



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGROFORESTALI

Corso di laurea in

RIASSETTO DEL TERRITORIO E TUTELA DEL PAESAGGIO

Curr. Paesaggio, Parchi e giardini

## **NBS per la gestione sostenibile dei deflussi di pioggia: un caso studio a Montegrotto Terme (PD)**

**Relatore:**

Prof.ssa Lucia Bortolini

**Laureanda:**

Anna Schiavo

Matricola: -1220898

Anno accademico 2021-2022

*“Non sottovalutare mai il problema,  
né la tua capacità di affrontarlo”*

*Robert H. Schuller*

*“Il valore di un’idea sta  
nel metterla in pratica”*

*Thomas Alva Edison*

*Alla mia famiglia,  
i miei amici  
e tutte le persone  
che hanno sempre  
creduto in me*

*“Nature-Based Solutions sono definite come azioni per proteggere, gestire in modo sostenibile e ripristinare ecosistemi naturali o modificati, che affrontano le sfide della società in modo efficace e adattivo, fornendo contemporaneamente benefici per il benessere umano e la biodiversità.”*

IUCN



Figura 1: simbolo NBS da IUCN

# Sommario

RIASSUNTO.....	5
ABSTRACT.....	6
PREMESSA.....	7
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>8</b>
1.1 Le risorse idriche: importanza e gestione.....	8
1.2 Ciclo delle acque meteoriche in ambiente urbano.....	9
1.3 NBS: Nature Based Solutions.....	14
<b>2 OBIETTIVI DELLA TESI .....</b>	<b>15</b>
<b>3. APPLICAZIONE DELLE NBS NEL COMUNE DI MONTEGROTTO TERME (PD)</b>	
3.1 Inquadramento territoriale.....	16
3.2 Criticità del territorio comunale .....	17
3.3 Tipologie di NBS applicabili nel comune di Montegrotto Terme .....	18
3.4 Un caso studio di applicazione progetto rain garden .....	27
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>38</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>40</b>

## Riassunto

Secondo il Global Risks Report (2019), la crisi idrica è una delle più gravi delle attuali minacce globali sia in termini di probabilità e impatto. Il 90% dei disastri sono in qualche modo collegati con l'acqua e il 50% dei serbatoi d'acqua sotterranei ha raggiunto un livello critico. Il concetto di resilienza sta diventando sempre più popolare; le persone stanno realizzando che i sistemi urbani nel loro complesso deve avere una sufficiente resilienza contro tali pericoli. Una città resiliente è quella che risponda a tutte le sfide correnti e future. La nozione di resilienza urbana è radicata nella capacità intrinseca delle città di riprendersi dai disastri. Secondo lo Stockholm Resilience Centre, "la resilienza è la capacità di affrontare il cambiamento e di continuare a svilupparsi". Il relativo concetto di adattamento si concentra sulla trasformazione di una città o dei suoi elementi in preparazione alle incertezze climatiche al fine di mitigare i loro effetti negativi.

Grandi quantità di acqua possono essere non solo un problema, ma anche un'opportunità per introdurre soluzioni innovative che renderanno le città più resilienti e trasformare il modo di pensare relativo all'acqua dal vederlo come un problema a percepirlo come una possibilità. L'alto tasso di urbanizzazione ha determinato un forte aumento della copertura impermeabile nel nostro territorio che ha raggiunto percentuali molto elevate della superficie urbana. Lo sviluppo urbano ha un impatto significativo sulle dinamiche idrologiche. Le superfici impermeabili riducono l'infiltrazione delle precipitazioni nel suolo aumentando il deflusso sia in termini di picco di portata che di volume. L'acqua piovana viene convogliata sempre più velocemente nelle reti di drenaggio, creando gravi problemi in caso di piogge abbondanti, come alluvioni locali, inondazioni fluviali, ecc.

Per far fronte a questa emergenza ambientale e idrologica, sono state studiate in questo progetto di tesi le soluzioni basate sulla natura conosciute come NBS che poi potranno essere applicate nel comune di Montegrotto Terme. Le soluzioni NBS sono azioni per proteggere, gestire in modo sostenibile e ripristinare gli ecosistemi naturali e modificati che affrontano le sfide della società in modo efficace e adattivo, a beneficio contemporaneamente delle persone e della natura. Questo concetto è emerso dalla ricerca di soluzioni innovative per gestire i sistemi naturali in un modo che si possa bilanciare i benefici sia per la natura che per la società. In altre parole, lavorando con la natura, piuttosto che contro di essa, le comunità umane possono sviluppare e implementare soluzioni per un'economia verde resiliente ed efficiente sotto il profilo delle risorse. Verrà descritto il comune di Montegrotto Terme, il luogo del caso studio di questa tesi, con i relativi rischi idrologici. Verranno poi analizzati e spiegati i vari tipi di NBS che possono essere utilizzati in questo luogo con le relative immagini dove potrebbero essere realizzati. Infine, viene presentato un progetto di giardino pluviale realizzato con Photoshop e il software Sketch Up dove vengono descritte e analizzate le diverse specie utilizzate.

