D'une manière générale, on s'efforcera de choisir des espèces capables de résister aux conditions de semi-ombrage, en particulier en milieu urbain, où les ombres des immeubles environnants sont d'une importance considérable. Les ombres projetées peuvent être étudiées au moyen d'un modèle tridimensionnel (1.2. Planification - Environnement). L'analyse de l'ombrage de la zone sélectionnée pour l'implantation de l'infiltration basin doit être prévue au moment de la planification.

3.4 CARACTÉRISQUES FONCTIONNELLES

- Les espèces indigènes ou non indigènes faciles à adapter ont normalement **peu besoin d'entretien**. Les plantes sélectionnées doivent pouvoir résister aux pathologies végétales courantes, sans nécessiter ni taille ni irrigation.
- En général, les espèces herbacées sont plus efficaces et offrent un meilleur **contrôle de l'érosion** que le d'autres types de végétation de couverture du sol. L'utilisation de variétés herbacées à croissance lente et tolérantes aux conditions difficiles du sol

réduira au minimum l'entretien courant (fauchage et fertilisation). La nécessité d'une fertilisation supplémentaire peut être considérablement réduite lorsque la couverture végétale comprend un pourcentage d'espèces fixatrices d'azote telles que les légumineuses. En plus de minimiser les coûts d'entretien, une réduction de l'engrais utilisé réduira également les effets potentiellement nocifs du ruissellement de l'azote et des nitrates dans l'aquifère.

- La diversité biologique comprend la variété et la variabilité entre les organismes vivants et les systèmes écologiques dans lesquels ils vivent. Aider à enrichir la complexité écologique urbaine par l'utilisation de différentes espèces pour former une nouvelle communauté est un facteur positif (avec des bénéfices écologiques), surtout lorsque les effets sur la **biodiversité** peuvent aussi avoir une incidence sur la faune (oiseaux et insectes).

4. ENTRETIEN

4.1 ÉLÉMENTS POUR L'ACHEMINEMENT

- **Nettoyage périodique du canal d'entrée d'eau (INLET):**
 - nettoyer la conduite pour éliminer sédiments et résidus afin d'éviter la stagnation de l'eau résiduelle;
 - réparation ou rétablissement de l'étanchéité des tuyaux d'évacuation endommagés ou fissurés ou les remplacer si la réparation n'est pas suffisante.
- **Nettoyage périodique du canal de sortie d'eau (OUTLET):**
 - nettoyer la conduite pour éliminer sédiments et résidus afin d'éviter la stagnation de l'eau résiduelle;
 - réparation ou rétablissement de l'étanchéité des tuyaux d'évacuation endommagés ou fissurés ou les remplacer si la réparation n'est pas suffisante.
- Nettoyage de tous les puits au besoin.
- Les débris et les déchets s'accumulent principalement près des installations d'entrée et de sortie de l'eau de pluie et doivent être éliminés pendant les opérations normales de fauche. Une attention particulière doit être portée aux débris flottants qui peuvent obstruer la sortie.

4.2 ESPÈCES VÉGÉTALES

- **L'entretien fonctionnel** est important pour des raisons de performance et de sécurité, tandis que **l'entretien esthétique** est particulièrement important pour l'acceptation des installations par le public et parce qu'il peut également réduire les activités d'entretien fonctionnel nécessaires. Les deux formes d'entretien sont nécessaires et doivent être combinées dans un programme général d'entretien du système.
- **L'entretien esthétique** améliore avant tout l'aspect visuel et l'attractivité du système. Un système avec un aspect agréable permettra à la structure de devenir plus facilement partie intégrante d'une collectivité. En général, l'entretien esthétique est plus important dans les étangs et les installations de biofiltration, bien qu'il puisse également être important pour les structures d'infiltration caractérisées par une végétation importante.
- Dans la mesure du possible, en plus du gazon, la conception des structures d'infiltration des eaux pluviales doit intégrer des éléments paysagers naturels ne nécessitant pas d'être souvent fauchés.
- Les **pelouses** doivent assurer un gazon sain et dense. L'herbe endommagée au cours du processus d'enlèvement des sédiments doit être rapidement remplacée en utili-

sant le même mélange de semences que celui utilisé au moment de la mise en œuvre. Si possible, le flux doit être dévié des zones endommagées jusqu'à ce que l'herbe soit bien enracinée.

- Le gazon doit rester dense et compact avec une hauteur uniforme d'eau moins 50 mm au-dessus du niveau d'eau prévu. En fonction de l'espèce présente, un programme de tonte doit être planifié pour assurer la hauteur optimale de l'herbe.
- L'entretien comprend:
 - élimination des **feuilles sèches** au début du printemps et en automne;
 - **remplacement possible des plantes** mortes ou malade.
- En cas de **jaunissement**, de mauvaise croissance, de mauvaise floraison, de racines ou de tiges faibles:
 - analyser le sol pour identifier les carences spécifiques;
 - consulter un professionnel spécialisé ou se référer aux ressources naturelles pour l'entretien du jardin;
 - ne pas utiliser d'engrais chimiques;
 - envisager de remplacer les plantes par des espèces qui conviennent aux conditions du sol.
- Si la végétation réduit les **distances visuelles** et l'espace sur les trottoirs:
 - maintenir les trottoirs et les distances dégagés;
 - choisir des plantes à croissance lente et des espèces de dimensions réduites.
- Si la végétation bloque les sorties d'écoulement (INLET et OUTLET):
 - maintenir les prises d'eau libres de toute végétation;
 - déplacer la végétation si le problème persiste.
- En cas de **mauvaises herbes**:
 - enlever les mauvaises herbes à la main, surtout au printemps lorsque le sol est humide et que les herbes sont petites;
 - arracher les mauvaises herbes à partir des racines avant qu'elles ne montent en graines;
 - couvrir de paillis ou d'une couche de gravier après le désherbage.
- Élimination des habitats de reproduction des moustiques:
 - toute flaqué d'eau stagnante peut devenir un milieu de reproduction pour les moustiques;
 - le programme de démoustication le plus efficace est celui qui élimine les habitats potentiels de reproduction ou, dans le cas des étangs ou des milieux humides, qui assure le maintien de conditions optimales pour la survie des organismes de démoustication.

4.3 SOL

- **Contrôle de l'érosion** et ajout éventuel de substrat. En cas d'érosion continue des bords latéraux, minimiser les effets érosifs en ajoutant du gravier ou des cailloux.
- Nettoyage pour éliminer **sédiments et des détritus**.
- Enlèvement des sédiments et du feuillage qui réduisent la **vitesse de drainage** superficiel (les sédiments devraient être réduits par le filtre d'entrée, 1.1 Conception-Composants).
- **Pour limiter les phénomènes d'érosion** du sol sur le passage de l'eau d'entrée (IN-FLOW), maintenir la couche de gravier ou de galets à l'aide de canalisations ou de dépressions.

- L'enlèvement des sédiments dans les systèmes d'infiltration doit comprendre la surveillance de la porosité de la couche de drainage, le remplacement ou le nettoyage des matériaux perméables au besoin et la restauration de la végétation. L'enlèvement des sédiments pour les systèmes d'infiltration peut constituer un problème majeur d'exploitation et d'entretien; il convient donc d'être extrêmement attentif à l'accessibilité des ouvrages de drainage dès la conception.

4.4 EAU ACCUMULÉE stagnante pendant plus de 48 heures après le phénomène météorique

- Contrôler la présence de feuilles, de débris ou de sédiments qui réduisent la **capacité de drainage**.
- Si nécessaire, enlever les feuilles, les détritus ou les sédiments.
- Si cela ne résout pas le problème, consulter un professionnel pour évaluer ce qui suit:
 - vérifier s'il y a d'autres infiltrations d'eau (p. ex. eau souterraine);
 - vérifier que l'infiltration basin a des dimensions adéquates.
- Vérifier le bon fonctionnement de l'OVERFLOW.
- Déterminer si le sol est obstrué par les sédiments ou s'il est compacté.

■ TEXTES CONSULTÉS

- Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide.
- Hinman, C., 2013. Rain Garden Handbook for Western Washington. A Guide for Design, Installation, and Maintenance.
- Minnesota Stormwater Steering Committee, 2005. The Minnesota Stormwater Manual.
- VirginiaTech, 2013. BMP DesignManual.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual.

3.4 VEGETATIVE SWALE

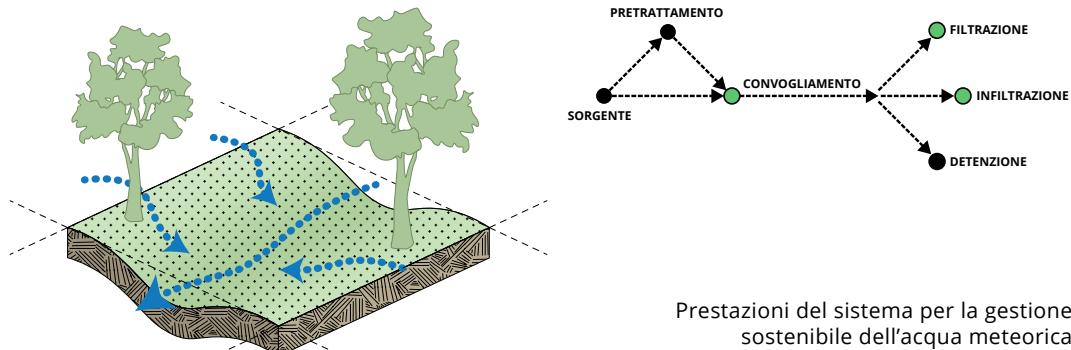
Paola Sabbion

Canale vegetato progettato per convogliare, trattare e attenuare lo scorrimento superficiale.

Tipologie: grass swale, dry swale, wet swale (non analizzata perché meno adatta al contesto urbano).

Rispetto alle grass swale, le dry swale prevedono anche l'inserimento di uno strato filtrante collegato ad un sistema di drenaggio sotterraneo.

- Adattabile ad alcuni contesti, fra cui: strade sub-urbane, residenziale non denso e superfici poco pendenti;
- multifunzionale;
- valore estetico;
- supporto della biodiversità;
- trattamento qualitativo dell'acqua;
- intercettazione ed evapotraspirazione;
- riduzione del flusso di picco;
- riduzione dei volumi di deflusso;
- ravvenamento delle acque sotterranee (sistema INFILTRANTE);
- necessità di manutenzione per la presenza di vegetazione e per il rischio di ostruzione di pozzi e tubazioni.



1. PIANIFICAZIONE

1.1 SITO

- **Selezione dell'area più appropriata** per la messa in opera del vegetative swale considerando: presenza di superfici con sviluppo lineare, tipicamente lungo strade o parcheggi, con pendenze inferiori a 5%; una distanza di almeno 3 metri fra le fondazioni di edifici e la sezione infiltrante; altezza stagionale della falda freatica (seasonal high water table - SHWT) superiore a 1 m sotto la superficie (Woods Ballard et al., 2015); l'assenza di sottoservizi.
- Individuazione delle superfici di **raccolta dell'acqua meteorica** (INFLOW del sistema, 2.1. Progettazione-Componenti), costituite ad esempio da strade o parcheggi, e delle relative pendenze che devono permettere lo scorrimento dell'acqua.

qua all'interno del sistema. Tipicamente la superficie di raccolta non supera i 40.000 m² (Clar et al., 2004).

- Eventuale **collegamento con altri sistemi/componenti** di controllo (es. collegamento con il troppo pieno di un rain garden) in entrata (INFLOW) e in uscita (OUTFLOW, 2.1. Progettazione-Componenti).
- Valutazione del ruolo ecologico del sito all'interno della **rete ecologica**.

1.2 AMBIENTE

- **Dati climatici** necessari per il dimensionamento del sistema (2.3. Progettazione-Dimensionamento). Consultando le banche dati regionali, si suggerisce il reperimento dei dati relativi alle temperature massime e minime (ultimi 10-20 anni) e precipitazioni medie, massime giornaliere e cumulate stagionali (30-50 anni).
- Altre condizioni specifiche del contesto (da eventualmente considerare per 3. Specie vegetali), ad esempio esposizione alla salsedine, emissioni da impianti tecnici, inquinamento da polveri, etc..

1.3 SUOLO

- Le **caratteristiche del terreno per l'impianto** sono importanti quanto la posizione, le dimensioni e il volume della struttura. Il suolo ideale deve bilanciare la composizione chimica e le proprietà fisiche per supportare le comunità biotiche sopra e sotto terra. Il terreno deve essere abbastanza permeabile da permettere al deflusso di filtrare, pur avendo caratteristiche adatte a promuovere e sostenere la vegetazione. Inoltre, le sostanze inquinanti (azoto e fosforo) vengono neutralizzate attraverso l'assorbimento e l'attività microbica nel sottosuolo. Quando la composizione del terreno non è adeguata. È consigliata la rimozione del terreno originale per migliorare la miscela.
- L'analisi della **permeabilità** del terreno, da considerare per il grass swale **INFILTRANTE** e per valutare la capacità di rimozione degli inquinanti che dall'infiltrazione dipendono, può essere effettuata da un esperto geotecnico; il terreno è adatto qualora la velocità di infiltrazione presunta sia superiore a 12 mm/ora. È possibile eseguire l'analisi utilizzando uno strumento denominato infiltrometro o con un semplice test sul campo (Hinman et al., 2013), che si esegue scavando una buca larga 30 cm e profonda 60 cm, umidificandone una parte e cercando di farne prima una sfera e poi schiacciandola: più il terreno è appiccicoso e argilloso e meno è drenante. Si riempie la buca di acqua e si misura, grazie ad un righello, la velocità di infiltrazione. Esempio: immettendo 150 mm d'acqua se la buca si svuota in 12 ore avremo una velocità di infiltrazione di 12,5 mm/ora, cioè il valore minimo richiesto. Quando non è adatto all'infiltrazione, il vegetative swale può essere utilizzato principalmente per il convogliamento.

2. PROGETTAZIONE

2.1 COMPONENTI

- **Specie vegetali** (3. Specie vegetali).
- **Scavo** nel terreno per formare una depressione con sezione trapezoidale o parabolica.
- **Substrato** vegetale per la piantumazione da, eventualmente, aggiungere al terreno presente in situ. Lo spessore del substrato per la piantumazione deve essere determinato in relazione alle specie vegetali scelte (3. Specie vegetali; in-

dicativamente spessore 15-20 cm per la piantumazione di prato, da aumentare nel caso in cui siano previsti arbusti lato strada). Il terreno deve essere privo di pietre, ceppi, radici o altro materiale legnoso con diametro superiore a 2.5 cm e semi di erbe nocive infestanti. elevate quantità di argilla riducono la permeabilità, con conseguente rischio di ristagno dell'acqua che potrebbe causare la morte della vegetazione. Nel caso sia necessario aggiungere substrato per la piantumazione, si raccomanda la miscelazione (Clar et al., 2004):

- 50-80% del volume di sabbia;
- 10-20% argilla;
- 10-20% del volume di compost organico (non animale).

- Se il **miglioramento della qualità dell'acqua** viene ottenuto prevalentemente attraverso lo scorrimento superficiale (grass swale) si consiglia (Woods Ballard et al., 2015) che il **tempo di percorrenza del flusso d'acqua** nel canale erboso sia di almeno 9 minuti, con una velocità massima di 0,3 m/s e altezza del flusso mediamente non superiore all'altezza dell'erba (10 cm). La velocità del flusso può essere calcolata con l'equazione di Gauckler-Strickler che tiene conto del coefficiente di scabrezza, valore variabile in funzione delle caratteristiche del fondo del sistema, della forma e dimensione della sezione "bagnata" (raggio idraulico) e della pendenza del canale. Ciò implica, per ottenere la durata di attraversamento indicata, distanze tra INLET e OUTLET notevoli, pendenze limitate e l'uso di piccoli cespugli oltre al manto erboso.

$$\text{Equazione di Gauckler-Strickler: } V = k R_H^{2/3} S_0^{1/2}$$

Dove V è la velocità del flusso costante [m/s], R_H il raggio idraulico ([m]=A/P dove A è l'area bagnata [m^2]), P è la parte di perimetro della sezione lambito dal flusso d'acqua [m]), S_0 la pendenza del fondo [m/m], k il coefficiente di scabrezza [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$]. Il coefficiente k è basso per fondi molto irregolari (es. 20-25 per ghiaia), alto per superfici lisce (es. 70-80 per canali in calcestruzzo).

Ad esempio, con una velocità di 0,3 m/s, è necessario un tratto di 162 m, con un raggio idraulico di 0,05 m (una lama d'acqua di poco superiore ai 5 cm) e una pendenza del canale di circa 1%.

- Se l'infiltrazione non è possibile, a causa della presenza di strutture nelle vicinanze, rischio di erosione, falda acquifera alta, contaminazione del sottosuolo, etc. si raccomanda l'uso di uno strato **impermeabilizzante** sotto il sistema (es. in PVC). In questo caso si dovrà optare per un sistema non infiltrante.
- L'inserimento di un **tropo pieno (OVERFLOW)** può essere necessario, se possono verificarsi eventi atmosferici con portata superiore alla capacità del sistema. Considerando che i vegetative swale prevedono uno sviluppo lineare, possono essere inseriti più overflow, per quanto possibile vicini all'INLET del sistema. L'overflow può essere collegato alla rete di smaltimento o ad un bacino di raccolta (possibilità limitata in ambiente urbano). Tubazioni e pozzetti devono essere **ispezionabili** ed accessibili facilmente per la manutenzione (4. Manutenzione).
- Possibilità di inserire dispositivi - **dighe di controllo** (barriere/setti) - per rallentare il flusso e bloccare eventuali detriti di media-grande dimensione, che in seguito andranno rimossi manualmente (4. Manutenzione). Materiali comune mente utilizzati: traverse in legname, calcestruzzo o pietra a seconda del contesto in cui si inserisce il sistema.
- Componenti specifici per **DRY SWALE**:
 - gradino 50-100 mm al confine con la superficie di raccolta;
 - striscia filtrante piana (opzionale);

- sotto il substrato vegetale, strato filtrante fasciato da un filtro geotessile e, sul fondo, strato di ghiaia fine per il passaggio del tubo drenaggio (da valutare in funzione delle caratteristiche del terreno e quantità di acqua, 1. Pianificazione).

[IT]

2.2 RACCOLTA DELL'ACQUA METEORICA

- Calcolo dell'area delle **superfici di raccolta dell'acqua meteorica**, tipicamente strade, parcheggi (1.1 Pianificazione-Sito).
- Calcolo del **volume di acqua** da convogliare attraverso lo swale proveniente da altre infrastrutture verdi/componenti di controllo (1.1 Pianificazione-Sito)
- Progettazione dell'**INFLOW** dell'acqua meteorica, proveniente dalle superfici di raccolta o da altre infrastrutture verdi/componenti di controllo, sfruttando le pendenze del sito e convogliando l'acqua con canali aperti o coperti da griglie o tubazioni (2.1. Progettazione-Componenti).

2.3 DIMENSIONAMENTO

- **Aampiezza** consigliata alla base 0.5-2 m (Woods Ballard et al., 2015)
- **Lunghezza** da valutare in funzione della superficie di raccolta: ad esempio swale lunga quanto la strada/superficie di raccolta.
- **Profondità** massima tipica: 40-60 cm (Woods Ballard et al., 2015)
- **Pendenze** (Woods Ballard et al., 2015):
 - pendenza longitudinale 0.5-6% con dighe di controllo per pendenze superiori a 3%. Canale di drenaggio per pendenze inferiori a 1.5%;
 - i margini laterali dovrebbero essere meno inclinati possibile per favorire il pretrattamento dell'acqua e massimizzare la superficie di filtraggio, per sicurezza, per facilitare l'accesso per la manutenzione, ridurre il rischio di erosione. Pendenza massima 33% (1 su 3), pendenza consigliata 25% (1 su 4).
- Il dimensionamento e l'eventuale integrazione di **dighe di controllo** deve considerare i valori di **piovosità locale** (1.1 Pianificazione-Ambiente) oltre che, nel caso del grass swale INFILTRANTE, la velocità di infiltrazione.
- Quando le superfici di raccolta adiacenti sono impermeabili – come spesso avviene in area urbana – **l'impronta (area) del vegetative swale** è circa il 10-20% delle superfici (Clar et al., 2004)

Nota: La resistenza all'erosione è un aspetto importante del progetto e dipende dalla pendenza, dal tipo di terreno e dalla copertura vegetativa.

3. SPECIE VEGETALI

3.1 ASPETTI GENERALI PER LA SELEZIONE

- La selezione della vegetazione utilizzata per le infrastrutture verdi si basa sull'**adeguatezza delle specie in base alle condizioni del sito e ai requisiti programmatici** (specifiche esigenze botaniche, ruolo nel sito e nell'ambito di più ampie comunità di piante). Una selezione valida deve considerare le condizioni del clima in loco, del suolo e idriche (1. Pianificazione), nonché le potenziali interazioni tra le specie e le esigenze di manutenzione future (4. Manutenzione).
- Considerando che le piante prospere e in salute hanno un **ruolo fondamentale nel mantenere la funzionalità** ma anche le caratteristiche estetiche del sistema, il successo di questi dispositivi dipende anche dalla scelta appropriata delle specie.
- Le sostanze inquinanti nelle swale vengono rimosse grazie all'**azione filtrante**

dell'erba, alla deposizione nelle aree a bassa velocità o dall'infiltrazione nel sottosuolo. Le swale inerbite hanno anche una maggiore resistenza all'erosione. Pertanto, la vegetazione ha un ruolo importante di **rallentamento del flusso** e incremento delle capacità di trattenere, filtrare e assorbire gli inquinanti.

- L'area di margine della swale può essere piantumata ad arbusti, mentre il fondo, detto canale di trattamento, è caratterizzato da un **canale inerbito** da specie erbacee dense una buona copertura vegetativa.
- Il **tappeto erboso a bassa manutenzione** può essere realizzato con specie che presentano una buona rusticità (fino a -10°C circa) e sono resistenti a calpestio, siccità e allagamenti (esempio: *Zoysia japonica* e *Dichondra repens*). Alle nostre latitudini l'epoca ideale per la semina è durante i mesi di maggio-giugno, con temperature del suolo ideali per la germinazione. Al di sopra dei 20° C il tasso di germinazione aumenta e raggiunge il culmine tra i 30° e i 35°, è sconsigliabile invece la semina con temperature del suolo inferiori ai 18° C.

3.2 CARATTERISTICHE BOTANICHE ed esigenze pedoclimatiche

- Alle **caratteristiche delle piante**, apparato fogliare, apparato radicale, ciclo vitale, etc., sono correlate le esigenze culturali, in particolare rispetto a rusticità, esigenze idriche, esposizione, pH suolo, etc.
- L'efficacia di rimozione degli inquinanti delle swale è legata alla **capacità di rallentare il flusso**, alla densità della vegetazione e alla rigidità degli steli erbosi, che deve essere in grado di assicurare un effetto "spazzola" (Clar et al., 2004). Le migliori prestazioni in termini di asportazione di sedimenti possono essere ottenute con un manto erboso compatto con un'altezza uniforme mantenuta ad almeno 5 cm sopra il livello dell'acqua. Le specie troppo corte non forniscono una sufficiente riduzione del flusso o filtrazione degli inquinanti; quelle troppo lunghe tendono a piegarsi e appiattirsi, permettendo al deflusso di superare la barriera, riducendo la capacità di ritardo di flusso e di filtrazione.

3.3 ESIGENZE CLIMATICHE

- Consultando le banche dati regionali è possibile reperire i dati relativi a **temperature e precipitazioni** (1.1 Pianificazione-Ambiente). Considerando il criterio di adattabilità al clima, la scelta più ragionevole è quella di rivolgersi a piante tipiche della regione climatica o di regioni climatiche simili a quella in cui si deve realizzare il vegetative swale. Considerazioni caso per caso andranno fatte per le specie autoctone, naturalmente adattabili, o specie alloctone compatibili perché provenienti da zone climatiche affini.
- **Resistenza a siccità e allagamenti.** Il vegetative swale potrebbe soffrire di prolungati periodi di siccità intervallati da periodi stagionali in cui invece potrebbero verificarsi eccezionali fenomeni di piogge. Quando possibile, infatti, le infrastrutture verdi devono essere indipendenti da sistemi di irrigazione per minimizzare l'impatto sull'ambiente.
- **Posizione nel vegetative swale** rispetto al livello di umidità del suolo. Il vegetative swale ha una morfologia a sviluppo lineare caratterizzata da una depressione del terreno in cui i margini sono irrigati solo occasionalmente mentre la parte più profonda è caratterizzata da umidità maggiore e più duratura del suolo (2.1. Progettazione-Componenti). Si tratta comunque di condizioni dinamiche caratterizzate da fluttuazioni più o meno marcate nel corso dell'anno.

- È necessario scegliere una ottimale **composizione di sementi per il manto erboso** più adatta al sito, basata sull'adeguatezza in termini di tolleranza al freddo, tolleranza al calore, adattamento dell'altezza di taglio, tolleranza alla siccità e costi di manutenzione.

[IT]

3.4 CARATTERISTICHE FUNZIONALI

- **Basse esigenze manutentive.** Specie autoctone o alloctone ben adattabili non hanno, di norma, grandi esigenze manutentive. Le piante selezionate devono essere resistenti alle comuni fitopatologie, non necessitare di potature né di irrigazione.
- **Attrattività per la biodiversità (benefici ecologici).** Per quanto il vegetative swale sia caratterizzato da una predominanza di manto erboso, l'impiego di alcune specie arbustive sui margini può avere un ruolo importante per la diversità biologica e gli aspetti ambientali ad essa connessi.
- Un disegno di maggior impatto del vegetative swale può comprendere una **composizione paesaggistica** efficace dell'insieme prato/piante erbacee/arbustive. Per garantire tali prestazioni il sistema deve essere in salute dal punto di vista funzionale, in modo che le piante possano mantenersi sane e rigogliose nel tempo.
- A seconda delle specie erbacee utilizzate è possibile **stabilire l'altezza ottimale del manto erboso** (3.2 Caratteristiche botaniche) ed impostare le profondità del flusso di conseguenza. Nelle aree di scarso drenaggio, possono essere piantate specie tipiche di zone umide per aumentare la copertura vegetativa.
- È necessario **valutare attentamente l'impiego di alberi e arbusti.** Essi infatti possono fornire una stabilizzazione aggiuntiva, ma anche ombreggiare il manto erboso, con conseguenze non ottimali sul sistema. Inoltre, la caduta di foglie dagli alberi può contribuire allo sviluppo di nutrienti indesiderati, creare inceppamenti di detriti o interferire con il flusso d'acqua attraverso il sistema. Se si prevede l'uso di alberi e arbusti, i processi di selezione e di impianto dovrebbero essere attentamente pianificati ed eseguiti per evitare i potenziali problemi descritti.

4. MANUTENZIONE

È necessaria un'ispezione annuale. Tuttavia, si raccomanda un'ispezione aggiuntiva dopo periodi di deflusso pesante, per controllare l'uniformità del manto erboso, i detriti e i rifiuti e le aree di accumulo di sedimenti. Ispezioni più frequenti del manto erboso durante i primi anni dopo l'insediamento contribuiranno a determinare se si stanno sviluppando problemi e a pianificare interventi di manutenzione protettiva a lungo termine.

4.1 ELEMENTI PER IL CONVOGLIAMENTO

- Pulizia periodica del **canale erboso**.
- Il sistema dovrebbe essere tenuto libero dall'ostruzione per ridurre i residui galleggianti che vengono scaricati a valle e per ragioni estetiche. La necessità di questa pratica è determinata attraverso un'ispezione periodica, ma deve essere eseguita almeno due volte all'anno.

- Pulizia periodica del **canale di entrata (INLET)** e **di uscita (OUTLET) dell'acqua**:
 - pulire il tubo da sedimenti e residui per evitare la stagnazione di acqua residua;
 - riparare o sigillare i tubi di scarico danneggiati o incrinati o sostituirli se la riparazione non è sufficiente.
- Pulizia di eventuali pozzetti quando necessaria.

4.2 SPECIE VEGETALI

- Nel canale e sui pendii laterali dovrebbe essere mantenuto un **manto erboso** sano e denso. L'erba danneggiata durante il processo di rimozione del sedimento deve essere prontamente sostituita utilizzando la stessa miscela di semi utilizzata al momento dell'impianto.
 Se possibile, il flusso deve essere deviato dalle aree danneggiate fino a quando l'erba non è stabilmente attecchita. Il manto erboso deve essere mantenuto denso compatto con un'altezza uniforme di almeno 5 cm sopra il livello dell'acqua. Considerando le caratteristiche delle specie presenti dovrà essere pianificato un programma di sfalci per garantire l'altezza ottimale dell'erba.
- Se la vegetazione ostruisce gli **sbocchi dei flussi** (INLET e OUTLET):
 - tenere le prese d'acqua libere dalla vegetazione;
 - spostare la vegetazione se il problema persiste.
- Se sono presenti arbusti: rimozione foglie secche inizio primavera e autunno.
- Eventuale **sostituzione piante** morte.
- In presenza di **piante malate**:
 - rimuovere eventuali piante malate o parti di piante e smaltire per evitare rischio di diffondere la malattia ad altre piante;
 - disinfeccare gli attrezzi da giardinaggio dopo la potatura per prevenire la diffusione di patologie;
 - stabilizzare gli alberi se hanno bisogno di maggiore supporto. Pali e sostegni vanno rimossi dopo il primo anno.
- In caso di **erbe infestanti**:
 - rimuovere le erbe a mano, soprattutto in primavera quando il terreno è umido e le erbe sono piccole;
 - diserbare le infestanti dalle radici prima che vadano a seme, evitando l'uso di sostanze chimiche.

4.3 SUOLO

- **Controllo dell'erosione.** Se le aree sono erose, devono essere riempite, compattate e ri-seminate in modo che il livello finale sia all'altezza del fondo del canale
- **Pulizia di sedimenti e detriti.** I sedimenti che si accumulano sul fondo devono essere rimossi quando si accumulano fino a 10 cm. Il sedimento in eccesso deve essere rimosso a mano o con pale a fondo piatto.
- Rimozione di sedimenti e fogliame che riducono la **velocità di drenaggio** in superficie.

4.4 ACQUA ACCUMULATA

stagnante per più di 48 ore dopo l'evento meteorico

- Controllare la presenza di foglie, detriti o sedimenti che riducono la capacità di drenaggio.
- Se necessario, rimuovere foglie, detriti o sedimenti.
- Se questo non risolve il problema, consulta un professionista per valutare quanto segue:
 - controllare eventuali altre infiltrazioni di acqua (ad esempio, acque sotterranee):
 - verificare che il vegetative swale sia dimensionato in modo appropriato;
 - verificare il corretto funzionamento dell'OVERFLOW;
 - determinare se il suolo è ostruito da sedimenti o se il terreno è compattato.

■ TESTI CONSULTATI ■

- Ballard, B.W., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., 2007. Site Handbook for the Construction of SuDS. CIRIA.
- Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide.
- VirginiaTech, 2013. BMP Design Manual.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual.

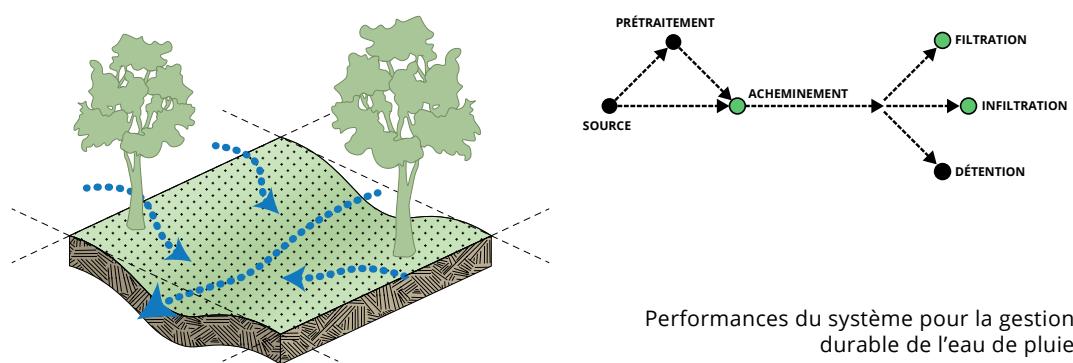
3.4 VEGETATIVE SWALE

Paola Sabbion

Canal végétal conçu pour acheminer, traiter et atténuer le flux de surface.

Types: rigole enherbée, rigole sèche, rigole humide (non analysée car moins adaptée au milieu urbain). Par rapport à la rigole enherbée, la rigole sèche comprend également l'insertion d'une couche filtrante reliée à un système de drainage sous terre.

- Adaptable à certains contextes, notamment: les routes de banlieue, les surfaces résidentielles peu denses et peu profondes;
- multifonction;
- valeur esthétique;
- support de la biodiversité;
- traitement qualitatif de l'eau;
- interception et évapotranspiration;
- réduction du flux de pic;
- réduction des volumes d'écoulement;
- recharge des eaux souterraines (système INFILTRANT);
- nécessité d'entretien en raison de la présence d'une végétation et du risque d'obstruction des puits et des canalisations.



1. PLANIFICATION

1.1 SITE

- **Sélection de la zone la plus appropriée** pour la mise en œuvre de la vegetative swale tenant compte de: la présence de surfaces à développement linéaire, généralement le long de routes ou de parkings, avec des pentes inférieures à 5%; d'une distance d'au moins 3 mètres entre les fondations des bâtiments et la section d'infiltration, un niveau haut saisonnier de la nappe (seasonal high water table - SHWT) à plus de 1 m sous la surface (Woods Ballard et al., 2015); l'absence d'égouts.
- Identification des surfaces de **collecte des eaux de pluie** (INFLOW du système, 2.1. Conception - Composants), comme les routes ou les parkings, et leurs pentes qui doivent permettre l'écoulement de l'eau à l'intérieur du système. Généralement, la surface de collecte ne dépasse pas 40.000 m² (Clar et al., 2004).

- **Raccordement possible avec d'autres systèmes/composants** de contrôle (par ex. raccordement avec le trop-plein d'un rain garden) en entrée (INFLOW) et en sortie (OUTFLOW, 2.1. Conception - Composants)
- Evaluation du rôle écologique du site au sein du **réseau écologique**.

1.2 ENVIRONNEMENT

- **Données climatiques** nécessaires au dimensionnement du système (2.3. Conception - Dimensionnement). Il est conseillé de consulter les bases de données régionales pour trouver des données sur les températures maximales et minimales (10-20 dernières années) et les précipitations moyennes, les maximales journalières et saisonnières cumulées (30-50 ans).
- Autres conditions particulières du contexte (à considérer éventuellement pour 3. Espèces végétales) par exemple: exposition à la salinité, émissions produites par des installations techniques, pollution de poussières etc.

1.3 SOL

- Les **caractéristiques du sol pour la plantation** sont aussi importantes que l'emplacement, la taille et le volume de la structure. Le sol idéal doit équilibrer la composition chimique et les propriétés physiques pour soutenir les communautés biotiques sur la terre et sous la terre. Le terrain doit être suffisamment perméable pour permettre à l'eau de s'écouler par filtration, tout en ayant des caractéristiques propres à favoriser et à soutenir la végétation. De plus, les polluants (azote et phosphore) sont neutralisés par absorption et l'activité microbienne dans le sous-sol. Lorsque la composition du sol n'est pas adéquate, il est recommandé d'enlever le sol d'origine pour améliorer le mélange.
- L'analyse de la **perméabilité** du terrain, à prendre en compte pour la grass swale **INFILTRANTE** et pour évaluer la capacité à éliminer les polluants qui dépendent de l'infiltration, peut être effectuée par un géotechnicien expert; le sol est approprié si le taux d'infiltration présumé est supérieur à 12 mm / heure. L'analyse peut être réalisée à l'aide d'un outil appelé infiltromètre ou en effectuant un simple test sur le terrain (Hinman et al., 2013), qui est effectuer en creusant un trou de 30 cm de large sur une profondeur de 60 cm, humidifier une partie et essayer de faire d'abord une boule puis de la broyer: plus le sol est collant et argileux, moins il est drainant. Le trou est rempli d'eau et la vitesse d'infiltration est mesurée à l'aide d'une règle. Exemple: en versant 150 mm d'eau si le trou est vidé en 12 heures, le taux d'infiltration sera de 12,5 mm/ heure, c'est-à-dire la valeur minimum exigée. Lorsqu'elle ne convient pas à l'infiltration, la vegetative swale peut être utilisée principalement pour l'acheminement de l'eau.

2. CONCEPTION

2.1 COMPOSANTS

- **Espèces végétales** (3. Espèces végétales).
- **Excavation** dans le sol pour former une dépression à section trapézoïdale ou parabolique.
- **Substrat** végétal pour la plantation, à ajouter, éventuellement, au sol présent sur le site. L'épaisseur du substrat de plantation doit être calculée en fonction du choix des

[FR]

espèces végétales choisies (3. Espèces végétales; environ 15-20 cm d'épaisseur pour la plantation de pelouses, à augmenter si des arbustes sont prévus sur le bord de la route). Le terrain doit être exempt de pierres, de souches, de racines ou d'autres matériaux ligneux d'un diamètre supérieur à 2,5 cm et de graines de mauvaises herbes nocives. Des quantités élevées d'argile réduisent la perméabilité, ce qui entraîne un risque de stagnation de l'eau qui pourrait causer la mort de la végétation. Dans le cas où un substrat doit être ajouté pour la plantation, il est recommandé de mélanger (Clar et al., 2004):

- 50-80% du volume de sable;
- 10-20% argile;
- 10-20% du volume de compost organique (non animal).
- Si l'amélioration de la qualité de l'eau est obtenue principalement par l'écoulement superficiel (grass swale), il est conseillé (Woods Ballard et al., 2015) que le temps de parcours du flux d'eau dans le canal herbeux est d'eau moins 9 minutes, avec une vitesse maximale de 0,3 m/s et une hauteur d'écoulement moyenne ne dépassant pas la hauteur de l'herbe (10 cm).

Le débit peut être calculé à l'aide de l'équation Gauckler-Strickler, qui prend en compte le coefficient de rugosité, qui varie en fonction des caractéristiques du fond du système, de la forme et de la taille de la section «humide» (rayon hydraulique) et de la pente du canal. Ceci implique, pour obtenir le temps de passage indiqué, des distances particulièrement importantes entre INLET et OUTLET, des pentes limitées et l'utilisation de petits buissons en plus du gazon.

$$\text{Equation de Gauckler-Strickler: } V = k R_H^{2/3} S_0^{1/2}$$

Où V est la vitesse d'écoulement constante [m/s], R_H le rayon hydraulique ([m]=A/P où A est la surface mouillée [m²], et P est la partie de périmètre de la section recouverte par le flux d'eau [m]), S_0 est la pente du fond [m/m], k le coefficient de rugosité [m^{1/3}/s]. Le coefficient k est faible pour les surfaces très irrégulières (par ex. 20-25 pour le gravier), élevé pour les surfaces lisses (par ex. 70-80 pour les canalisations en béton).

Par exemple, à une vitesse de 0,3 m/s, une section de 162 m est nécessaire, avec un rayon hydraulique de 0,05 m (une lame d'eau d'un peu plus de 5 cm) et une pente du canal d'environ 1%.

- Si l'infiltration n'est pas possible en raison de la présence de structures à proximité, d'un risque d'érosion, d'une nappe phréatique élevée, d'une contamination du sous-sol, etc. nous recommandons l'utilisation d'une couche d'imperméabilisation sous le système (par ex. en PVC). Dans ce cas, on devra opter pour un système non infiltrant.
- La mise en place d'un trop-plein (OVERFLOW) peut être nécessaire, si des phénomènes météorologiques d'une portée supérieure à la capacité du système peuvent se vérifier. Etant donnée que les vegetative swales prévoient un développement linéaire, il est possible d'y intégrer plusieurs overflows, si possible à proximité de l'INLET du système. L'overflow peut être raccordé au réseau d'évacuation ou à un bassin de récupération (solution limitée en milieu urbain). Les conduites et les puits doivent pouvoir être inspectés et facilement accessibles pour l'entretien (4. Entretien).
- Possibilité de mettre en place des dispositifs (digues de régulation) (barrières/cloisons), pour ralentir l'écoulement et bloquer d'éventuels détritus de moyenne-grande dimension, qui seront ensuite éliminés à la main (4. Entretien). Matériaux couramment utilisés: traverses en bois, en béton ou en pierre, selon le contexte dans lequel le système est installé.
- Composants spécifiques pour DRY SWALE:
 - marche 50-100 mm au bord de la surface de collecte;

- bande filtrante plane (en option).
- sous le substrat végétal, couche filtrante enveloppée d'un filtre géotextile et, sur le fond, couche de gravier fin pour le passage du tuyau de drainage (à évaluer selon les caractéristiques du sol et la quantité d'eau, 1. Planification).

2.2 COLLECTE DES EAUX PLUVIALES

- Calcul de l'aire des **surfaces de collecte de l'eau de pluie**, généralement routes, parkings (1.1 Planification-Site).
- Calcul du **volume d'eau** à acheminer par la swale et provenant d'autres infrastructures vertes/ éléments de contrôle (1.1 Planification-Site).
- Conception de **l'INFLOW** de l'eau de pluie, provenant des surfaces de collecte et d'autres infrastructures vertes/éléments de contrôle, en exploitant les pentes du site et en transportant l'eau par des canaux ouverts ou couverts de grilles ou de tuyaux (2.1. Conception - Composants).

2.3 DIMENSIONNEMENT

- **Largeur** conseillée à la base 0,5-2 m (Woods Ballard et al., 2015)
- **Longueur** à évaluer en fonction de la surface de collecte: par ex. une rigole aussi longue que la route/surface de collecte.
- **Profondeur** maximale typique: 40-60 cm (Woods Ballard et al., 2015).
- **Pentes** (Woods Ballard et al., 2015):
 - pente longitudinale 0,5-6% avec digues de régulation pour les pentes supérieures à 3%. Canal de drainage pour pentes inférieures à 1,5 %;
 - les bords latéraux doivent être aussi réduits que possible pour faciliter le prétraitement de l'eau et maximiser la surface filtrante, pour des raisons de sécurité, pour faciliter l'accès pour l'entretien et réduire le risque d'érosion. Pente maximale de 33% (1 sur 3), pente conseillée 25% (1 sur 4).
- Le dimensionnement et l'éventuelle intégration de **digues de régulation** doivent prendre en considération les valeurs de **pluviométrie locale** (1.1 Planification-Environnement) ainsi que, dans le cas de la **grass swale INFILTRANTE**, la vitesse d'infiltration.
- Lorsque les zones de collecte adjacentes sont imperméables, comme c'est souvent le cas en milieu urbain, **les dimensions (la surface) de la vegetative swale** représentent environ 10-20% des surfaces (Derek C. Godwin et al., 2004).

Remarque: La résistance à l'érosion est un aspect important du projet et dépend de la pente, du type de sol et de la couverture végétale.

3. ESPÈCES VÉGÉTALES

3.1 ASPECTS GÉNÉRAUX POUR LA SÉLECTION

- La sélection de la végétation utilisée pour les infrastructures vertes est basée sur **l'adéquation des espèces en fonction des conditions du site et des exigences programmatiques** (besoins botaniques spécifiques, rôle dans le site et dans l'environnement d'ensembles de plantes plus vastes). Une sélection valide doit tenir compte du climat local, des conditions du sol et de l'eau (1. Planification), ainsi que les interactions potentielles entre les espèces et les besoins futurs d'entretien (4. Entretien).
- Etant donné que les plantes prospères et saines jouent un rôle fondamental dans le maintien du bon fonctionnement, mais aussi des caractéristiques esthétiques du système, le succès de ces dispositifs dépend aussi du **choix approprié des espèces**.

- Les polluants présents dans les swales sont éliminés par l'**action filtrante de l'herbe**, par dépôt dans les zones à faible vitesse ou par infiltration dans le sous-sol. Les **swales** enherbées ont également une meilleure résistance à l'érosion. Par conséquent, la végétation joue un rôle important de **ralentissement du flux** et en augmentant la capacité de rétention, de filtration et d'absorption des polluants.
- La zone des bords de la swale peut être plantée d'arbustes, tandis que le fond, appelé canal de traitement, est caractérisé par un **canal enherbé** d'espèces herbacées denses pour une bonne couverture végétale.
- Le **gazon faible entretien** peut être réalisé à partir d'espèces ayant une bonne rusticité (jusqu'à -10°C environ), une bonne résistance au piétinement, à la sécheresse et aux inondations (par exemple: *Zoysia japonica* et *Dichondra repens*). Sous nos latitudes, le moment idéal pour semer est pendant les mois de mai-juin, avec des températures du sol idéales pour la germination. Au-delà de 20°C, le taux de germination augmente et atteint un pic entre 30°C et 35°C; en revanche, les semis sont déconseillés avec des températures du sol inférieures à 18°C.

3.2 CARACTÉRISTIQUES BOTANIQUES

et exigences pédoclimatiques

- Les **caractéristiques des plantes** – système foliaire, système racinaire, cycle de vie etc., sont liées aux exigences de culture, en particulier en ce qui concerne la rusticité, les besoins en eau, l'exposition, le pH du sol, etc.
- L'efficacité d'élimination des polluants des swales est liée à la **capacité de ralentir le flux**, à la densité de la végétation et la rigidité des tiges herbeuses, qui doivent pouvoir assurer un effet «brosse» (Clar et al., 2004). Les meilleures performances en termes d'élimination des sédiments peuvent être obtenues avec un gazon compact ayant une hauteur uniforme maintenue à au moins 5 cm au-dessus du niveau de l'eau. Les espèces trop courtes ne réduisent pas suffisamment le débit ou la filtration des polluants; les espèces trop longues ont tendance à se courber et à s'aplatir, ce qui permet à l'écoulement de franchir la barrière, en réduisant la capacité de retardement du débit et de filtration.

3.3 EXIGENCES CLIMATIQUES

- En consultant les bases de données régionales, vous trouverez des données sur les **températures et les précipitations** (1.1 Planification-Environnement). Compte tenu du critère de l'adaptabilité au climat, le choix le plus raisonnable est de se tourner vers des plantes typiques de la région climatique ou de régions climatiques similaires à celle où la vegetative swale doit être réalisée. Des considérations au cas par cas devraient être prises en compte pour les espèces indigènes, qui sont naturellement adaptables, ou les espèces non indigènes compatibles parce qu'elles proviennent de zones climatiques similaires.
- **Résistance à la sécheresse et aux inondations.** La vegetative swale pourrait souffrir de périodes de sécheresse prolongées, entrecoupées de périodes saisonnières au cours desquelles, au contraire, des phénomènes pluviométriques exceptionnels pourraient se produire. Dans la mesure du possible, les infrastructures vertes devraient être indépendantes des systèmes d'irrigation afin de minimiser leur impact sur l'environnement.

- **Position dans la vegetative swale** par rapport au niveau d'humidité du sol. La vegetative swale a une morphologie avec développement linéaire caractérisée par une dépression du sol dans laquelle les marges sont irriguées seulement occasionnellement tandis que la partie la plus profonde est caractérisée par une humidité du sol plus élevée et plus durable (2.1. Conception - Composants). Il s'agit toutefois de conditions dynamiques caractérisées par des fluctuations plus ou moins marquées au cours de l'année.
- Il est nécessaire de choisir une **composition de semences pour le gazon** le mieux adapté au site, en fonction de l'adéquation en termes de tolérance au froid, de tolérance à la chaleur, d'ajustement de la hauteur de coupe, de tolérance à la sécheresse et de coûts d'entretien.

3.4 CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES

- **Entretien réduit.** Les espèces indigènes ou non indigènes qui s'adaptent bien n'ont normalement pas besoin de beaucoup d'entretien. Les plantes sélectionnées doivent résister aux pathologies végétales courantes, et ne nécessiter ni taille ni irrigation.
- **Attraction pour la biodiversité (avantages écologiques).** Bien que la vegetative swale soit caractérisée par une prédominance de gazon, l'utilisation de certaines espèces d'arbustes sur les bords peut jouer un rôle important dans la diversité biologique et les aspects environnementaux qui y sont liés.
- Une conception plus significative de la vegetative swale peut comprendre une **composition paysagère** efficace de l'ensemble gazon/plantes herbacées/arbustes. Pour assurer ces prestations, le système doit être sain d'un point de vue fonctionnel, de manière à ce que les plantes puissent rester saines et vigoureuses dans le temps.
- En fonction des espèces herbacées utilisées, il est possible **d'établir la hauteur optimale du gazon** (3.2 Caractéristiques botaniques) et, par conséquent, de configurer les profondeurs du flux. Dans les zones mal drainées, il est possible de planter des espèces typiques de zones humides pour augmenter la couverture végétale.
- Il est nécessaire **d'évaluer attentivement l'utilisation d'arbres et d'arbustes.** Ils peuvent fournir une stabilisation supplémentaire, mais aussi ombrager le gazon, avec des conséquences non-optimales pour le système. De plus, la chute des feuilles des arbres peut contribuer au développement d'éléments nutritifs indésirables, créer des obstructions par des débris ou nuire à l'écoulement de l'eau dans le système. Si des arbres et des arbustes doivent être utilisés, les processus de sélection et de plantation doivent être soigneusement planifiés et exécutés pour éviter les problèmes potentiels décrits.

4. ENTRETIEN

Une inspection annuelle est nécessaire. Toutefois, une inspection supplémentaire après des périodes d'écoulement important est recommandée pour vérifier l'uniformité du gazon, des détritus et des déchets et les zones d'accumulation de sédiments. Des inspections plus fréquentes du gazon au cours des premières années suivant la mise en œuvre aideront à déterminer si des problèmes se développent et à planifier les interventions d'entretien de protection à long terme.

4.1 ÉLÉMENTS POUR L'ACHEMINEMENT

- Nettoyage périodique du **canal enherbé**.
- Le système devrait être maintenu libre de toute obstruction afin de réduire les résidus flottants qui sont déversés en aval et pour des raisons esthétiques. La nécessité de cette pratique est déterminée par un contrôle périodique, mais doit être effectuée au moins deux fois par an.
- Nettoyage périodique du **canal d'entrée (INLET) et de sortie (OUTLET) de l'eau**:
 - nettoyer la conduite des sédiments et des résidus pour éviter la stagnation de l'eau résiduelle;
 - réparer ou sceller les tuyaux d'évacuation endommagés ou fissurés ou les remplacer si la réparation n'est pas suffisante.
- Nettoyage des éventuels puits, si nécessaire.

4.2 ESPÈCES VÉGÉTALES

- Un **gazon** sain et dense doit être maintenu dans le canal et sur les pentes latérales. L'herbe endommagée au cours du processus d'élimination des sédiments devrait être rapidement remplacée en utilisant le même mélange de semences que celui utilisé au moment de la plantation. Si possible, l'écoulement doit être dévié des zones endommagées jusqu'à ce que l'herbe soit bien enracinée. Le gazon doit être dense et compact avec une hauteur uniforme d'au moins 5 cm au-dessus du niveau de l'eau. En tenant compte des caractéristiques des espèces présentes, un programme de fauchage doit être planifié pour assurer la hauteur optimale de l'herbe.
- Si la végétation obstrue les **sorties d'écoulement** (INLET et OUTLET):
 - garder les prises d'eau libres de végétation;
 - déplacer la végétation si le problème persiste.
- Si des arbustes sont présents: éliminer les **feuilles sèches** au début du printemps et en automne.
- Eventuel **remplacement de plantes** mortes.
- En cas de **plantes malades**:
 - enlever toutes les plantes ou parties de plantes malades et en disposer pour éviter tout risque de contamination de la maladie à d'autres plantes;
 - désinfecter les outils de jardinage après la taille pour prévenir la propagation des maladies;
 - stabiliser les arbres s'ils ont besoin de plus de soutien. Les tiges et les supports doivent être enlevés après la première année.
- En cas de **mauvaises herbes**:
- Enlever les mauvaises herbes à la main, surtout au printemps lorsque le sol est humide et que les herbes sont petites.
- Arracher les mauvaises herbes avant qu'elles ne montent en graines, en évitant l'utilisation de substances chimiques.

4.3 SOL

- **Contrôle de l'érosion.** Si des zones sont érodées, elles doivent être comblées, compactées et réensemencées pour que le niveau final se trouve au fond du canal.
- Nettoyage pour éliminer **sédiments et détritus.** Les sédiments qui s'accumulent sur le fond doivent être enlevés lorsqu'ils s'accumulent jusqu'à 10 cm. L'excès de sédiments doit être enlevé à la main ou à l'aide d'une pelle à fond plat.
- Enlèvement des sédiments et du feuillage qui réduisent la **vitesse de drainage en surface.**

4.4 EAU ACCUMULÉE Stagnante pendant plus de 48 heures après le phénomène météorique

- Contrôler la présence de feuilles, de détritus ou de sédiments qui réduisent la capacité de drainage.
- Si nécessaire, enlever les feuilles, détritus ou sédiments.
- Si cela ne résout pas le problème, consulter un professionnel pour évaluer ce qui suit:
 - vérifier s'il y a d'éventuelles autres infiltrations d'eau (p. ex. eau souterraine);
 - vérifier que la vegetative swale a des dimensions appropriées;
 - vérifier le bon fonctionnement de l'OVERFLOW;
 - voir si le sol est obstrué par des sédiments ou si le terrain est compacté.

■ TEXTES CONSULTÉS

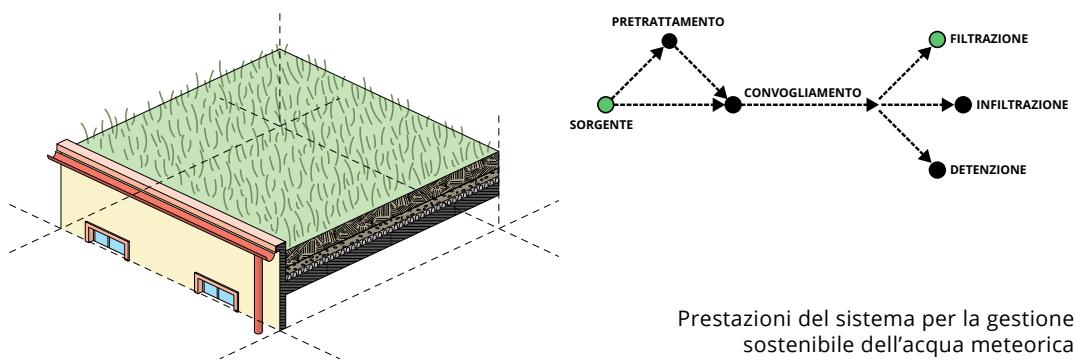
- Ballard, B.W., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., 2007. Site Handbook for the Construction of SUDS. CIRIA.
- Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide.
- VirginiaTech, 2013. BMP DesignManual.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual.

3.4 GREEN ROOF

Katia Perini

Sistemi per l'inverdimento di strutture edilizie. Tipologie: green roof/coperture verdi estensive, leggere e adatte alla riqualificazione del costruito, e green roof/coperture verdi intensive, accessibili e che consentono l'integrazione di diverse specie vegetali.

- adattabile a diversi contesti e a coperture di edifici ad uso residenziale, industriale, parcheggi, strade interrate;
- multifunzionale con prestazioni diverse in funzione della tipologia di copertura (spessore del substrato e specie vegetali utilizzabili);
- micro scala;
- versatilità di forma e dimensione;
- valore estetico e fruibilità (coperture verdi intensive);
- supporto della biodiversità;
- trattamento qualitativo dell'acqua;
- intercettazione ed evapotraspirazione;
- riduzione del flusso di picco;
- riduzione dei volumi di deflusso;
- raffrescamento e isolamento termico dell'edificio;
- necessità di manutenzione per la presenza di vegetazione variabile in funzione del tipo di copertura verde.



1. PIANIFICAZIONE

1.1 SITO

- **Selezione della copertura più appropriata** per la messa in opera del sistema considerando:
 - caratteristiche strutturali per aumento del carico – la struttura deve essere dimensionata per poter sopportare un carico aggiuntivo tipicamente da 70 kg/m² per coperture estensive a 500 kg/m² per coperture intensive (Woods Ballard et al., 2015);
 - accessibilità per messa in opera e manutenzione;
 - inclinazione della copertura.
- Valutazione del ruolo ecologico del sito all'interno della rete ecologica.

1.2 AMBIENTE

- **Dati climatici** necessari per la scelta delle specie vegetali (3. Specie Vegetali). Consultando le banche dati regionali si suggerisce il reperimento dei dati relativi alle temperature massime e minime (ultimi 10-20 anni), precipitazioni medie, massime giornaliere e cumulate stagionali (30-50 anni), intensità e direzione venti prevalenti.
- **Analisi dell'ombreggiamento** della copertura selezionata per la messa in opera del sistema (1.1 Sito). Le ombre portate da edifici o altri elementi devono essere considerate per la scelta delle specie vegetali (3 Specie vegetali), ad esempio, grazie ad uno studio semplificato con modello tridimensionale per: 21 dicembre, 21 marzo, 21 giugno alle ore 12.
- Valutazioni ed eventuali misurazioni dell'**intensità del vento**. In particolare, nel caso di coperture ad una certa altezza in aree ventose, si tratta di un aspetto da considerare per la scelta delle specie vegetali (3 Specie vegetali) e l'eventuale uso di elementi di ancoraggio (2.2 Progettazione-Componenti).
- Altre condizioni specifiche del contesto (da eventualmente considerare per 3 Specie Vegetali), ad esempio esposizione alla salsedine, emissioni da impianti tecnici, inquinamento da polveri, etc.

2. PROGETTAZIONE

2.1 COMPONENTI

- **Specie vegetali** adatte a coperture verdi intensive o estensive (3. Specie vegetali). Per evitare rischi dovuti a venti di forte intensità, è possibile inserire **elementi di ancoraggio** della vegetazione e/o **barriera** per proteggere le specie vegetali. Per coperture con inclinazione superiore ai 15°, è consigliato l'inserimento di uno **strato antierosione** (es. geostuoie, biostuoie).
- **Strato colturale** con substrato alleggerito per la piantumazione. Lo spessore del substrato dipende dal tipo di copertura verde, da scegliere, in primo luogo, in funzione delle caratteristiche strutturali (1.1 Pianificazione-Sito) e da cui dipende la scelta delle specie vegetali (3. Specie vegetali). Spessore dello strato colturale per le diverse tipologie di copertura verde (Woods Ballard et al., 2015):
 - copertura verde estensiva 2-15 cm spessore;
 - copertura verde intensiva da 15 cm;
 - copertura verde semi-intensiva 10-20 cm.

Spessori minimi dello strato colturale per le principali tipologie di vegetazione (UNI11235):

- sedum: 8 cm;
- erbacee perenni a piccolo sviluppo: 10 cm;
- grandi erbacee perenni, piccoli arbusti tappezzanti, tappeti erbosi: 15 cm;
- arbusti piccola taglia: 20 cm;
- arbusti di grande taglia e piccoli alberi: 30 cm;
- alberi di iii, ii, i grandezza: rispettivamente 50-80-100 cm.

Il substrato deve essere leggero e fornire ossigeno, nutrienti e umidità necessari per la crescita delle piante.

I terreni naturali con caratteristiche non adatte possono essere ammendati e corretti chimicamente.

Il substrato deve avere le seguenti proprietà fisiche (GRO, 2014):

- granulometria fine ≤ 0.063 mm: $\leq 15\text{-}20\%$ della massa (rispettivamente sistemi estensivi ed intensivi);
- granulometria < 4 mm: $\leq 50\text{-}40\%$ della massa (rispettivamente sistemi estensivi ed intensivi);
- capacità massima di ritenzione dell'acqua (maximum water holding capacity, MWHC): $\geq 25\% \leq 65\%$ del volume (rispettivamente sistemi estensivi ed intensivi);
- contenuto d'aria nelle condizioni di MWHC: $\geq 10\%$ del volume;
- Permeabilità all'acqua: 0.6-70 mm/min, 0.3-30 mm/min (rispettivamente sistemi estensivi ed intensivi);
- pH: 6-8.5;
- contenuto organico: ≤ 65 g/1, ≤ 90 g/1 (g per kg di suolo, rispettivamente sistemi estensivi ed intensivi).

Durante le fasi di costruzione il substrato non deve essere eccessivamente compattato. Per controllare l'erosione, il substrato deve essere coperto da pacciame o altro strato protettivo fino a quando la copertura della vegetazione raggiunge il 90%. In alcuni casi, ad esempio coperture inclinate, è possibile inserire degli elementi di trattenimento dello strato culturale.

- **Elemento filtrante**, per favorire la discesa dell'acqua e non permettere al substrato, radici, sedimenti, particelle fini etc. di passare danneggiando lo strato drenante, deve essere adeguatamente permeabile. Ai fini di un corretto funzionamento idraulico, l'elemento filtrante deve avere pori con diametro tra 0,1 a 0,2 mm (UNI 11235). Nella maggior parte dei casi si usano tessuti geotessili, ma possono essere anche usati aggregati granulari.
- **Elemento drenante**: con capacità di drenare l'acqua meteorica e, se presente, l'acqua di irrigazione. Tipologie:
 - aggregati granulari (naturali o artificiali, es. pietrisco, ghiaia) permeabili (permeabilità calcolata secondo DIN 18035), resistenti al gelo e a compressione (soprattutto nel caso si utilizzino alberature, 3. Specie vegetali). Spessore minimo 4 cm. Granulometria compresa fra 2/8 e 2/12 mm per spessori 4-10 cm; 4/8 e 8/16 mm per spessori >10 - 20 cm; 4/8 e 16/32 mm per spessori >20 cm. La frazione granulometrica con diametro inferiore a 0,063 mm deve essere inferiore al 7% della massa;
 - elementi prefabbricati, preformati, geosintetici, in commercio e progettati secondo quanto indicato dalla UNI 11235.
 In alcuni casi, ad esempio coperture inclinate, è possibile inserire degli **elementi di trattenimento** dell'elemento drenante. La pendenza dell'elemento drenante deve essere 1-2%.
- Per accumulare acqua durante le precipitazioni o le irrigazioni e cederla in un secondo momento, può essere inserito uno **strato di accumulo idrico**. Questa funzione può essere anche assolta dell'elemento drenante. Nell'elemento di accumulo deve esserci il 60% di aria libera di passare dal drenaggio allo strato culturale e prevedere, come minimo, uno strato di aria di 1 cm fra il livello massimo dell'acqua e lo strato filtrante (UNI 11235).
- **Elemento anti radice** tramite l'uso di barriere meccaniche o chimiche continue. In molti casi, la funzione di protezione anti radice è integrata nell'elemento di tenuta all'acqua. Materiali comunemente utilizzati: bituminosi, poliolefine, polivinilcloruro (UNI 11235).

- **Elemento di tenuta** (impermeabilizzante) ha una funzione fondamentale, pertanto si raccomanda la massima attenzione durante la messa in opera ed un controllo di qualità con test elettronico per l'individuazione di eventuali perdite di acqua. I risvolti verticali dello strato impermeabilizzante devono raggiungere una quota maggiore di 15 cm rispetto alla quota dello strato colturale. Tipologie di prodotti maggiormente utilizzati (UNI 11235):
 - membrane bituminose con posa in doppio strato per garantire la tenuta all'acqua (consigliata la posa in totale adesione);
 - membrane sintetiche (poliolefiniche o in polivinilcloruro), con, nel caso di coperture con inclinazione maggiore del 5%, fissaggio meccanico dei teli in funzione di pendenza e carichi.

Per favorire interventi di manutenzione, legati ad eventuali malfunzionamenti (4. Manutenzione), la norma UNI 11235 suggerisce la compartimentazione del sistema di tenuta. La superficie dei settori varia da 100 a 300 m² (valore massimo).

- **Sistema di raccolta delle acque meteoriche.** Una volta raggiunta la saturazione, il comportamento della copertura verde è molto simile ad una copertura tradizionale. Il dimensionamento della rete di raccolta delle acque meteoriche può essere effettuato senza tener conto degli effetti legati all'inerzia idrica dei vari strati (UNI11235). Tutti i componenti del sistema di raccolta devono essere ispezionabili e possono essere separati dal substrato e dalle specie vegetali grazie al posizionamento di materiale inerte.
- **L'inclinazione** della copertura deve avere pendenza tale da evitare il rischio di ristagno dell'acqua (1-3%).
- Uno strato di ghiaia intorno al perimetro, cioè **una fascia drenante perimetrale**, può essere utile per: l'accessibilità per manutenzione, la protezione della vegetazione, formare un ulteriore strato drenante, protezione incendi.
- A seconda delle specie vegetali impiegate (3 Specie vegetali), può essere necessario, per il mantenimento delle prestazioni richieste al sistema, l'inserimento di un **impianto di irrigazione**, da alimentare, se possibile, con acqua piovana raccolta da superfici adiacenti.
- Coperture di edifici: eventuale inserimento di uno **strato termoisolante** – con resistenza a compressione maggiore o uguale a 120 kPa (UNI EN 826) – e di una **barriera al vapore**.

2.2 DIMENSIONAMENTO

- Il dimensionamento della **superficie** di una copertura verde dipende da vari fattori, fra cui, lo spazio disponibile (1.1. Pianificazione-Sito), il budget, la necessità di manutenzione, le prestazioni ottenibili.
- Lo spessore del sistema è determinato prevalentemente dallo spessore del substrato, che varia da 2 a 15 cm (coperture verdi estensive) e da 15 a 100 cm o più (coperture intensive - 2.1 Componenti). La selezione della tipologia di copertura verde, estensiva o intensiva (da cui dipende la selezione delle specie vegetali – 3. Specie Vegetali), e dello spessore del substrato deve considerare, innanzitutto, il peso che la struttura sottostante può supportare. Variano anche costi, necessità di manutenzione, prestazioni (isolamento termico, capacità di raffrescamento, etc.), aspetti estetici e funzionali.
- Per quanto riguarda la gestione dell'acqua meteorica, trattandosi di un componente di controllo alla sorgente, maggiore è la superficie e lo spessore del substrato, maggiore è la capacità di ridurre lo scorrimento superficiale.

3. SPECIE VEGETALI

3.1 ASPETTI GENERALI PER LA SELEZIONE

- La selezione della vegetazione utilizzata per le infrastrutture verdi si basa sull'**adeguatezza delle specie in base alle condizioni del sito e ai requisiti programmatici** (le sue specifiche esigenze botaniche, il suo ruolo nel sito nell'ambito di più ampie comunità di piante). Una selezione valida deve considerare le condizioni del clima in loco, del suolo e le condizioni idriche (1. Pianificazione), nonché le potenziali interazioni tra le specie e le esigenze di manutenzione future (4. Manutenzione).
- Il **periodo migliore per mettere a dimora le piante** è durante la stagione autunnale, quando le piante, che si avviano verso il riposo vegetativo, hanno meno esigenze manutentive. In alcuni casi, o con la messa a dimora in stagioni più calde, potrebbe essere necessario prevedere un impianto di irrigazione a supporto delle piante appena messe a dimora (per un periodo massimo di uno/due anni a seconda delle specie presenti).
- Considerando che le piante prospere e in salute hanno un ruolo fondamentale nel mantenere la funzionalità ma anche le caratteristiche estetiche della copertura verde, il successo di questi dispositivi dipende dalla **scelta appropriata delle specie**. La progettazione della vegetazione deve indicare tipo, collocazione e densità d'impianto delle specie vegetali. Essenziale è che vi sia un'assoluta integrazione fra la progettazione della vegetazione, dello strato culturale e delle (eventuali) strategie di irrigazione (2.1 Progettazione-componenti).

3.2 CARATTERISTICHE BOTANICHE ed esigenze pedoclimatiche

- Le **caratteristiche delle piante** – apparato fogliare, apparato radicale, ciclo vitale, fioritura, frutti/bacche, etc., a cui sono correlate le esigenze culturali, in particolare rispetto a rusticità, esigenze idriche, esposizione, pH suolo, etc. – devono assicurare una certa variabilità di forme di colori per migliorare le prestazioni funzionali ma anche l'aspetto estetico.
- Se lo spessore del substrato lo permette (coperture verdi intensive), piante **erbacee perenni** e **erbe ornamentali** possono essere combinate con **arbusti sempreverdi** che producono fiori e bacche in modo che l'area rimanga interessante anche durante la stagione invernale.
- Le specie che richiedono una **bassa manutenzione** sono le più appropriate.

3.3 ESIGENZE CLIMATICHE

- Consultando le banche dati regionali è possibile reperire i dati relativi a **temperature e precipitazioni** (1.2 Pianificazione-Ambiente). Considerando il criterio di adattabilità al clima, la scelta più ragionevole è quella di rivolgersi a piante tipiche della regione climatica o di regioni climatiche simili a quella in cui si deve realizzare la copertura verde. Considerazioni caso per caso andranno fatte per le specie autoctone, naturalmente adattabili, o specie alloctone adattabili perché provenienti da zone climatiche simili.
- La copertura verde potrebbe soffrire di prolungati periodi di siccità intervallati da periodi stagionali in cui invece potrebbero esserci eccezionali fenomeni di piogge, pertanto è necessario selezionare specie in grado di sopportare anche periodi di assenza di precipitazioni o addirittura di siccità.

- **Disposizione rispetto al soleggiamento.** Si cercherà, in via generale, di scegliere specie che ben sopportano le condizioni di semi-ombreggiamento, soprattutto in ambiente urbano, dove le ombre portate dagli edifici circostanti hanno una notevole importanza (1.2 Pianificazione-Ambiente).
- Le condizioni climatiche possono avere sulla vegetazione di una copertura verde un'influenza diversa rispetto a quella che hanno sulla vegetazione al suolo. La **resistenza al freddo e alla siccità**, anche in funzione dello spessore ridotto di strato colturale (2.1 Progettazione-Componenti), facilita la scelta di specie con maggiori caratteristiche di resistenza alle temperature critiche.

3.4 CARATTERISTICHE FUNZIONALI

- **Basse esigenze manutentive.** Specie autoctone o alloctone ben adattabili non hanno, di norma, grandi esigenze manutentive. Le piante selezionate devono essere resistenti alle comuni fitopatologie, non necessitare di potature né di irrigazione. Per evitare il diserbo si suggerisce di provvedere ad un robusto strato di pacciamatura.
- La scelta delle specie vegetali varia principalmente in base alla tipologia di copertura verde:
- **Copertura verde estensiva** (2.1 Progettazione-Componenti): sistema caratterizzato da basso peso in massima saturazione idrica. L'impiego è indicato per coperture non calpestabili. Per quanto riguarda la vegetazione impiegata (musschi, succulente, erbacee, prato), è prevista la fruibilità solo da parte di chi si occuperà della manutenzione o potrà essere reso accessibile attraverso percorsi pedonali.
- **Copertura verde intensiva** (2.1 Progettazione-Componenti): sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali in cui sono poste, pur con il necessario ausilio di una manutenzione di intensità media e alta, in funzione delle associazioni di specie vegetali - erbacee, arbusti e alberi di grandezza contenuta: (Albero di III grandezza: albero con altezza a completo sviluppo > 4 m <10 m; Albero piccolo: albero con altezza a completo sviluppo < 4 m).
- **Attrattività per la biodiversità (benefici ecologici).** La diversità biologica comprende la varietà e la variabilità tra organismi viventi e i complessi ecologici in cui essi vivono. Contribuire ad arricchire la complessità ecologica urbana attraverso l'impiego di una varietà di specie che vadano a formare una nuova comunità è un fattore positivo, soprattutto quando le ricadute sulla biodiversità possono interessare anche gli aspetti faunistici (avifauna e insetti).
- La presenza di **emissioni di aria** calda, fredda e/o carica di componenti chimici, previa analisi della loro distribuzione spaziale e temporale, richiede l'inserimento di specie vegetali con spiccate caratteristiche di resistenza a questo tipo di inquinamento.
- La composizione **estetica** della copertura verde riguarda gli accostamenti delle piante, la tessitura del fogliame, l'epoca ed il colore delle fioriture. Una composizione paesaggistica efficace sarà senz'altro più gradevole, andando a rafforzare i servizi ecosistemici connessi, a patto di mantenere il sistema in salute, in modo che le piante possano mantenersi sane e rigogliose nel tempo.

4. MANUTENZIONE

[IT] La manutenzione della copertura deve essere definita in fase di progettazione. Essa determina i costi di gestione ed è strettamente connessa alla sostenibilità economica ed ambientale del sistema.

La manutenzione di tutte le coperture verdi richiede l'ispezione dei componenti, inclusi substrato, vegetazione, drenaggio, irrigazione, strutture e membrane del tetto, e la verifica dell'integrità dell'impermeabilizzazione (frequenza annuale o dopo eventi atmosferici severi).

4.1 ELEMENTI PER LA GESTIONE DELL'ACQUA

- Manutenzione del **sistema di drenaggio**: ispezione annuale (prima dell'inverno) per eliminare elementi o parti (es. detriti o vegetazione) che ridurrebbero l'efficienza. Se la vegetazione ostruisce il drenaggio:
 - tenere le prese d'acqua libere dalla vegetazione;
 - spostare la vegetazione se il problema persiste.
- Manutenzione (pulizia) del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e dell'elemento di tenuta per evitare occlusioni.
- Manutenzione dell'impianto di irrigazione (se presente).

4.2 SPECIE VEGETALI

- **Manutenzione delle opere a verde** (UNI 11235):
 - manutenzione di avviamento per il controllo;
 - manutenzione di avviamento a regime (solo per il sistema estensivo);
 - manutenzione ordinaria;
 - manutenzione straordinaria (ad esempio a seguito di eventi atmosferici severi).
- Nel sistema estensivo gli interventi manutentivi si limitano ai **controlli degli elementi del sistema**. In particolare, per lo strato di vegetazione, il controllo deve monitorare lo stato fisiologico e fitosanitario della vegetazione, la presenza di parassiti che possano limitarne le funzionalità, la presenza di infestanti, il cui insediamento può pregiudicare la funzionalità del sistema.
- **L'irrigazione** può essere azionata solo occasionalmente, con il fine di mantenere in vita la vegetazione, in condizioni non ordinarie di stress idrico.
- Nei sistemi intensivi gli interventi manutentivi, oltre a comprendere i controlli degli elementi del sistema e dello strato di vegetazione, già previsti per il sistema estensivo, includono tutte le attività agronomiche necessarie alla corretta gestione delle aree verdi (comprese potature e sfalci).
- **L'impegno manutentivo** può essere così classificato (UNI11235):
 - estensivo a minima manutenzione: 3-4 ore/anno;
 - estensivo a bassa manutenzione: 6-7 ore/anno;
 - intensivo a ridotta manutenzione: 13-14ore/anno;
 - intensivo a media manutenzione: circa 25 ore/anno;
 - intensivo ad alta manutenzione: circa 30 ore/anno.
- Rimozione di **foglie secche** inizio primavera e autunno.
- Eventuale **sostituzione piante** morte o malate.
- In presenza di **piante malate**:
 - rimuovere eventuali piante malate o parti di piante e smaltire per evitare rischio di diffondere la malattia ad altre piante;

- disinfeccare gli attrezzi da giardinaggio dopo la potatura per prevenire la diffusione di patologie;
- stabilizzare gli alberi se hanno bisogno di maggiore supporto. Pali e sostegni vanno rimossi dopo il primo anno.
- In caso di **ingiallimento**, scarsa crescita, scarsa fioritura, radici o steli deboli:
 - testare il terreno per identificare specifiche carenze;
 - consultare un professionista esperto o fare riferimento a risorse naturali per la cura del giardino;
 - non usare fertilizzanti chimici;
 - considerare la scelta di sostituire le piante con specie adatte alle condizioni del terreno.
- In caso di **erbe infestanti**:
 - rimuovere le erbe a mano, soprattutto in primavera quando il terreno è umido e le erbe sono piccole;
 - diserbare le infestanti dalle radici prima che vadano a seme;
 - applicare pacciame o strato ghiaioso dopo aver diserbato.

4.3 SUOLO

- **Controllo dell'erosione** per evitare la formazione di canali di deflusso o accumulo di sedimenti nel substrato. In caso di erosione continua dei margini laterali, minimizzare gli effetti erosivi aggiungendo ghiaia o ciottoli.
- Pulizia di **sedimenti e detriti**.

■ TESTI CONSULTATI ■

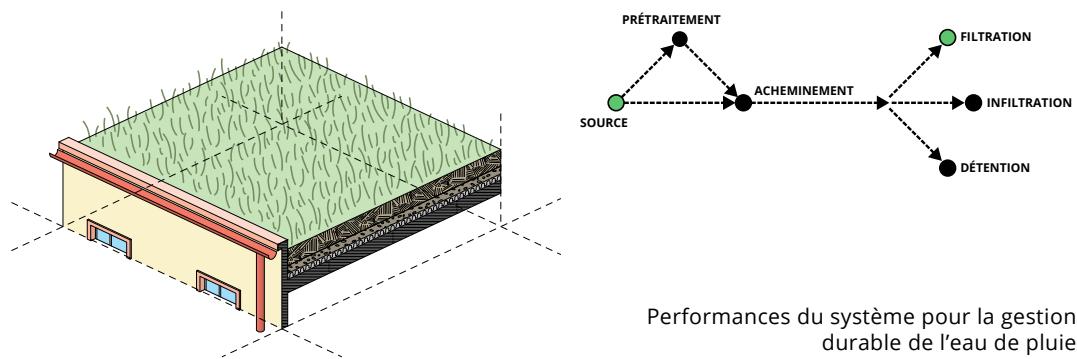
- Ente Italiano di Normazione, 2015. UNI 11235 - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde.
- GRO, 2014. The GRO Green Roof Code. Green Roof Code of Best Practice for the UK 2014. Groundwork Sheffield.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual.

3.4 GREEN ROOF

Katia Perini

Systèmes pour l'écologisation des structures de bâtiments. Types: green roof/toitures végétalisées extensives, légères et adaptées à la reconversion des bâtiments, et green roofs / toitures végétalisées intensives, accessibles et permettant l'intégration de différentes espèces végétales.

- Adaptable à différents contextes et à des toitures de bâtiments à usage résidentiel, industriel, parkings, routes souterraines;
- multifonctionnel avec des performances qui varient en fonction du type de toiture (épaisseur du support et espèces végétales utilisées);
- micro-échelle;
- versatilité de forme et de dimension;
- valeur esthétique et facilité d'utilisation (toitures végétalisées intensives)
- support de la biodiversité;
- traitement qualitatif de l'eau;
- interception et évapotranspiration;
- réduction du flux de pic;
- réduction des volumes d'écoulement;
- climatisation et isolation thermique du bâtiment;
- nécessité d'entretien en raison de la présence de végétation variable en fonction du type de toiture végétalisée.



1. PLANIFICATION

1.1 SITE

- Sélection de la toiture la plus appropriée pour la mise en œuvre du système en prenant en compte:
 - les caractéristiques structurelles pour l'augmentation de la charge - la structure doit avoir des dimensions permettant de supporter une charge supplémentaire, généralement de 70 kg/m² pour une toiture extensive à 500 kg/m² pour des toitures intensives (Woods Ballard et al., 2015);
 - l'accessibilité pour installation et entretien;
 - la pente de la toiture.
- Evaluation du rôle écologique du site au sein du réseau écologique.

1.2 ENVIRONNEMENT

- **Données climatiques** nécessaires au choix des espèces végétales (3. Espèces végétales). Il est conseillé de consulter les bases de données régionales pour trouver des données sur les températures maximales et minimales (10-20 dernières années), les précipitations moyennes, les maximales journalières et saisonnières cumulées (30-50 ans), l'intensité et la direction des vents dominants.
- **Analyse de l'ombrage** de la toiture sélectionnée pour la mise en œuvre du système (1.1 Site). Les ombres projetées par des bâtiments ou autres éléments doivent être prises en compte pour le choix des espèces végétales (3 espèces végétales), par exemple, grâce à une étude simplifiée avec modèle tridimensionnel pour: 21 décembre, 21 mars, 21 juin à midi.
- Evaluations et éventuelles mesures de la **vitesse du vent**. En particulier, dans le cas de toitures à une certaine hauteur dans des zones venteuses, c'est un aspect à prendre en compte pour le choix des espèces végétales (3. Espèces végétales) et l'utilisation éventuelle d'éléments d'ancre (2.2 Conception-Composants).
- Autres conditions contextuelles (à prendre en compte pour le chapitre 3. Espèces végétales, le cas échéant), par ex. exposition à la salinité, émissions des installations techniques, pollution due aux poussières, etc.

2. CONCEPTION

2.1 COMPOSANTS

- **Espèces végétales** adaptées à des toitures intensives ou extensives (3. Espèces végétales). Pour éviter les risques dus aux vents forts, il est possible d'insérer des **éléments d'ancre** de végétation et/ou des barrières pour protéger les espèces végétales. Pour les toitures avec une inclinaison de plus de 15°, il est conseillé d'intégrer une **couche anti-érosion** (par ex. géomats, biomats).
- **Substrat de culture** avec substrat allégé pour la plantation. L'épaisseur du substrat dépend du type de toiture végétale, à choisir en premier lieu en fonction des caractéristiques structurelles (1.1 Planification-Site) et dont dépend le choix des espèces végétales (3. Espèces végétales). Épaisseur du substrat de culture pour les différents types de toiture végétale (Woods Ballard et al., 2015):

- toiture végétale extensive, épaisseur 2-15 cm;
- toiture végétale intensive de 15 cm;
- toiture végétale semi-intensive, épaisseur 10-20 cm.

Épaisseurs minimales du substrat de culture pour les principaux types de végétation (UNI11235):

- sedum: 8 cm;
- plantes herbacées vivaces à croissance réduite: 10 cm;
- grandes plantes herbacées vivaces, petits arbustes couvre-sol, pelouses: 15 cm;
- arbustes de petite taille: 20 cm;
- arbustes de grande taille et petits arbres: 30 cm;
- arbres de première, deuxième et troisième grandeur: respectivement 50-80-100cm Le substrat doit être léger et fournir l'oxygène, les nutriments et l'humidité nécessaires à la croissance de la plante. Les sols naturels aux caractéristiques inadaptées peuvent être traités et corrigés chimiquement.

Le substrat doit avoir les propriétés physiques suivantes (GRO, 2014):

- granulométrie fine $\leq 0,063$ mm: $\leq 15\text{-}20\%$ de la masse (systèmes extensifs et intensifs respectivement);

- granulométrie < 4 mm: ≤ 50-40% de la masse (systèmes extensifs et intensifs respectivement);
- capacité maximale de rétention d'eau (maximum water holding capacity, MWHC): ≥25% ≤ 65% du volume (systèmes extensifs et intensifs respectivement);
- teneur en air dans des conditions MWHC: ≥10% du volume;
- perméabilité à l'eau: 0,6-70mm/min,0,3-30mm/min (respectivement systèmes extensifs et intensifs);
- pH: 6-8,5;
- teneur en matières organiques: ≤65 g/1, ≤90 g/1 (g par kg de sol, systèmes extensifs et intensifs respectivement). Le substrat ne doit pas être trop compacté pendant les phases de la construction.

Pour contrôler l'érosion, le substrat doit être recouvert de paillis ou d'une autre couche de protection jusqu'à ce que la couverture végétale atteigne 90 %. Dans certains cas, par exemple pour les toitures en pente, il est possible d'insérer des éléments pour retenir la couche de végétation.

- **L'élément filtrant**, pour faciliter la descente de l'eau et empêcher le substrat, les racines, les sédiments, les particules fines, etc. de passer, en endommageant la couche drainante, doit être suffisamment perméable. Pour un bon fonctionnement hydraulique, l'élément filtrant doit avoir des pores d'un diamètre compris entre 0,1 et 0,2 mm (UNI 11235). Dans la plupart des cas, on utilise des tissus géotextiles, mais on peut aussi utiliser agrégats granulaires.
- **Elément drainant**: avec capacité de drainer les eaux pluviales et, le cas échéant, l'eau d'irrigation. Types:
 - agrégats granulaires (naturels ou artificiels, par ex. pierre concassée, gravier), perméables (perméabilité calculée conformément à DIN 18035), résistants au gel et à la compression (en particulier pour l'utilisation d'arbres, 3. Espèces végétales). Epaisseur minimum 4 cm. Granulométrie comprise entre 2/8 et 2/12 mm pour des épaisseurs de 4-10 cm; 4/8 et 8/16 mm pour des épaisseurs >10 - 20 cm; 4/8 et 16/32 mm pour des épaisseurs >20 cm. La fraction granulométrique dont le diamètre est inférieur à 0,063 mm doit être inférieure à 7 % de la masse.;
 - éléments préfabriqués, préformés et géosynthétiques, sur le marché et conçus selon les dispositions de la norme UNI 11235.

Dans certains cas, par exemple pour les toitures en pente, il est possible d'insérer **des éléments pour retenir** l'élément drainant. La pente de l'élément de drainage doit être de 1 à 2 %.

- Afin d'accumuler l'eau pendant les précipitations ou l'irrigation et de la libérer ultérieurement, il est possible d'intégrer une **couche de stockage d'eau** peut être intégrée. Cette fonction peut également être assurée par l'élément de drainage. Dans l'élément de stockage, 60 % de l'air doit être libre pour passer du drainage au substrat de culture et il convient de prévoir, au minimum, une couche d'air de 1 cm entre le niveau maximum de l'eau et la couche filtrante (UNI 11235).
- **Elément résistant à la pénétration des racines** au moyen de barrières mécaniques ou chimiques continues. Dans de nombreux cas, la fonction de protection des racines est intégrée dans l'élément d'étanchéité à l'eau. Matériaux couramment utilisés: bitumeux, polyoléfines, chlorure de polyvinyle (UNI 11235).
- **Elément d'étanchéité** (imperméabilisant) a une fonction fondamentale, c'est pourquoi il est recommandé d'apporter la plus grande attention lors de l'installation et un contrôle de qualité avec test électronique pour la détection des fuites d'eau. Les bords verticaux de la couche d'étanchéité doivent atteindre une hauteur supérieure

de 15 cm à la hauteur du substrat de croissance. Types de produits les plus couramment utilisés (UNI 11235):

- membranes bitumineuses à double couche pour garantir la résistance à l'eau (la pose en adhérence totale est recommandée);
- membranes synthétiques (polyoléfine ou polychlorure de vinyle), avec, dans le cas de toitures ayant une inclinaison supérieure à 5%, fixation mécanique des plaques en fonction de la pente et des charges. Pour faciliter les opérations d'entretien liées à d'éventuels dysfonctionnements (4. Entretien), la norme UNI 11235 suggère la compartimentation du système d'étanchéité. La surface des secteurs varie de 100 à 300 m² (valeur maximale).

- **Système de collecte des eaux de pluies.** Une fois la saturation atteinte, le comportement de la toiture végétalisée est très similaire à celui d'une toiture traditionnelle. Le dimensionnement du réseau de collecte des eaux pluviales peut se faire sans tenir compte des effets liés à l'inertie hydraulique des différentes couches (UNI 11235). Tous les composants du système de collecte doivent pouvoir être inspectés et peuvent être séparés du substrat et des espèces végétales grâce au positionnement de la matière inerte.
- **L'inclinaison** de la toiture doit être telle qu'elle évite le risque de stagnation de l'eau (1-3%).
- Une couche de gravier autour du périmètre, c'est-à-dire **une bande de drainage périphérique**, peut être utile pour: l'accès pour l'entretien, la protection de la végétation, la formation d'une couche de drainage supplémentaire, la protection contre les incendies.
- En fonction des espèces végétales utilisées (3 Espèces végétales), il peut être nécessaire, afin de maintenir les performances requises par le système, d'installer un **système d'irrigation**, à alimenter, si possible, avec de l'eau de pluie recueillie par des surfaces adjacentes.
- Toitures de bâtiments: éventuelle installation d'une **couche thermo-isolante** - avec une résistance à la compression supérieure ou égale à 120 kPa (UNI EN 826) - et d'une **barrière pare-vapeur**.

2.2 DIMENSIONNEMENT

- Le dimensionnement de la **surface** d'une toiture végétalisée dépend de plusieurs facteurs tels que: l'espace disponible (1.1. Planification-Site), le budget, l'entretien nécessaire, les résultats réalisables.
- **L'épaisseur** du système est principalement déterminée par l'épaisseur du substrat, qui varie de 2 à 15 cm (toitures végétalisées extensives) et de 15 à 100 cm ou plus (toitures végétalisées intensives - 2.1 Composants). Le choix du type de toiture végétalisée, extensive ou intensive (dont dépend le choix des espèces végétales - 3. Espèces végétales) et de l'épaisseur du substrat doit prendre en compte, en tout premier lieu, du poids que la structure en dessous est capable de supporter. Les coûts, les besoins d'entretien, les performances (isolation thermique, capacité de climatisation, etc.) et les aspects esthétiques et fonctionnels varient également.
- En ce qui concerne la **gestion de l'eau**, étant donné qu'il s'agit d'un élément de contrôle de la source, plus la surface et l'épaisseur du substrat sont grandes, plus la capacité de réduction de l'écoulement superficiel est grande.

3. ESPÈCES VÉGÉTALES

3.1 ASPECTS GÉNÉRAUX POUR LA SÉLECTION

- La sélection de la végétation utilisée pour les infrastructures vertes est basée sur l'**adéquation des espèces en fonction des conditions du site et des exigences programmatiques** (ses besoins botaniques spécifiques ainsi que son rôle dans le site et dans des ensembles plus vastes). Une sélection valide doit tenir compte du climat local, des conditions du sol et de l'eau (1. Planification), ainsi que les interactions potentielles entre les espèces et les besoins futurs d'entretien (4. Entretien).
- La **meilleure période pour planter les plantes** est pendant la saison automnale, quand les plantes, qui se préparent au repos végétatif, nécessitent moins d'entretien. Dans certains cas, ou en cas de plantation pendant les saisons chaudes, il peut être nécessaire de prévoir un système d'irrigation pour soutenir les plantes nouvellement plantées (pour une période maximale d'un ou deux ans, en fonction des espèces présentes).
- Etant donné que les plantes prospères et saines jouent un rôle fondamental dans le maintien du bon fonctionnement, mais aussi des caractéristiques esthétiques de la toiture végétalisée, le succès de ces dispositifs dépend du **choix approprié des espèces**. La conception de la végétation doit indiquer le type, l'emplacement et la densité des espèces végétales. Il est essentiel qu'il y ait une intégration absolue entre la conception de la végétation, le substrat de croissance et les stratégies d'irrigation (éventuelles) (2.1 Conception-composants).

3.2 CARACTÉRISTIQUES BOTANIQUES

et exigences pédo-climatiques

- Les **caractéristiques des plantes** – système foliaire, système racinaire, cycle de vie, floraison, fruits/baies, etc., auxquelles les exigences de culture sont liées, en particulier en ce qui concerne la rusticité, les besoins en eau, l'exposition, le pH du sol, etc. -doivent assurer une certaine variabilité des formes et des couleurs pour améliorer les performances fonctionnelles mais aussi l'aspect esthétique.
- Si l'épaisseur du substrat le permet (couvertures vertes intensives), les plantes **herbacées vivaces** et les **herbes ornementales** peuvent être associées à des **arbustes à feuillage persistant** qui produisent des fleurs et des baies de sorte que la zone reste attrayante même pendant la saison d'hiver.
- Les espèces qui nécessitent un **faible entretien** sont les plus appropriées.

3.3 EXIGENCES CLIMATIQUES

- En consultant les bases de données régionales, vous trouverez des données sur les **températures et les précipitations** (1.2 Planification-Environnement). Compte tenu du critère de l'adaptabilité au climat, le choix le plus raisonnable est de se tourner vers des plantes typiques de la région climatique ou de régions climatiques similaires à celle où la toiture végétalisée doit être réalisée. Des considérations au cas par cas devraient être prises en compte pour les espèces indigènes, qui sont naturellement adaptables, ou les espèces non indigènes adaptables parce qu'elles proviennent de zones climatiques similaires.
- La toiture végétalisée peut souffrir de périodes prolongées de sécheresse entre-coupées de périodes saisonnières au cours desquelles il peut y avoir des précipitations exceptionnelles; il est donc nécessaire de sélectionner des espèces capables de résister aussi à des périodes sans précipitations, voire de sécheresse.

- **Disposition par rapport à l'ensoleillement.** D'une façon générale, on optera pour des espèces pouvant résister aux conditions de semi-ombrage, en particulier dans les environnements urbains, où les ombres projetées par les bâtiments environnants sont d'une importance considérable (1.2 Planification - Environnement).
- Les conditions climatiques peuvent avoir une influence différente sur la végétation d'une toiture végétalisée par rapport à la végétation au sol. La **résistance au froid et à la sécheresse**, également en fonction de l'épaisseur réduite du substrat de croissance (2.1 Conception-Composants), facilite le choix d'espèces ayant des caractéristiques plus élevées de résistance aux températures critiques.

3.4 CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES

- **Entretien réduit.** Les espèces indigènes ou non indigènes qui s'adaptent bien n'ont normalement pas besoin de beaucoup d'entretien. Les plantes sélectionnées doivent résister aux pathologies végétales courantes, et ne nécessiter ni taille ni irrigation. Pour éviter le désherbage, il est recommandé de prévoir une bonne couche de paillis.
- Le choix des espèces végétales varie principalement en fonction du type de toiture végétalisée.
- **Toiture végétalisée extensive** (2.1 Conception-Composants): système caractérisé par un faible poids quand la saturation en eau maximale est atteinte. Ce système est indiqué pour les toitures qui ne sont pas soumises à la circulation de piétons. En ce qui concerne la végétation utilisée (mousses, succulentes, herbacées, pelouses), elle est destinée à n'être utilisée que par ceux qui en assurent l'entretien ou qui peuvent être rendus accessibles par des passages piétonniers.
- **Couverture végétalisée intensive** (2.1 Conception-Composants): système qui utilise des espèces végétales capables de s'adapter et de se développer dans les conditions environnementales dans lesquelles elles sont placées, avec l'aide d'un entretien d'intensité moyenne-elevée, en fonction des espèces végétales associées, herbacées, arbustes et arbres de petite dimension: (Arbre de troisième grandeur: arbre avec hauteur de développement complet > 4 m <10 m; petit arbre: arbre avec hauteur de développement complet <4 m).
- **Attraction pour la biodiversité (avantages écologiques).** La diversité biologique comprend la variété et la variabilité entre les organismes vivants et les complexes écologiques dans lesquels ils vivent. Aider à enrichir la complexité écologique urbaine par l'utilisation d'une variété d'espèces pour former une nouvelle communauté est un facteur positif, surtout lorsque les effets sur la biodiversité peuvent également affecter la faune (oiseaux et insectes).
- La présence **d'émissions d'air** chaud, froid et/ou charge de composants chimiques, après analyse de leur répartition spatiale et temporelle, nécessite l'inclusion d'espèces végétales présentant de fortes caractéristiques de résistance à ce type de pollution.
- La composition **esthétique** de la toiture végétalisée concerne les combinaisons de plantes, la texture du feuillage, la période et la couleur des fleurs. Une composition paysagère efficace sera certainement plus agréable et renforcera les services écosystémiques qui y sont liés, à condition que le système soit maintenu en bonne santé, afin que les plantes puissent rester saines et vigoureuses dans le temps.

4. ENTRETIEN

L'entretien de la toiture végétalisée doit être défini pendant la phase de conception. Cette dernière détermine les coûts de gestion et est étroitement liée à la durabilité économique et environnementale du système. L'entretien de toutes les toitures végétalisées nécessite l'inspection des composantes, y compris le substrat, la végétation, le drainage, l'irrigation, les structures et membranes du toit, et la vérification de l'intégrité de l'étanchéité (fréquence annuelle ou après des phénomènes météorologiques violents).

4.1 ÉLÉMENTS POUR LA GESTION DE L'EAU

- Entretien du **système de drainage**: inspection annuelle (avant l'hiver) pour enlever les éléments ou les parties (par ex. détritus ou végétation) qui pourraient nuire à son efficacité. Si la végétation obstrue le drainage:
 - garder les prises d'eau libres de végétation;
 - déplacer la végétation si le problème persiste.
- Entretien (nettoyage) du système de collecte et d'évacuation des eaux pluviales et de l'élément de retenue pour éviter les obstructions.
- Entretien du système d'irrigation (le cas échéant).

4.2 ESPÈCES VÉGÉTALES

- **Entretien des constructions écologiques** (UNI 11235):
 - entretien de mise en service pour le contrôle;
 - entretien de mise en service à plein régime (uniquement pour le système extensif);
 - entretien ordinaire;
 - entretien extraordinaire (par exemple suite à des phénomènes atmosphériques violents).
- En ce qui concerne le système extensif, les interventions de maintenance se limitent aux **contrôles des composants du système**. En particulier, pour la couche de végétation, le contrôle doit surveiller l'état physiologique et phytosanitaire de la végétation, la présence de parasites qui peuvent limiter son fonctionnement, la présence de ravageurs, dont l'établissement peut nuire au bon fonctionnement du système.
- **L'irrigation** peut être utilisée seulement occasionnellement, dans le but de maintenir la végétation en vie, dans des conditions de stress hydrique inhabituelles.
- Dans les systèmes intensifs, les interventions d'entretien, en plus des contrôles des composants du système et de la couche de végétation, déjà prévus pour le système extensif, comprennent toutes les activités agronomiques nécessaires à la bonne gestion des espaces verts (y compris la taille et le fauchage).
- Les **obligations d'entretien** peuvent être classées comme suit (UNI11235):
 - extensif avec entretien minimum: 3-4 heures/an;
 - extensif avec faible entretien: 6-7 heures/an;
 - intensif avec entretien réduit: 13-14 heures/an;
 - intensif avec entretien moyen: environ 25 heures/an;
 - intensif avec entretien élevé: environ 30 heures/an;
- Ramassage des **feuilles sèches** début printemps et automne.
- Eventuel **remplacement de plantes** mortes ou malades.
- En cas de **plantes malades**:
 - enlever toutes les plantes ou parties de plantes malades et en disposer

- pour éviter tout risque de contamination de la maladie à d'autres plantes;
- désinfecter les outils de jardinage après la taille pour prévenir la propagation des maladies;
- stabiliser les arbres s'ils ont besoin de plus de soutien. Les tiges et les supports doivent être enlevés après la première année.
- En cas de **jaunissement**, faible croissance, mauvaise floraison, de racines ou de tiges faibles:
 - tester le sol pour identifier les lacunes spécifiques;
 - consulter un professionnel expérimenté ou se référer à des ressources naturelles pour l'entretien du jardin;
 - ne pas utiliser d'engrais chimiques;
 - envisager de remplacer les plantes par des espèces qui conviennent aux conditions du sol.
- En cas de **mauvaises herbes**:
 - enlever les mauvaises herbes à la main, surtout au printemps lorsque le sol est humide et que les herbes sont petites;
 - arracher les mauvaises herbes à partir des racines avant qu'elles ne montent en graines;
 - couvrir de paillis ou d'une couche de gravier après le désherbage.

4.3 SOL

- **Contrôle de l'érosion** pour éviter la formation de canaux d'écoulement ou l'accumulation de sédiments dans le substrat. En cas d'érosion continue des bords latéraux, minimiser les effets érosifs en ajoutant du gravier ou des cailloux.
- Nettoyage pour éliminer **sédiments et détritus**.

■ TEXTES CONSULTÉS

- Ente Italiano di Normazione, 2015. UNI 11235 - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde.
- GRO, 2014. The GRO Green Roof Code. Green Roof Code of Best Practice for the UK 2014. Groundwork Sheffield.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., 2015. The SuDS Manual.





4

Un caso studio: il rain garden di Campomorone, Genova

Un cas d'étude: le rain garden de Campomorone, Gênes



4.1 Descrizione dell'intervento

Adriano Magliocco

Il rain garden che è stato realizzato nel Comune di Campomorone nasce nell'ambito del progetto strategico "Proterina3 Evolution", per volere di Città Metropolitana di Genova e con la collaborazione del Dipartimento Architettura e Design dell'Università degli Studi di Genova, finanziato dal programma Interreg Marittimo Italia Francia. Il rain garden in oggetto ha la particolarità di essere stato progettato per essere monitorato grazie all'uso di una webcam, una centralina meteorologica posta in situ, un sistema di scarico dotato di misuratore di livello ed elettrovalvola. È possibile comprendere anche solo visivamente la natura particolare del rain garden in quanto esso è dotato di un serbatoio, a raccolta dell'acqua piovana proveniente da una terrazza, e da alcuni pozzetti di collegamento tra i diversi elementi che compongono il sistema, normalmente non presenti in questo tipo di infrastruttura verde. Ai fini del monitoraggio, il rain garden è stato realizzato di tipo non-infiltrante, cioè è stato impermeabilizzato sulla superficie inferiore dello scavo, prima di essere riempito, caratteristica che non troviamo nei rain garden che sono invece, solitamente, di tipo infiltrante.

Il rain garden è posto in un'area antistante l'edificio comunale che ospita l'Istituto Comprensivo Campomorone Ceranesi, separato, con una recinzione, dal parcheggio di un piccolo supermercato e adiacente ed un edificio che ospita box auto. L'area in cui è stato realizzato era, precedentemente, sistemata a prato ma non era, sostanzialmente, utilizzata dagli utenti dell'edificio scolastico. Essendo il rain garden una realizzazione pilota per il progetto transfrontaliero PROTERINA-

4.1 Description de l'intervention

Adriano Magliocco

Le rain garden qui a été réalisé dans la Commune de Campomorone a été créé dans le cadre du projet stratégique «Proterina3 Evolution», à la demande de la ville métropolitaine de Gênes et en collaboration avec la Faculté d'architecture et de design de l'Université de Gênes, financé par le programme Interreg Italie France Maritime. Le rain garden en question a la particularité d'être conçu pour être surveillé à l'aide d'une webcam, d'une station météorologique installée sur place, d'un système de drainage équipé d'un indicateur de niveau et d'une électrovanne. Il est possible de comprendre même seulement visuellement la nature particulière du rain garden puisque celui-ci est équipé d'un réservoir, pour recueillir l'eau de pluie provenant d'une terrasse, et de quelques puits reliant les différents éléments qui composent le système, normalement non présents dans ce type d'infrastructure verte. Pour le suivi, le rain garden conçu est de type non-infiltrant, c'est-à-dire qu'il a été imperméabilisé au fond de l'excavation avant d'être rempli, une caractéristique que l'on ne retrouve pas dans les rain gardens, qui sont généralement infiltrants.

Le rain garden est situé dans une zone en face du bâtiment municipal qui abrite l'Istituto Comprensivo Campomorone Ceranesi, séparé, par une clôture, du parking d'un petit supermarché et adjacent et un bâtiment qui abrite un garage. La zone dans laquelle il a été construit était, auparavant, aménagée en pelouse mais n'était pas, pour l'essentiel, utilisée par les utilisateurs du bâtiment de l'école. Étant donné que le rain garden est un projet pilote pour le projet transfrontalier PROTERINA-3Èvolution, dont les activités

3Èvolution, nelle cui attività sono coinvolti i 5 Comuni dell'alta Valpocevera - Campomorone, Mignanego, Ceranesi, Serra Riccò e S.Olcese - l'area è stata selezionata tra alcune potenzialmente utilizzabili nei diversi comuni, in virtù di caratteristiche e posizione (Figura 4.1).

concernent les 5 communes de l'Alta Valpocevera - Campomorone, Mignanego, Ceranesi, Serra Riccò et S. Olcese, la zone a été sélectionnée parmi certaines potentiellement utilisables dans différentes municipalités, en raison de ses caractéristiques et de sa position (Figure 4.1).



Figura 4.1. L'area del rain garden prima della messa in opera.

Figure 4.1. La zone du rain garden avant l'aménagement.

L'area di raccolta è costituita, oltre che dalla superficie esterna del rain garden stesso, da una terrazza a copertura di box auto. L'acqua viene convogliata in un serbatoio dotato di un overflow per scaricare l'acqua in eccesso nella rete comunale delle acque bianche in caso di eventi meteorici davvero eccezionali, che purtroppo hanno luogo, nel genovesato, periodicamente. L'acqua raccolta viene inviata al rain garden tramite un pozzetto di controllo e distribuita attraverso un tubo microforato protetto da tessuto non tessuto, posto su uno dei lati di maggior lunghezza; la morfologia del rain garden, leggermente concavo e asimmetrico, permette all'acqua di permeare sino all'estremità opposta. L'acqua viene quindi in parte trattenuta dal terriccio e assorbita dalle piante, in parte ceduta tramite un tubo microforato protetto da tessuto-non-tessuto e convogliata in un grande pozzetto che

La zone de collecte se compose non seulement de la surface extérieure du rain garden lui-même, mais aussi d'une terrasse recouvrant le garage. L'eau est acheminée dans un réservoir équipé d'un overflow (trop-plein) pour évacuer l'excès d'eau dans le réseau municipal des eaux blanches en cas d'événements climatiques vraiment exceptionnels, qui se produisent malheureusement périodiquement, dans la région de Gênes. L'eau recueillie est acheminée au rain garden par un puits de contrôle et distribuée à travers un tube micro-perforé protégé par un non-tissé, placé sur un des côtés de plus grande longueur; la morphologie du rain garden, légèrement concave et asymétrique, permet à l'eau de pénétrer jusqu'à l'extrémité opposée. L'eau est ensuite en partie retenue par le terreau et absorbée par les plantes, en partie acheminée par un tube micro-perforé protégé par un non-tissé et acheminée vers un grand puits qui abrite

ospita il sistema di misurazione dell'acqua in uscita. Ovviamente anche il rain garden è dotato di overflow nel caso il livello dell'acqua dovesse raggiungere il perimetro della concavità. L'acqua che non viene trattenuta o assorbita ed evapo-traspirata (sia dal terreno che dalle piante) raggiunge il pozzetto di misurazione, riempie un serbatoio di volume noto il quale, quando pieno, fa aprire l'elettrovalvola. Il numero di svuotamenti, durante e successivamente ad un evento piovoso, permette di contabilizzare l'acqua in uscita, rispetto a quella in entrata misurata tramite pluviometro, nota la superficie di raccolta.

Campomorone appartiene al bacino della Valpolcevera. Il territorio interessato dal Comune è 21,49 km² (il 15,44% del totale). È possibile leggere una descrizione delle caratteristiche del bacino della Valpolcevera nel documento A16 Polcevera 10, elaborato da Regione Liguria. Nello stesso documento è possibile notare che nel bacino del torrente Polcevera, come su buona parte del territorio genovese, esistono enormi problemi di dissesto legati alle diverse interazioni che si hanno fra il complesso assetto geologico, le accentuate acclività, le intense precipitazioni atmosferiche, in larga parte concentrate nel periodo autunnale, e la pressione antropica esistente sul territorio.

Lo studio delle precipitazioni e delle temperature fornisce importanti dati per il dimensionamento del rain garden e per la scelta delle specie vegetali, che dovranno essere in grado di sopravvivere a basse temperature e a periodi molto piovosi e poco piovosi. Le analisi effettuate e sono state elaborate sulla base dei dati dell'Atlante climatico della Liguria e dalla banca dati "Ambiente Liguria" a cura di ARPAL, usando la stazione di rilevamento di Mignanego, la più

le système de mesure de l'eau en sortie. Évidemment, le rain garden est également équipé d'un overflow (trop-plein) au cas où le niveau de l'eau atteindrait le périmètre de la concavité. L'eau qui n'est pas retenue ou absorbée et qui s'évapore (aussi bien du terrain que des plantes) atteint le puits de mesure, remplit un réservoir d'un volume connu qui, une fois plein, provoque l'ouverture de l'électrovanne. Le nombre de drainages, pendant et après un événement pluvieux, permet de comptabiliser l'eau de sortie par rapport à celle en entrée mesurée à l'aide d'un pluviomètre, la surface de collecte étant connue.

Campomorone appartient au bassin de Valpolcevera. Le territoire communal concerné couvre 21,49 km² (soit 15,44% du total). Une description des caractéristiques du bassin de Valpolcevera figure dans le document A16 Polcevera 10, établi par la Région Ligurie. Dans ce même document, il est possible de constater que dans le bassin du torrent Polcevera, comme dans une bonne partie du territoire génois, il existe d'énormes problèmes d'instabilité liés aux différentes interactions entre la structure géologique complexe, les importantes déclivités, les fortes précipitations atmosphériques, largement concentrées en automne, et la pression anthropique présente sur ce territoire.

L'étude des précipitations et des températures fournit des données importantes pour la taille du rain garden et pour le choix des espèces végétales, qui doivent pouvoir survivre à des températures basses et à des périodes très pluvieuses et peu pluvieuses. Les analyses sont réalisées et élaborées sur la base des données de l'Atlante climatico della Liguria et de la banque de données «Ambiente Liguria» d'ARPAL, en utilisant la station météorologique de Mignanego, la plus proche du site d'intervention (à environ 5 km de Campomorone) même s'il convient de no-

vicina al sito di intervento (5 km circa da Campomorone), anche se consapevoli delle possibili differenze dovute alla conformazione del territorio. Osservando il grafico della temperatura media mensile degli ultimi 10 anni si nota una distribuzione piuttosto omogenea, con valori medi da 1 a 24°C. Le temperature massime e minime registrate dal 2007 ad oggi, sempre dalla stazione di monitoraggio di Mignanego, sono rispettivamente 36,7 e -9,5°C.

I dati elaborati da ARPAL e riportati nell'Atlante climatico della Liguria mostrano rilevanti differenze stagionali in termini di precipitazione cumulata con valori medi (periodo di riferimento 1981-2010), per l'area di Campomorone, piuttosto variabili nelle diverse stagioni: da 250 a 300 mm in inverno, 300-350 in primavera, 200-250 in estate e 550-600 in autunno. La massima precipitazione giornaliera ($T=50$ anni) è 300-320 mm. I mesi più piovosi sono: ottobre, novembre e dicembre (valore massimo media mensile 837,04) e quelli più secchi sono i mesi estivi, con valori minimi da 33,06 a 3,04 mm.

Per la progettazione del rain garden e la scelta delle specie vegetali è fondamentale conoscere le condizioni di soleggiamento del sito di progetto, oltre che dei succitati dati climatici. È stato quindi realizzato un modello 3D impostando i dati geografici della località. Nei mesi estivi l'area di progetto è soleggiata per la maggior parte della giornata. Nei mesi di marzo e settembre una piccola parte adiacente l'edificio delle Istituto Comprensivo resta sempre in ombra. Nei mesi invernali - rappresentati dal mese di dicembre - solo una piccola parte dell'area è esposta alla radiazione solare diretta.

ter que des différences sont possibles en raison de la configuration du territoire. Si l'on regarde le graphique de la température mensuelle moyenne des 10 dernières années, on peut voir une distribution assez homogène, avec des valeurs moyennes de 1 à 24°C. Les températures maximales et minimales enregistrées de 2007 à ce jour, toujours à la station de météorologique de Mignanego, sont respectivement de 36,7 et -9,5°C.

Les données traitées par ARPAL et reprises dans l'Atlante climatico della Liguria montrent des différences saisonnières significatives en termes de précipitations cumulées, avec des valeurs moyennes (période de référence 1981-2010) pour la zone Campomorone, assez variables selon les saisons: de 250 à 300 mm en hiver, 300-350 au printemps, 200-250 en été et 550-600 en automne. Les précipitations maximales journalières ($T=50$ ans) sont de 300-320 mm. Les mois les plus pluvieux sont: octobre, novembre et décembre (valeur maximale mensuelle moyenne 837,04) et les mois les plus secs sont les mois d'été, avec des valeurs minimales de 33,06 à 3,04 mm.

Pour la conception du rain garden et le choix des espèces végétales, il est essentiel de connaître les conditions d'ensoleillement du site du projet, ainsi que les données climatiques mentionnées ci-dessus. Un modèle 3D a ensuite été créé en configurant les données géographiques du lieu. Pendant les mois d'été, la zone du projet est ensoleillée pendant la majeure partie de la journée. En mars et septembre, une petite partie adjacente au bâtiment de l'Istituto Comprensivo reste toujours à l'ombre. Pendant les mois d'hiver, représentés par le mois de décembre, seule une petite partie de la zone est exposée à la lumière directe du soleil.

Studio della radiazione solare

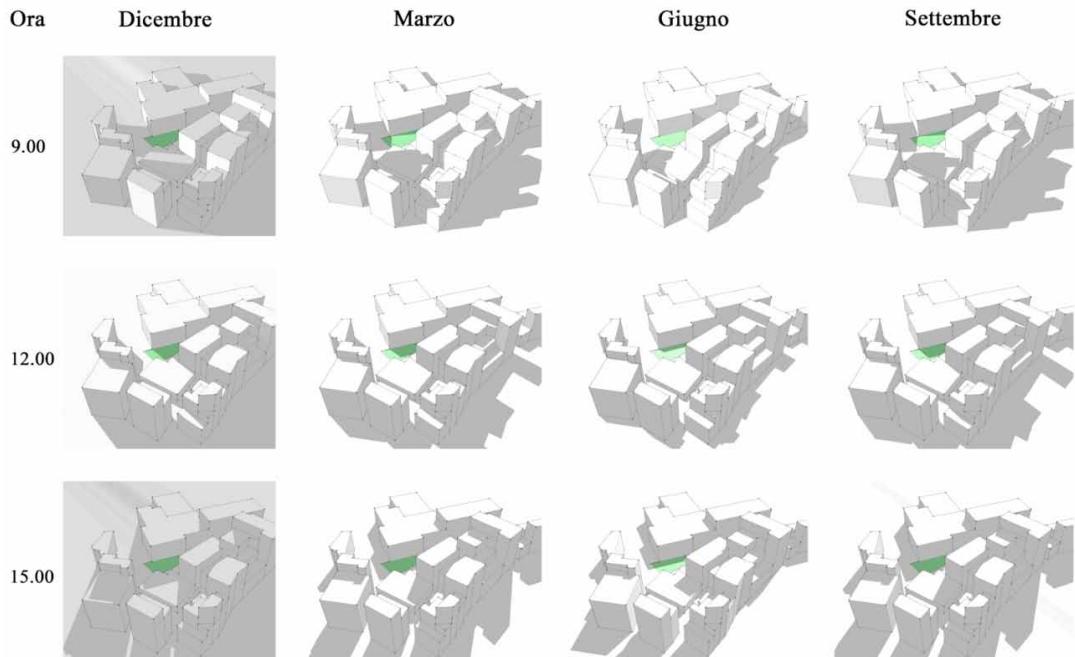


Figura 4.2. Studio dell'ombreggiamento dell'area elaborato da alcuni studenti del corso Progettazione tecnologica per l'ambiente (a.a. 2017-2018, docente: Katia Perini, studenti: Davide Bottaro, Cassi Ranaivoson, Domenico Caligo, Jiaying Deng, Valentina Diaz Valencia).

Figure 4.2. Etude de l'ombrage de la zone élaborée par certains étudiants du cours Progettazione tecnologica pour l'environnement (a.a.) 2017-2018, enseignante: Katia Perini, étudiants: Davide Bottaro, Cassi Ranaivoson, Domenico Caligo, Jiaying Deng, Valentina Diaz Valencia).

Nella scelta delle specie vegetali e nel loro posizionamento, sono state quindi considerate le condizioni di soleggiamento di tutto l'arco dell'anno. Le specie vegetali sono state quindi selezionate in base alla rusticità (resistenza alle basse temperature), capacità di tolleranza alla siccità e agli allagamenti temporanei. Si tratta di arbusti e piante erbacee molto adattabili con basse esigenze manutentive.

A partire dai dati di piovosità si è dimensionata l'area che ospita il rain garden impermeabilizzato inferiormente (la rimanente parte dell'area a disposizione è stata comunque piantumata ma è di tipo infiltrante e separata dal sistema di contabilità dell'acqua in uscita) sulla base

Pour le choix des espèces végétales et de leur positionnement, les conditions d'ensoleillement tout au long de l'année ont donc été prises en compte. Les espèces végétales ont ensuite été sélectionnées en fonction de leur rusticité (résistance aux basses températures), de leur résistance à la sécheresse et aux inondations temporaires. Il s'agit d'arbustes et de plantes herbacées très adaptables nécessitant peu d'entretien.

A partir des données pluviométriques, les dimensions de la zone d'aménagement du rain garden imperméabilisé dans sa partie inférieure ont été calculées (de la végétation a été plantée également dans la partie restante de la surface disponible mais est cette

delle indicazioni della letteratura scientifica, affinché la prestazione di assorbimento/evaporazione dell'acqua possa essere considerata molto buona.

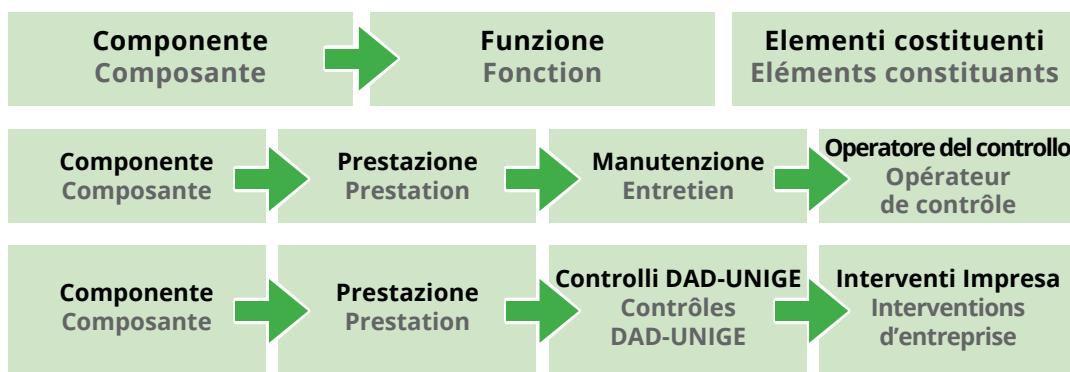
In quanto opera pubblica, sebbene modesta per entità e costo, è stato definito un piano di manutenzione, suddividendo gli elementi del sistema per componenti funzionali e individuando opere e diversa periodicità di manutenzione, prima della scadenza del progetto finanziato e successivamente (l'opera rimarrà in capo al Comune di Campomorone) secondo questo lo schema riportato in tabella 7.

dernière est de type infiltrant et séparée du système de comptabilisation des eaux de sortie) sur la base des indications de la littérature scientifique, de sorte que l'on peut considérer les performances d'absorption/évaporation d'eau comme très bonnes.

En tant qu'ouvrage public, bien que de taille et de coût modestes, un plan d'entretien a été défini, divisant les éléments du système par composantes fonctionnelles et identifiant les travaux et les fréquences d'entretien, avant la fin du projet financé et par la suite (les travaux resteront à la charge de la municipalité de Campomorone), conformément au schéma présenté au tableau 7.

Tabella 7.
Sintesi del piano di manutenzione del rain garden

Tableau 7.
Synthèse du plan d'entretien du rain garden



In sintesi, le operazioni consistono in: controllo del filtro del serbatoio e sua eventuale pulizia; controllo del pozzetto di collegamento serbatoio-rain garden ed eventuale pulizia; controllo delle piante ed eventuale sostituzione; disboscaggio manuale delle infestanti e rimozione foglie secche inizio primavera e autunno; controllo ed eventuale pulizia del tubo di erogazione; controllo del sistema di scarico ed eventuale pulizia.

En résumé, les opérations consistent à: vérifier le filtre du réservoir et son éventuel nettoyage; vérifier le raccordement du réservoir au rain garden et son éventuel nettoyage; vérifier les plantes et leur éventuel remplacement; désherbage manuel et enlèvement des feuilles sèches au début du printemps et en automne; vérifier et éventuellement nettoyer la conduite d'alimentation; vérifier le système d'évacuation et éventuellement son nettoyage.



Figure 4.3-4.7.
Fotografie della messa in opera del rain garden.

Figures 4.3-4.7.
Photographies de la mise en œuvre du rain garden.



Figure 4.8-4.9.
Il rain garden dopo la realizzazione



Figures 4.8-4.9.
Photographies du rain garden après la mise en œuvre

4.2 Le specie vegetali

Paola Sabbion

Nel progetto si sono prese in considerazione le principali linee guida internazionali, considerandone opportuni adattamenti ad un progetto sperimentale che va ad inserirsi in una regione, come quella del territorio transfrontaliero Marittimo, caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo.

4.2 Les espèces végétales

Paola Sabbion

Les principales lignes directrices internationales ont été prises en considération dans le projet, en considérant les adaptations appropriées à un projet expérimental réalisé dans une région, telle que le territoire maritime transfrontalier, caractérisé par un climat typiquement méditerranéen.

In questo caso specifico, il rain garden, a differenza di quanto avviene nelle fasce climatiche più temperate, potrebbe soffrire di prolungati periodi di siccità intervallati da brevi periodi stagionali in cui invece potrebbero verificarsi eccezionali fenomeni di piogge che talvolta sono causa di allagamenti localizzati per limitati periodi di tempo.

Le piante selezionate dovrebbero, quindi, essere in grado di prosperare in assenza di irrigazione, resistendo ai prolungati periodi di siccità estiva. In caso di piogge intense, per le sue caratteristiche funzionali, il rain garden potrà essere temporaneamente allagato. Le piante dovranno essere pertanto tolleranti a eventuali allagamenti temporanei e ripetuti.

Per questi motivi la scelta delle specie si è orientata su piante dall'apparato radicale profondo e ben sviluppato, in grado di migliorare la capacità di assorbimento dell'acqua e di filtrazione delle eventuali sostanze 'inquinanti' presenti.

Il rain garden svolge una funzione filtrante e il substrato deve pertanto essere ben drenato. Tuttavia, spesso le piante ben adattate in condizioni di aridità non sono in grado di sopportare bene i suoli saturi d'acqua, per questo il rain garden è dotato comunque di un sistema di drenaggio aggiuntivo per evitare i ristagni e la saturazione del suolo per lunghi periodi di tempo.

Il sito in cui il rain garden è stato realizzato ha caratteristiche specifiche. Si trova in piena ombra per la maggior parte del giorno nei mesi invernali, contrariamente a quanto avviene invece nei mesi estivi, in cui esso è esposto al pieno sole per la maggior parte del giorno. Di conseguenza è necessario prendere in considerazione specie vegetali che non abbiano specifiche esigenze di soleggiamento e che tollerano bene l'ombreggiamento (Figura 4.10).

Dans ce cas précis, le rain garden, contrairement à ce qui se passe dans les zones climatiques plus tempérées, pourrait souffrir de longues périodes de sécheresse entre-coupées de courtes périodes saisonnières au cours desquelles des phénomènes pluviométriques exceptionnels pourraient survenir, provoquant parfois des inondations localisées pendant des périodes limitées dans le temps.

Les plantes sélectionnées devraient donc pouvoir se développer en l'absence d'irrigation et résister à des périodes prolongées de sécheresse estivale. En cas de fortes pluies, en raison de ses caractéristiques fonctionnelles, le rain garden peut être temporairement inondé. Les plantes doivent donc être tolérantes à d'éventuelles inondations temporaires et répétées.

Pour ces raisons, le choix des espèces s'est basé sur des plantes avec un système racinaire profond et bien développé, capable d'améliorer la capacité d'absorption de l'eau et la filtration des éventuelles substances «polluantes» présentes.

Le rain garden a une fonction filtrante et le substrat doit donc être bien drainé. Cependant, souvent, les plantes bien adaptées dans des conditions d'aridité ne résistent pas bien aux sols saturés d'eau; le rain garden est donc équipé d'un système de drainage supplémentaire pour éviter la stagnation et la saturation du sol pendant de longues périodes.

Le site où le rain garden a été construit a des caractéristiques spécifiques. Il est à l'ombre pendant la plus grande partie de la journée pendant les mois d'hiver, contrairement à ce qui se passe pendant les mois d'été, pendant lesquels il est exposé au plein soleil pendant la majeure partie de la journée. Par conséquent, il est nécessaire de considérer les espèces végétales qui n'ont pas de besoins spécifiques d'ensoleillement et qui tolèrent bien l'ombrage (Figure 4.10).

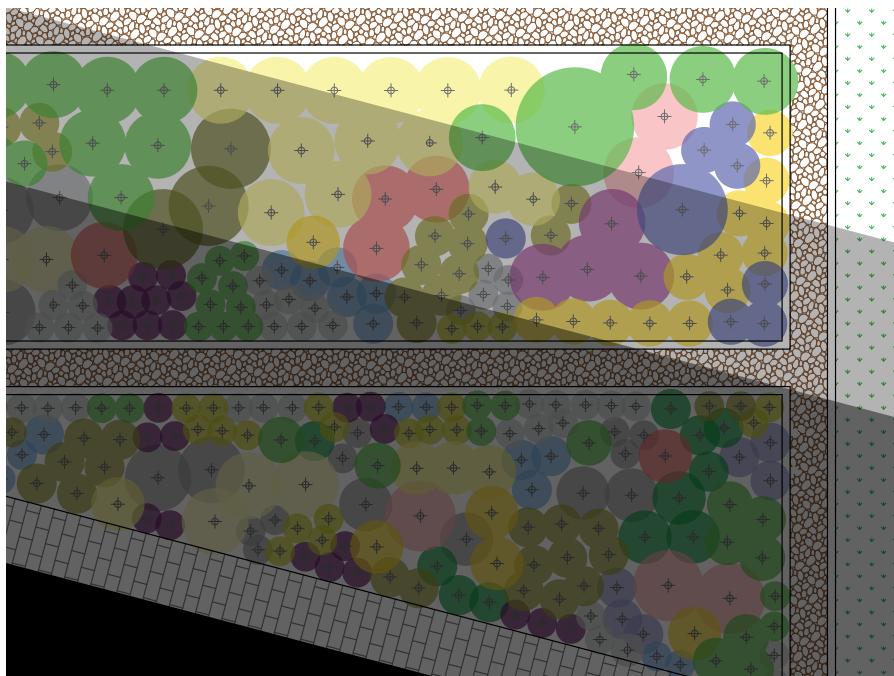


Figura 4.10.
 Schema planimetrico per l'inserimento delle specie rispetto alle condizioni di soleggiamento in sito

Figure 4.10.
 Schéma planimétrique pour la plantation des espèces en fonction des conditions d'ensoleillement du site

Premesso ciò, si considera che, pur essendo in fascia climatica mediterranea, la Val Polcevera presenta caratteristiche microclimatiche più fresche rispetto alla fascia costiera, con temperature che in inverno possono facilmente scendere sotto lo zero.

Da un'analisi delle temperature minime assolute di Campomorone si evince che non è raro scendere a temperature inferiori ai -5°C. Questo rende necessario prendere in considerazione specie caratterizzate da una buona rusticità.

Non apparendo opportuno utilizzare specie che presentino particolari esigenze di pH, anche nei confronti di questo parametro si è adottata la scelta di specie adattabili a diversi substrati culturali.

De ce fait, il est considéré que le Val Polcevera, bien que situé dans la zone climatique méditerranéenne, présente des caractéristiques microclimatiques plus fraîches que la zone côtière, avec des températures qui, en hiver, peuvent facilement descendre en-dessous de zéro.

Une analyse des températures minimales absolues de Campomorone montre qu'il n'est pas rare de descendre à des températures inférieures à -5°C. Il est donc nécessaire de prendre en considération des espèces caractérisées par une bonne rusticité.

Étant donné qu'il ne semble pas approprié d'utiliser des espèces ayant des exigences particulières en matière de pH, le choix d'espèces pouvant être adaptées à différents substrats de culture a également été adopté en ce qui concerne ce paramètre.

Pertanto, le specie sono state selezionate in base alla rusticità (resistenza alle basse temperature), alla capacità di tolleranza alla siccità e agli allagamenti temporanei. Si tratta di arbusti e piante erbacee molto adattabili con esigenze manutentive molto basse (Vedi tabella 4.2).

Per completare la sistemazione a verde, è stata piantumata anche la fascia di terreno che confina con l'edificio scolastico. Anche in questo caso sono state introdotte specie erbacee dalle basse esigenze idriche e che tollerano bene l'ombreggiamento. Alcune specie sono presenti in entrambi i settori per testarne l'adattabilità nelle diverse condizioni di ombreggiamento e umidità del suolo. Le specie sono state disposte in modo da ottimizzarne l'effetto estetico oltre che le funzionalità specifiche (Figure 4.11-4.12).

Par conséquent, les espèces ont ensuite été sélectionnées en fonction de leur rusticité (résistance aux basses températures), de leur résistance à la sécheresse et aux inondations temporaires. Il s'agit d'arbustes et de plantes herbacées très adaptables nécessitant très peu d'entretien (Voir tableau 4.2).

Pour compléter l'aménagement vert, des plantes ont été plantées sur une bande de terrain en bordure du bâtiment scolaire. Ici aussi, des espèces herbacées à faible besoin en eau et tolérant bien l'ombrage ont été introduites. Certaines espèces sont présentes dans les deux secteurs pour tester leur adaptabilité aux différentes conditions d'ombrage et d'humidité du sol. Les espèces ont été agencées de manière à optimiser l'effet esthétique ainsi que les fonctions spécifiques (Figures 4.11-4.12).



Figure 4.11-4.12. Vegetazione nel rain garden a 6 mesi dalla piantumazione



Figures 4.11-4.12. La végétation dans le rain garden 6 mois après la mise en œuvre

Durante la durata del progetto Proterina3 lo stato della vegetazione e le relative prestazioni funzionali saranno monitorati per testarne l'efficacia nel contesto specifico, al fine di trarre linee guida utili ad esportare le metodologie progettuali e gestionali del rain garden in altri contesti.

Pendant la durée du projet Proterina3, l'état de la végétation et ses performances fonctionnelles feront l'objet d'un suivi pour tester son efficacité dans le contexte spécifique, afin d'élaborer des directives utiles pour exporter les méthodes de conception et de gestion du rain garden dans d'autres contextes.

NOME / NOM: *Astelia banksii*

Origine: Australia e Nuova Zelanda. **Descrizione:** Pianta erbacea perenne con foglie argentate sottili, a crescita contenuta e piuttosto lenta. Vive bene in condizioni ventose e ombreggiate. Raggiunge un'altezza massima di 100-110 cm. Sempreverde. Adattabile ad ogni tipo di terreno e di esposizione.

Origine: Australie et Nouvelle-Zélande **Description:** Plante herbacée vivace à feuilles fines et argentées, à croissance basse et plutôt lente. Vit bien dans des conditions venteuses et ombragées. Elle atteint une hauteur maximale de 100-110 cm. A feuillage persistant. Adaptable à tout type de terrain et d'exposition.

NOME / NOM: *Carex secta*

Origine: Nuova Zelanda **Descrizione:** Pianta erbacea dal portamento eretto e tondeggiante che raggiunge un'altezza di 80-100 cm. Preferisce l'esposizione al sole, o ombra parziale. Gradisce terreno umido, ma ben drenato.

Origine: Nouvelle-Zélande **Description:** Plante herbacée au port érigé et arrondi, atteignant une hauteur de 80-100 cm. Elle préfère l'exposition au soleil ou la mi-ombre. Elle apprécie les sols humides, mais bien drainés.

NOME / NOM: *Ceanothus spp*

Origine: Aree temperate o calde della costa occidentale di Canada, Nord America (in particolare California) e Messico. **Descrizione:** Arbusto per la maggior parte dei casi sempreverde, caratterizzato da importanti fioriture e da buona adattabilità a qualsiasi terreno. Raggiunge un'altezza media di 150 cm. I fiori, che appaiono in tarda primavera sono di un blu intenso. Nelle regioni settentrionali preferisce il pieno sole, in quelle più calde meglio coltivarlo in mezz'ombra.

Origine: Zones tempérées ou chaudes de la côte ouest du Canada, Amérique du Nord (notamment la Californie) et le Mexique. **Description:** Arbuste principalement à feuillage persistant, caractérisé par d'importantes floraisons et une bonne adaptabilité à n'importe quel terrain. Elle atteint une hauteur moyenne de 150 cm. Les fleurs, qui apparaissent à la fin du printemps, sont d'un bleu profond. Dans les régions septentrionales, il préfère le plein soleil, dans les régions plus chaudes, il est préférable de le cultiver à mi-ombre.

NOME / NOM: *Chasmanthium latifolium*

Origine: Nord America orientale.

Descrizione: Specie erbacea perenne e macroterma nativa del nord America, principalmente sud est Stati Uniti e nord del Messico. Raggiunge un'altezza massima di 70-90 cm. Si incontra in habitat boschivi e lungo i corsi d'acqua. Preferisce sole, mezz'ombra, ma si adatta bene anche all'ombra. Tollera terreni asciutti e caldo estivo.

Origine: Est de l'Amérique du Nord.

Description: Espèce herbacée vivace et macrotherme indigène d'Amérique du Nord, principalement du sud-est des États-Unis et du nord du Mexique. Il atteint une hauteur maximale de 70-90 cm. On le trouve dans les habitats boisés et le long des cours d'eau. Il préfère le soleil, la mi-ombre, mais il s'adapte bien aussi à l'ombre. Tolère les sols secs et les étés chauds.

NOME / NOM: *Cotoneaster dammeri*



Origine: Cina e Himalaya. **Descrizione:** Arbusto dal portamento strisciante, raggiunge un'altezza massima di 30 cm. Cresce bene nei terreni ben drenati, le irrigazioni sono necessarie soltanto durante il primo anno dall'impianto. Predilige l'esposizione in pieno sole, tollera però piuttosto bene anche la mezz'ombra. Resiste al freddo e agli sbalzi termici (anche -15 °C). Si adatta all'ambiente urbano.

Origine: Chine et Himalaya. **Description:** Arbuste à port rampant, il atteint une hauteur maximale de 30 cm. Il pousse bien dans des sols bien drainés, l'irrigation n'est nécessaire que pendant la première année de plantation. Il préfère être exposé en plein soleil, mais il tolère aussi assez bien la mi-ombre. Résiste au froid et aux écarts de température (même -15 °C). S'adapte à l'environnement urbain.

NOME / NOM: *Festuca actae*



Origine: Nuova Zelanda, zone temperate. **Descrizione:** Erbacea perenne con fogliame sottile azzurro intenso che raggiunge un'altezza massima di 20-30 cm. A differenza delle altre Festuca, piante microtermiche, sopporta meglio il calore e l'umidità del periodo estivo. Tollerà quindi il clima mediterraneo e i terreni argillosi. Può essere usata per stabilizzare i terreni. Preferisce sole del mattino, ombra parziale.

Origine: Nouvelle-Zélande, zones tempérées. **Description:** Herbacée vivace au feuillage bleu intense et fin atteignant une hauteur maximale de 20 à 30 cm. Contrairement aux autres Festuca, plantes microthermes, elle supporte mieux la chaleur et l'humidité de l'été. Elle tolère donc le climat méditerranéen et les sols argileux. Elle peut être utilisée pour stabiliser le sol. Elle préfère le soleil du matin, l'ombre partielle.

NOME / NOM: *Hosta spp*



Origine: Asia nordorientale (Cina, Giappone, Corea e estremo oriente della Russia). **Descrizione:** Erbacee perenne, vigorosa e di grande resistenza al freddo. Ha un'altezza variabile dai 30 ai 120 cm. Particolarmente apprezzata per le foglie rigogliose, di colori variabili dal verde oro, all'azzurro e dai margini color bianco o crema, è a proprio agio in luoghi ombrosi e terreni umidi. I fiori compaiono in luglio agosto su lunghi steli.

Origine: Asie du Nord-Est (Chine, Japon, Corée et Extrême-Orient russe). **Description:** Plante herbacée vivace, vigoureuse et très résistante au froid. Sa hauteur varie de 30 à 120 cm. Particulièrement appréciée pour ses feuilles luxuriantes, de couleurs variant du vert doré au bleu et aux bords blancs ou crème, elle convient bien aux endroits ombragés et aux sols humides. Les fleurs apparaissent en juillet et août sur de longues tiges.

NOME / NOM: *Juncus pallidus*



Origine: Nuova Zelanda, parte dell'Australia. **Descrizione:** Erbacea perenne caratterizzata da steli cilindrici sempreverdi nei climi miti, raggiunge un'altezza massima di 120-170 cm. Si adatta a diversi ambienti grazie alla sua grande versatilità. Preferisce sole o ombra parziale.

Origine: Nouvelle-Zélande, partie de l'Australie. **Description:** Plante herbacée vivace caractérisée par des tiges cylindriques à feuillage persistant dans les climats doux, atteint une hauteur maximale de 120-170 cm. Elle s'adapte à différents environnements grâce à sa grande versatilité. Elle préfère le soleil ou l'ombre partielle.

NOME / NOM: *Juncus patens*

Origine: California, Oregon.

Descrizione: Simile al giunco comune se ne differenzia per gli steli più rigidi ed eretti e per la colorazione grigio-verde.

Raggiunge un'altezza massima di 50-60 cm. Preferisce sole o ombra parziale. Tollerà bene la siccità.

Origine: Californie, Oregon.

Description: Semblable au jonc commun, il diffère de dernier par les tiges plus rai-des et érigées et par la coloration gris-vert.

Il atteint une hauteur maximale de 50-60 cm. Il préfère le soleil ou l'ombre partielle. Il tolère bien la sécheresse.

NOME / NOM: *Lavandula angustifolia*

Origine: originaria del mediterraneo.

Descrizione: Pianta perenne, sempreverde.

Resiste bene sia al caldo che a temperature rigide e richiede poche cure. Cresce bene anche in luoghi aridi e rocciosi. Preferisce la luce diretta del sole e una buona ventilazione.

Origine: originaire de la Méditerranée.

Description: Plante vivace, à feuillage persistant.

Elle résiste à la chaleur et au froid et nécessite peu d'entretien. Elle pousse bien même dans les endroits arides et rocheux. Elle préfère la lumière directe du soleil et une bonne ventilation.

NOME / NOM: *Lomandra hystrix*

Origine: Australia.

Descrizione: Pianta erbacea dal fogliame verde brillante. Cresce lungo le sponde di corsi d'acqua e non teme periodi di allagamento.

Raggiunge un'altezza massima di 100-130 cm. Adattabile ad esposizioni dall'ombra fitta al pieno sole.

Origine: Australie

Description: Plante herbacée au feuillage vert vif. Elle pousse le long des berges des cours d'eau et ne craint pas les périodes d'inondation.

Elle atteint une hauteur maximale de 100-130 cm. Adaptable aux expositions de l'ombre dense au plein soleil.

NOME / NOM: *Muhlenbergia dubia*

Origine: Texas, nord Messico.

Descrizione: Erbacea perenne dalle foglie sottili verde chiaro. Raggiunge un'altezza massima di 40-50 cm. Fiorisce da agosto a novembre con strette infiorescenze. Preferisce il pieno sole e tollera la siccità.

Origine: Texas, nord du Mexique

Description: Herbacée vivace avec de fines feuilles vert clair. Elle atteint une hauteur maximale de 40-50 cm. Elle fleurit d'août à novembre avec des inflorescences étroites. Elle préfère le plein soleil et tolère la sécheresse.

NOME / NOM: *Ophiopogon planiscapus nigrescens*



Origine: India e Asia orientale.

Descrizione: Perenne sempreverde, fogliame porpora-nero, raggiunge un'altezza massima di 10-15 cm. Ama il terreno umifero, fresco, leggero. Come esposizione preferisce la mezz'ombra o l'ombra. Fiorisce in giugno - luglio con piccoli fiorellini rosa.

Origine: Inde et Asie orientale

Description: Plante vivace à feuillage persistant, violet-noir, elle atteint une hauteur maximale de 10-15 cm. Elle aime le sol humifère, frais et léger. Comme exposition, elle préfère la mi-ombre ou l'ombre. Elle fleurit en juin - juillet avec de petites fleurs roses.

NOME / NOM: *Panicum virgatum*



Origine: Nord America.

Descrizione: erbacea con fogliame verde-grigio, raggiunge un'altezza massima di 110-140 cm. È una delle specie dominanti delle praterie di erba alta nell'America settentrionale. Preferisce esposizioni soleggiate.

Origine: Amérique du Nord.

Description: Plante vivace à feuillage vert-gris; elle atteint une hauteur maximale de 110-140 cm. C'est une des espèces dominantes des prairies d'herbe haute du nord de l'Amérique. Elle préfère les expositions ensoleillées.

NOME / NOM: *Perovskia gaura*



Origine: montagne aride dell'Iran e del Turkmenistan.

Descrizione: Suffrutice a foglie caduche molto aromatiche, grigio-verdi. Raggiunge un'altezza massima di 100 cm. La fioritura si protrae da giugno a settembre, con una notevole intensità. Preferisce l'esposizione al sole. Tollerà il freddo fino a oltre -15° C. Ha un'ottima resistenza al secco. Tollerà bene il calcare ed è resiste alla salsedine.

Origine: montagnes arides de l'Iran et du Turkménistan.

Description: Sous-arbrisseau à feuilles caduques particulièrement aromatiques, gris-vertes Il atteint une hauteur maximale de 100 cm. La floraison dure de juin à septembre, avec une intensité remarquable. Il préfère être exposé au soleil. Tolère le froid en-dessous de -15° C. Il a une excellente résistance à la sécheresse. Tolère bien le calcaire et résiste à la salinité.

NOME / NOM: *Pittosporum tobira "Nanum"*



Origine: Cina, Taiwan e del Giappone. **Descrizione:** piccolo arbusto sempreverde dalla forma rotonda e a cespuglio. Pianta a crescita lenta, le sue dimensioni massime raggiungono 1m circa d'altezza. Necessita di un terriccio ben drenato. può essere messo a dimora sia in zone semiombreggiate che in pieno sole. Preferisce climi temperati, anche se resiste alla siccità e alle basse temperature (fino a -10 °C).

Origine: Chine, Taïwan et Japon **Description:** petit arbuste à feuilles persistantes de forme ronde et touffue. Plante à croissance lente, sa taille maximale atteint environ 1m de hauteur. Elle a besoin d'un sol bien drainé, il peut être planté aussi bien dans des zones semi-ombragées qu'en plein soleil. Elle préfère les climats tempérés, même si elle résiste à la sécheresse et aux basses températures (jusqu'à -10 °C).

NOME / NOM: *Spartina bakeri*



Origine: coste dell'Oceano Atlantico di Europa occidentale e meridionale, Africa nord-occidentale e meridionale, coste del Nord America e Sud America, particolarmente Florida, dell'entroterra delle Americhe. **Descrizione:** Pianta erbacea cespitosa, raggiunge un'altezza di massima di 120 cm circa. Queste piante sono caratterizzate da una crescita rapida e si possono trovare sia in paludi saline costiere che in ambienti palustri interni di acqua dolce.

Origine: Côtes atlantiques de l'Europe de l'Ouest et du Sud, Afrique du Nord-Ouest et du Sud, côtes de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud, en particulier la Floride, arrière-pays des Amériques. **Description:** Plante herbacée cespiteuse, atteint une hauteur maximale de 120 cm. Ces plantes se caractérisent par une croissance rapide et se trouvent aussi bien dans les marais salés côtiers que dans les marais intérieurs d'eau douce.

NOME / NOM: *Tripsacum floridanum*



Origine: zone umide e assolate dal nord America orientale fino alla Florida

Descrizione: Erbacea cespitosa macroterma, raggiunge un'altezza di 90-120 cm. Il fogliame è grigio-verde e le piccole infiorescenze appaiono da metà estate. Vive ai margini di laghi e corsi d'acqua in terreni spesso allagati ma ciò nonostante tollera bene la siccità e preferisce esposizione al sole o ombra parziale.

Origine: zones humides et ensoleillées de l'est de l'Amérique du Nord jusqu'en Floride. **Description:** Plante herbacée cespiteuse macrotherme, atteint une hauteur de 90-120 cm. Le feuillage est gris-vert et les petites inflorescences apparaissent dès le milieu de l'été. Elle vit au bord des lacs et des cours d'eau dans des sols souvent inondés mais tolère néanmoins bien la sécheresse et préfère l'exposition au soleil ou l'ombre partielle.

4.3 Monitorare le prestazioni del sistema

Katia Perini

Rain garden, come anche altri tipi di infrastrutture verdi, sono utilizzati con successo in diverse zone di nord Europa, Stati Uniti e Australia. In area Mediterranea tali sistemi sono scarsamente diffusi e, pertanto, risulta di grande importanza valutare le prestazioni ottenibili in funzione delle condizioni climatiche e dal regime delle piogge e la capacità di adattamento delle specie vegetali. Infatti, questi sistemi permettono il trattamento delle acque piovane, la rimozione di sedimenti fini, metalli pesanti, fosforo, azoto, idrocarburi, batteri e sostanze organiche attraverso la filtrazione, sedimentazione,

4.3 Suivi des performances du système

Katia Perini

Les rain gardens, tout comme d'autres types d'infrastructures vertes, sont utilisés avec succès dans plusieurs régions d'Europe du Nord, aux États-Unis et en Australie. Dans la zone méditerranéenne, ces systèmes sont peu utilisés et il est donc très important d'évaluer les performances qui peuvent être obtenues en fonction des conditions climatiques, du régime pluviométrique et de la capacité d'adaptation des espèces végétales. En effet, ces systèmes permettent le traitement des eaux pluviales, l'élimination de sédiments fins, de métaux lourds, du phosphore, de l'azote, des hydrocarbures, de bactéries et de substances organiques par

grazie ai processi biologici delle piante (infiltrazione ed evapotraspirazione).

Come brevemente descritto nel capitolo 4.1, il rain garden Proterina è stato progettato per permettere il monitoraggio delle prestazioni in termini qualitativi e quantitativi, cioè per valutare la capacità di riduzione dello scorrimento superficiale dell'acqua meteorica e la rimozione di inquinanti, filtrata da specie vegetali, dal substrato e dal materiale drenante (figura 4.13).

Il progetto pilota è oggetto delle seguenti attività di monitoraggio:

- prestazioni del sistema in termini di riduzione dello scorrimento superficiale;
- prestazioni del sistema in termini di miglioramento della qualità dell'acqua in relazione alle condizioni atmosferiche;
- efficacia e capacità di adattamento delle specie vegetali.

Il monitoraggio quantitativo per la riduzione dello scorrimento superficiale è svolto in continuo grazie ad una elettrovalvola che misura la quantità di acqua in uscita dal sistema. Come descritto nel capitolo precedente, il rain garden tratta l'acqua meteorica incidente sulla sua superficie e l'acqua proveniente dalla superficie di raccolta adiacente (copertura del parcheggio antistante, figura 4.14). Nel caso di eventi atmosferici di ridotta entità, l'acqua viene trattenuta dal terreno ed evapora anche grazie ai processi di evapotraspirazione delle piante. Nel caso di eventi atmosferici intensi l'acqua verrà temporaneamente raccolta grazie alla leggera depressione che caratterizza il rain garden (fino al raggiungimento del overflow, Figura 4.13) e lentamente raggiungerà, attraverso un tubo poroso, il pozetto dotato di elettrovalvola. I dati verranno registrati per un anno e permetteranno di quantificare, in funzione delle caratteristiche dei diversi eventi atmosferici (mm/ora), la capacità di riduzione dello scorrimento superficiale del sistema.

filtration, et/ou sédimentation, grâce aux processus biologiques des plantes (infiltration et évapotranspiration).

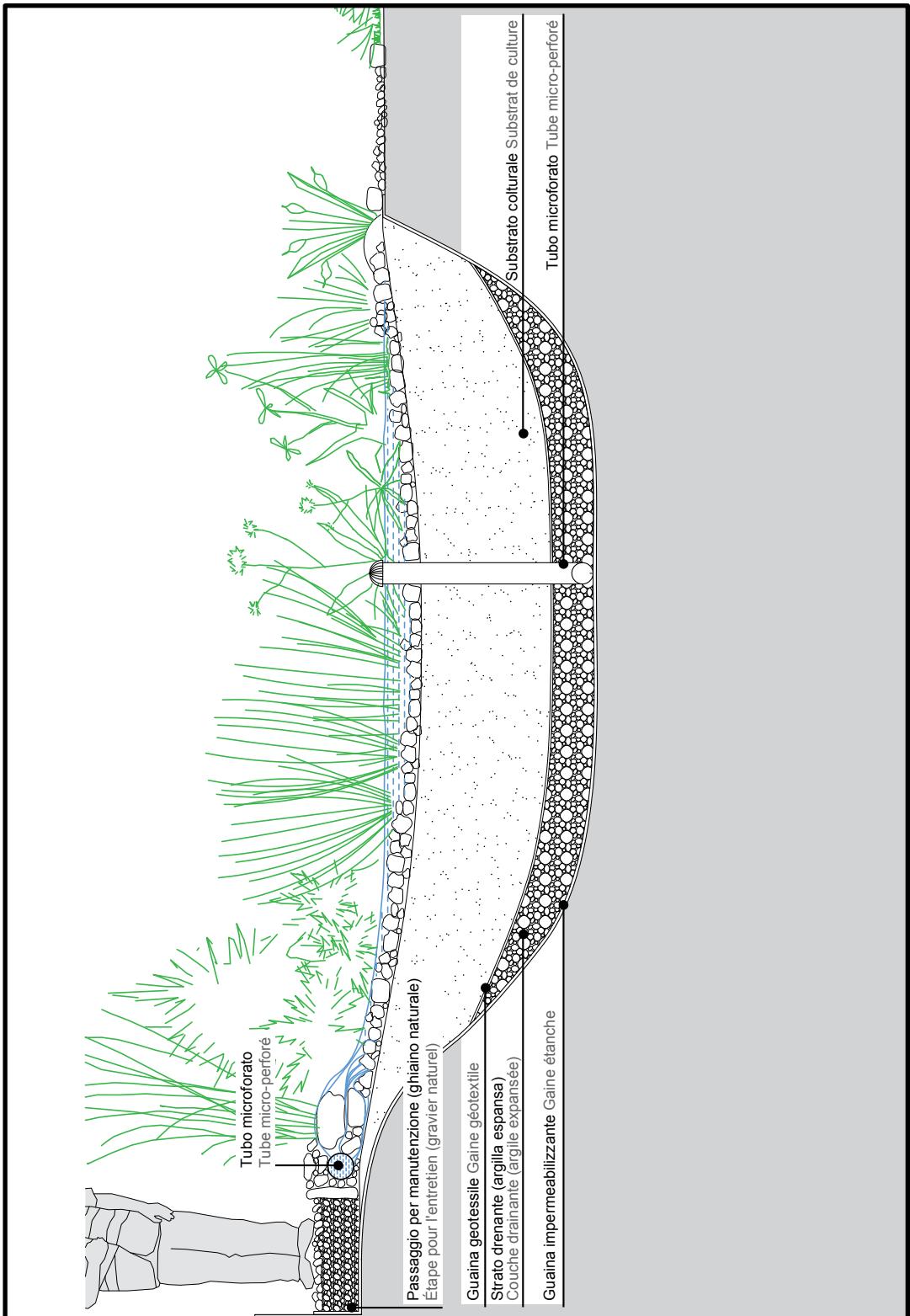
Comme décrit brièvement au chapitre 4.1, le rain garden Proterina a été conçu pour permettre le suivi des performances en termes qualitatifs et quantitatifs, c'est-à-dire pour évaluer la capacité à réduire l'écoulement superficiel des eaux pluviales et l'élimination des polluants, par filtration des espèces végétales, du substrat et du matériau drainant (Figure 4.13).

Ce projet pilote fait l'objet des activités de suivi indiquées ci-après:

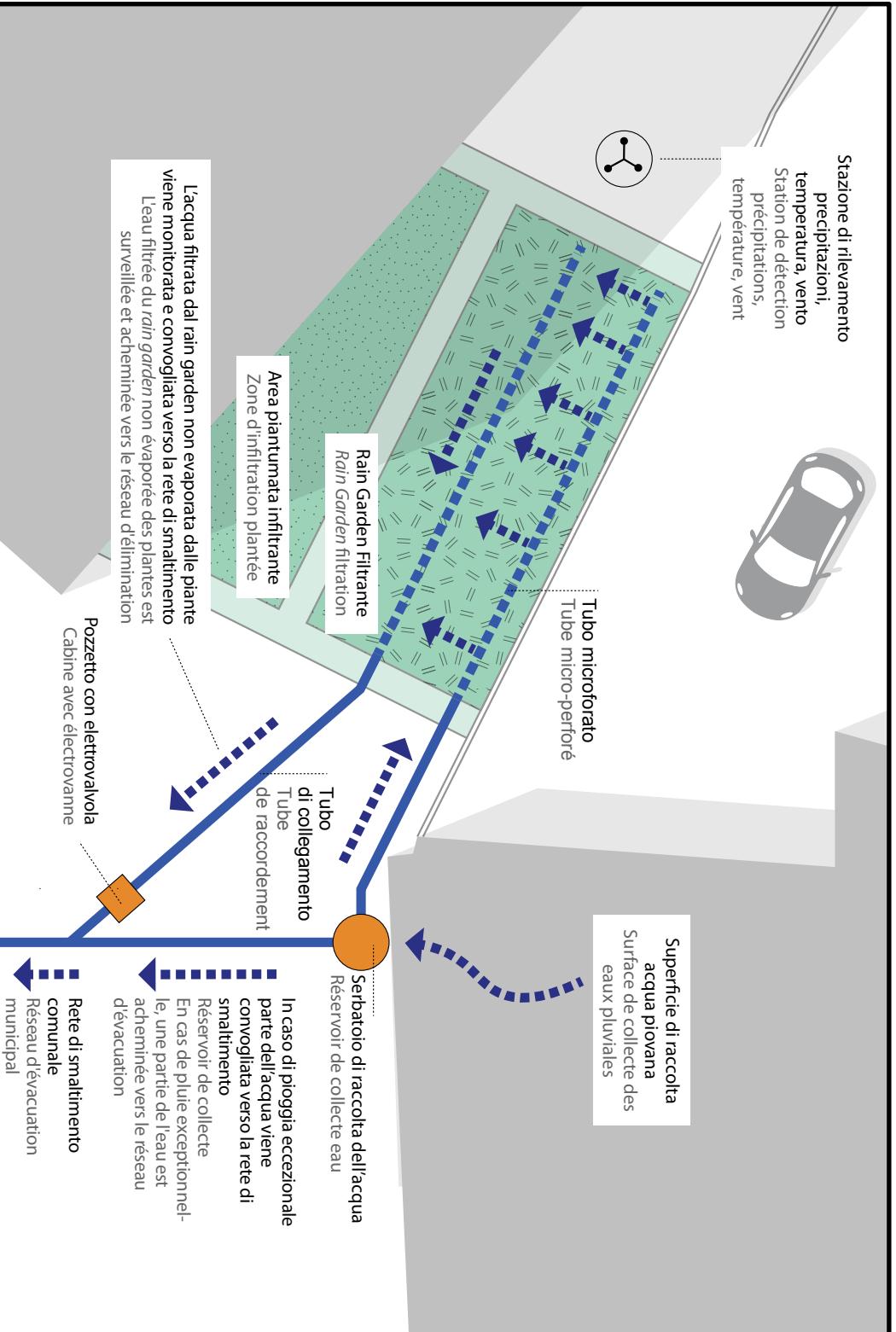
- les performances du système en termes de réduction de l'écoulement de surface;
- les performances du système en termes d'amélioration de la qualité de l'eau par rapport aux conditions atmosphériques;
- l'efficacité et l'adaptabilité des espèces végétales.

La surveillance quantitative de l'écoulement superficiel est effectuée en continu grâce à une électrovanne qui mesure la quantité en sortie du système. Comme décrit dans le chapitre précédent, le rain garden traite l'eau météorique incident à sa surface et l'eau provenant de la surface de collecte adjacente (couverture du parking en face, Figure 4.14). Dans le cas de petits événements atmosphériques, l'eau est retenue par le sol et s'évapore également grâce aux processus d'évapotranspiration des plantes. En cas d'événements atmosphériques intenses, l'eau sera recueillie temporairement grâce à la légère dépression qui caractérise le rain garden (jusqu'à ce que l'overflow soit atteint, Figure 4.13) et atteindra lentement, par un tuyau poreux, le puits équipé d'une électrovanne. Les données seront enregistrées pendant un an et permettront de quantifier, en fonction des caractéristiques des différents événements atmosphériques (mm/heure), la capacité à réduire l'écoulement superficiel du système.

4.13 - Sezione rain garden Section du rain garden



4.14 - Schema in pianta rain garden Schéma en plan du rain garden



Il monitoraggio riguardante la capacità di ridurre la concentrazione di inquinanti da parte del rain garden, tramite processi di filtrazione, infiltrazione, detenzione, etc. prevede le seguenti attività:

- analisi elementari per la determinazione della qualità dell'acqua in entrata e in uscita; nello specifico verranno determinati i seguenti parametri: pH, conducibilità elettrica, colore, azoto ammoniacale, sulfati, cloruri, fluoruri, nitriti, nitrati, fosfati, calcio, magnesio, sodio, potassio, alluminio, ferro, manganese, rame;
- analisi chimiche mediante spettrofotometro portatile a raggi-X per la determinazione delle componenti elementari di suoli;
- Effettuazione di analisi chimiche mediante spettrofotometro portatile a raggi-X (FPEDXRF) per la determinazione delle componenti elementari di specie vegetali;
- campionamento, determinazione e monitoraggio delle specie vegetali.

Il monitoraggio permette di valutare il ruolo dei diversi componenti (strati del rain garden e specie vegetali) nella capacità di fitodepurazione del sistema di infrastruttura verde.

I dati ottenuti grazie all'attività di monitoraggio forniranno importanti indicazioni circa l'efficacia di piccole infrastrutture verdi, in particolare di rain garden, per il trattamento dell'acqua meteorica in un'area caratterizzata da una netta alternanza fra periodi di siccità (in particolare nei mesi estivi) e periodi molto piovosi (nei mesi di ottobre e novembre).

Le suivi concernant la capacité à réduire la concentration de polluants grâce au rain garden, aux processus de filtration, d'infiltration, de rétention, etc. prévoit les activités suivantes:

- analyses élémentaires pour déterminer la qualité de l'eau entrante et sortante; en particulier, les paramètres suivants seront déterminés: pH, conductivité électrique, couleur, azote ammoniacal, sulfates, chlorures, fluorures, nitrites, nitrates, phosphates, calcium, magnésium, sodium, potassium, aluminium, fer, manganèse, cuivre;
- analyses chimiques à l'aide d'un spectrophotomètre à rayons X portable pour identifier les composantes élémentaires des sols;
- analyses chimiques réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre à rayons X portable (FPEDXRF) pour la détermination des composantes élémentaires des espèces végétales;
- échantillonnage, détermination et surveillance des espèces végétales.

Le suivi permet d'évaluer le rôle des différentes composantes (couches du rain garden et espèces végétales) dans la capacité de phytoépuration du système d'infrastructure verte.

Les données obtenues grâce à l'activité de suivi fourniront des indications importantes sur l'efficacité des petites infrastructures vertes, en particulier les rain gardens (jardins pluviaux), pour le traitement des eaux pluviales dans une zone caractérisée par une alternance claire entre les périodes de sécheresse (surtout en été) et les périodes très pluvieuses (en octobre et novembre).

Riferimenti Références

Abdrabo, M.A., Hassaan, M.A., 2015. An integrated framework for urban resilience to climate change - Case study: Sea level rise impacts on the Nile Delta coastal urban areas. *Urban Clim.* 14, Part 4, 554–565. <https://doi.org/10.1016/j.ulclim.2015.09.005>

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2012. Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse: Bilan des Connaissances.

Agenzia europea dell'ambiente, 2015. L'ambiente in Europa: Stato e prospettive nel 2015 – Relazione di sintesi.

Agrillo, G., Bonati, V., 2013. Atlante climatico della Liguria.

Arpas, 2017. Annuario statistico ambientale della Sardegna anno 2017, Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Sardegna.

Atlanta Regional Commission, 2014. Georgia Stormwater Management Manual [WWW Document]. URL <http://www.atlantaregional.com/environment/georgia-stormwater-manual> (accessed 6.6.16).

Ballard, B.W., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., 2007. Site Handbook for the Construction of SUDS. CIRIA.

Bellomo, A., 2003. Pareti verdi : linee guida alla progettazione / Antonella Bellomo. Es-selibri, Napoli.

Benedict, M.A., McMahon, E.T., 2001. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century.

Benedict, M.A., McMahon, E.T., Conservation Fund, 2006. Green infrastructure: linking landscapes and communities. Island Press, Washington, DC.

Benedict, M.A., McMahon, E.T., Fund, M.A.T.C., 2012. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Island Press.

Bianchini, F., Hewage, K., 2012. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Build. Environ.*

Chaouche, K., Neppel, L., Dieulin, C., Pujol, N., Ladouce, B., Martin, E., Salas, D., Caballero, Y., 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Geosci.* 342, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2010.02.001>

Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., 2004. Stormwater Best Management Practice Design Guide.

Colvile, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F., 2001. The transport sector as a source of air pollution. *Atmos. Environ.* 35, 1537–1565. [https://doi.org/10.1016/S1352-3130\(00\)00551-3](https://doi.org/10.1016/S1352-3130(00)00551-3)

Commission of the European Communities, 2013. Communication From The Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital.

Commission of the European Communities, 2005. EUR-Lex - 52005DC0718 - EN.

Commissione Europea, 2012. Relazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle regioni 2012. Attuazione della Strategia Tematica per la Protezione del Suolo e Attività in Corso.

Commissione Europea, 2011. Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni - Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse.

Comune di Firenze, 2008. Migliori pratiche per la gestione sostenibile delle acque in aree urbane.

Comune di Reggio Emilia, 2014. Linee guida per la gestione delle acque meteoriche.

Consorzio LaMMA, 2015. Recenti cambiamenti climatici in Toscana.

Costanza, R., Norton, B.G., Haskell, B.D., 1992. Ecosystem health: new goals for environmental management. Island Press, Washington, D.C.

Czermiel Berndtsson, J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecol. Eng.* 36, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

De Urbanisten, 2016. Water squares.

Department of Environmental Resource, Department of Resources, Programs and Planning Division, 1999. Prince George's County, Maryland, Low Impact Development Design Strategies. An integrate design approach [WWW Document]. URL http://www.lowimpactdevelopment.org/pubs/LID_National_Manual.pdf (accessed 6.7.16).

Department of the Environment, 2009. Evaluating options for water sensitive urban design – a national guide [WWW Document]. URL <https://www.environment.gov.au/resource/evaluating-options-water-sensitive-urban-design-%E2%80%93-national-guide> (accessed 6.6.16).

Deque, M., 2007. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Glob. Planet. Change* 57, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.030>

Derkzen, M.L., van Teeffelen, A.J.A., Verburg, P.H., 2015. REVIEW: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *J. Appl. Ecol.* 52, 1020–1032. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12469>

Dickie, S., McKay, G., Ions, L., Shaffer, P., 2010. Planning for SuDS - making it happen.

Dunnett, N., Kingsbury, N., 2008. Planting green roofs and living walls. Timber Press, Portland, Or.

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., others, 2014. Climate change 2014: mitigation of climate change. Contrib. Work. Group III Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Change 511–597.

Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J., Gómez-Baggethun, E., Nowak, D., Kronenberg, J., de Groot, R., 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, Open Issue 14, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>

EPA, 2011. Land Revitalization Fact Sheet Green Infrastructure.

EPA, 1999. Storm Water Technology Fact Sheet Vegetated Swales.

EPA, U., 2016. US Environmental Protection Agency [WWW Document]. URL <http://www3.epa.gov/> (accessed 2.12.16).

European Commission, 2016. European Green Capital [WWW Document]. URL <http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/rotterdams-water-square/> (accessed 5.3.16).

European Commission, 2015. Nature-Based Solutions | Environment - Research & Innovation [WWW Document]. URL <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs> (accessed 9.12.16).

European Commission (Ed.), 2013. Building a green infrastructure for Europe. Publ. Ofice of the European Union, Luxembourg.

European Commission, 2012. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A Blueprint To Safeguard Europe's Water Resources.

European Commission, 2010. Green infrastructure.

European Environmental Agency, 2015. Exploring nature-based solutions. The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards.

Field, C.B., Barros, V.R., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Abdrabo, M.-K., Adger, N., Anokhin, Y.A., Anisimov, O.A., Arent, D.J., Barnett, J., others, 2014. Climate Change 2014: Summary for policymakers. *Clim. Change 2014 Impacts Adapt. Vulnerability Part Glob. Sect. Asp. Contrib. Work. Group II Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Change* 1–32.

Field, C.B., Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.), 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaption: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, NY.

Firehock, K., 2010. A Short History of the Term Green Infrastructure and Selected Literature.

Fisher, B.S., Nakicenovic, N., Alfsen, K., Morlot Corfee, J., de la Chesnaye, F., Hourcade, J.-C., Jiang, K., Kainuma, M., La Rovere, E., Matysek, A., Rana, A., Riahi, K., Richels, R., Rose, S., van Vuuren, D., Warren, R., 2007. Issues related to mitigation in the long term context, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)].

Fowler, D., 2002. Pollutants deposition and uptake by vegetation, in: Bell, J.N.B., Treshow, M. (Eds.), *Air Pollution and Plant Life*. John Wiley & Sons.

Getter, K.L., Rowe, D.B., 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience* 41, 1276–1285.

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., Briggs, J.M., 2008. Global Change and the Ecology of Cities. *Science* 319, 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>

Hamin, E.M., Gurran, N., 2009. Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. *Habitat Int.* 33, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.005>

Hoek, G., Brunekreef, B., Verhoeff, A., van Wijnen, J., Fischer, P., 2000. Daily mortality and air pollution in The Netherlands. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 1995 50, 1380–1389.

International Energy Agency, 2008. *World energy outlook 2008*. International Energy Agency ; Turpin Distribution, Paris; New Milford, Conn.

IOWA Department of Natural Resources, 2009. *Iowa Stormwater Management Manual*.

Kazmierczak, A., Carter, J., 2010. Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. A database of case studies. *Interreg IVC Green Blue Space Adapt. Urban Areas Eco Towns GRaBS Manch. UK Available Httpwww Grabs-Eu Orgaccessed 5 July 2012.*

Kosareo, L., Ries, R., 2007. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Build. Environ.* 42, 2606–2613. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.019>

Larondelle, N., Haase, D., 2013. Urban ecosystem services assessment along a rural-urban gradient: A cross-analysis of European cities. *Ecol. Indic.* 29, 179–190. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.022>

Lazzari, S., Perini, K., Roccotiello, E., 2018. Chapter 3.6 - Green Streets for Pollutants Reduction, in: Pérez, G., Perini, K. (Eds.), *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Butterworth-Heinemann, pp. 149–156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00014-8>

Legambiente, 2012. Mal'aria di città.

Longo, G., Moretti, S., Nario, L., Papalia, I., 2016. Strategie alternative di gestione delle acque meteoriche. Caso studio Genova San Fruttuoso. Università degli Studi di Genova Scuola Politecnica: Dipartimento di Scienze per l'Architettura.

Luederitz, C., Lang, D.J., Von Wehrden, H., 2013. A systematic review of guiding principles for sustainable urban neighborhood development. *Landsc. Urban Plan.* 118, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.06.002>

Mazzarello, M., Raimondo, M., 2015. Infrastrutture verdi: una gestione alternativa delle acque meteoriche. Genova, verso una "Water Sensitive City". Università degli Studi di Genova Scuola Politecnica: Dipartimento di Scienze per l'Architettura.

Melbourne Water, 2016. Porous paving [WWW Document]. URL http://www.melbournewater.com.au/planning-and-building/stormwater-management/wsud_treatments/pages/porous-paving.aspx (accessed 5.11.16).

Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., Schröter, D., 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 69–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025>

Ministero dell'Ambiente, 2014. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

Nelson, E.J., Kareiva, P., Ruckelshaus, M., Arkema, K., Geller, G., Girvetz, E., Goodrich, D., Matzek, V., Pinsky, M., Reid, W., Saunders, M., Semmens, D., Tallis, H., 2013. Climate change's impact on key ecosystem services and the human well-being they support in the US. *Front. Ecol. Environ.* 11, 483–893. <https://doi.org/10.1890/120312>

New York City Department of Environmental Protection, 2010. NYC Green Infrastructure Plan.

New York (N.Y.), Department of Design and Construction, Design Trust for Public Space (Organization), 2005. High performance infrastructure guidelines: best practices for the public right-of-way : New York City, October 2005. New York City Department of Design + Construction : Design Trust for Public Space, New York.

Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., others, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Perini, K., 2013. Progettare il verde in città: una strategia per l'architettura sostenibile. F. Angeli, Milano.

Perini, K., Magliocco, A., 2014. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban For. Urban Green.* <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003>

Perini, K., Ottelé, M., Giulini, S., Magliocco, A., Roccotielo, E., 2017. Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system. *Ecol. Eng.* 100, 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.032>

Perini, K., Roccotielo, E., 2018. Chapter 3.4 - Vertical Greening Systems for Pollutants Reduction, in: Pérez, G., Perini, K. (Eds.), *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Butterworth-Heinemann, pp. 131–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00012-4>

Perini, K., Sabbion, P., 2017. *Urban Sustainability and River Restoration: green and blue infrastructure, Construction Sustainability*. Wiley.

Plunz, R., 2008. The design equation, in: Sutto, M.P., Plunz, R. (Eds.), *Urban Climate Change Crossroads*. Urban Design Lab of the Earth Institute, Columbia University, New York.

Powe, N.A., Willis, K.G., 2004. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain. *J. Environ. Manage.* 70, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.11.003>

Publications Office of the European Union, 2015. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities : final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' : (full version).

Rizwan, A.M., Dennis, L.Y., Liu, C., 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environ. Sci.* 20, 120–128.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>

- Rogner, H.-H., Zhou, D., Bradley, R., Crabbé, P., Edenhofer, O., Hare, B., Kuijpers, L., Yamaguchi, M., 2007. Introduction. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)].
- Rouse, D.C., 2013. Green infrastructure: a landscape approach. American Planning Association, Chicago, IL.
- Rowe, B., 2018. Chapter 3.5 - Green Roofs for Pollutants' Reduction, in: Pérez, G., Perini, K. (Eds.), Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability. Butterworth-Heinemann, pp. 141–148. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00013-6>
- Rozbicki, T., Golaszewski, D., 2003. Analysis of local climate changes in Ursynów in the period 1960–1991 as a result of housing estate development, in: Proc. 5th Int. Conf. Urban Climate. pp. 455–458.
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., Assimakopoulos, D.N., 2001. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. Sol. Energy 70, 201–216. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00095-5](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00095-5)
- Scholz-Barth, K., 2001. Green Roofs: Stormwater Management From the Top Down. Environ. Des. Constr. Feature January/February 2001.
- Seto, K.C., Güneralp, B., Hutyra, L.R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proc. Natl. Acad. Sci. 109, 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. Environ. Pollut. 159, 2119–2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Taha, H., 1997. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. Energy Build. 25, 99–103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)
- TEEB, 2011. TEEB Manual for cities: ecosystem services in urban management.
- Tereshchenko, I.E., Filonov, A.E., 2001. Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. Int. J. Climatol. 21, 483–494. <https://doi.org/10.1002/joc.602>
- Toronto and Region Conservation Authority, Credit Valley Conservation Authority, Sustainable Technologies Evaluation Program, Aquafor Beech Limited, Schollen & Company, Dougan and Associates, Kidd Consulting, Center for Watershed Protection, Chesapeake Stormwater Network, 2010. Low impact development stormwater management planning and design guide. Version 1.0.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., James, P., 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. Landsc. Urban Plan. 81, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>

UNISDR, 2015. Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).

United Nations, 2012. World Urbanization Prospects. The 2011 Revision (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, New York).

United Nations, DESA Population Division, 2018. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.

United States Environmental Protection Agency, 2007. Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices.

Vos, P.E.J., Maiheu, B., Vankerkom, J., Janssen, S., 2013. Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environ. Pollut.* 183, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.021>

Wang, Y., Berardi, U., Akbari, H., 2016. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. *Energy Build.* 114, 2–19. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.046>

Weisz, H., Steinberger, J.K., 2010. Reducing energy and material flows in cities. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.010>

Wilson, E.O., 1984. Biophilia. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S., Wang, W., 2011. Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environ. Pollut.* 159, 2155–2163. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.009>

Yuan, J., Dunnett, N., 2018. Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. *Urban For. Urban Green.* 35, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.005>



Il progetto PROTERINA-3Èvolution è cofinanziato da Interreg Italia-Francia Marittimo 2014-2020, l'obiettivo generale del progetto è rafforzare la capacità di risposta del territorio al rischio alluvioni attraverso la "costruzione" della consapevolezza delle istituzioni e delle comunità.

Le projet PROTERINA-3Èvolution est cofinancé par le Interreg Italie- France Maritime 2014-2020, l'objectif global du projet est de renforcer la capacité de réponse du territoire face au risque d'inondation au travers du développement et du renforcement de la conscience du risque au sein des institutions et des communautés concernées.

Partenariato / Partenariat

Fondazione CIMA, Regione Liguria, Città Metropolitana Genova, Office Environnement Corse, Mairie d'Ajaccio, Service Départemental d'Incendie et de Secours de la Haute-Corse, Région Provence-Alpes- Côte d'Azur, Département du Var, Ville de Nice, Regione Autonoma della Sardegna, Regione Toscana, Consorzio LaMMA, Associazione Nazionale Comuni Italiani Toscana, Autorità di Bacino Settentrionale