## Abstract

According to the Global Risks Report (2019), the water crisis is one of the most serious of current global threats both in terms of probability and impact. 90% of the disasters are somehow connected with water and 50% of the underground water reservoirs have reached a critical level. The concept of resilience is becoming more and more popular; people are realizing that urban systems as a whole must have sufficient resilience against such dangers. A resilient city is one that responds to all current and future challenges. The notion of urban resilience is rooted in the inherent ability of cities to recover from disasters. According to the Stockholm Resilience Center, "resilience is the ability to cope with change and to continue to develop". The related concept of adaptation focuses on transforming a city or its elements in preparation for climatic uncertainties in order to mitigate their negative effects.

Large quantities of water can be not only a problem, but also an opportunity to introduce innovative solutions that will make cities more resilient and transform the way we think about water from seeing it as a problem to perceiving it as a possibility. The high rate of urbanization has resulted in a sharp increase in waterproof coverage in our area which has reached very high percentages of the urban surface. Urban development has a significant impact on hydrological dynamics. The waterproof surfaces reduce the infiltration of precipitation into the soil by increasing the flow both in terms of peak flow and volume. Rainwater is channeled faster and faster into drainage networks, creating serious problems in the event of heavy rainfall, such as local floods, river floods, etc.,

To cope with this environmental and hydrological emergency, the nature-based solutions known as NBS have been studied in this thesis project, which can then be applied in the municipality of Montegrotto Terme. NBS solutions are actions to protect, sustainably manage and restore natural and modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously benefiting people and nature. This concept has emerged from the search for innovative solutions to manage natural systems in a way that can balance the benefits for both nature and society. In other words, by working with nature rather than against it, human communities can develop and implement solutions for a resilient and resource efficient green economy. The municipality of Montegrotto Terme will be described, the place of the case study of this thesis, with the related hydrological risks. The various types of NBS that can be used in this place will then be analyzed and explained with the relative images where they could be made. In the end, a rain garden project made with Photoshop and the Sketch Up software is presented, where the different species used are described and analyzed.

## Premessa

Il drenaggio urbano sostenibile rappresenta un approccio di gestione delle acque meteoriche che ricadono sulle aree urbane, esso si pone l'obiettivo di cogliere tutte le opportunità e i benefici derivanti dalle acque di pioggia, sia nel presente che nel futuro. Si tratta quindi di una tipologia di approccio secondo cui l'acqua piovana viene considerata non più come un problema da "allontanare" il più in fretta possibile, bensì come una preziosa risorsa da cui trarre vantaggi sia per l'ambiente che per l'uomo.

Secondo il moderno concetto di resilienza, che significa rispondere con interventi per mitigare il cambiamento climatico, e di sostenibilità, ovvero garantire nel lungo periodo che il cambiamento attuato diventi adeguato al nostro stile di vita e alla salvaguardia e mantenimento del capitale naturale per le generazioni future, si sviluppa la pianificazione sostenibile che aspira a collegare la conoscenza della sostenibilità con le azioni per raggiungerla. La pianificazione sostenibile quindi si "implementa" o "rende operativo" i principi di sostenibilità nella teoria e nella pratica della pianificazione. Il raggiungimento di un equilibrio sostenibile dipende dal fatto che territori e città diventino più efficienti nella loro gestione ambientale e sensibilizzano i cittadini alla propria responsabilità. I piani urbanistici hanno quindi la responsabilità di assicurare soluzioni migliori di benessere e funzionalità della collettività. Si sviluppano i concetti di mitigazione e adattamento come due strategie nella lotta al cambiamento climatico. I campi di intervento della mitigazione mirano a mantenere più bassi possibili gli impatti del cambiamento climatico per esempio riducendo la domanda energetica e promuovendo l'uso di risorse rinnovabili; i campi di intervento dell'adattamento mirano ad aumentare la sensibilità e la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici per esempio evitando o riducendo l'esposizione ai rischi climatici progettando e realizzando infrastrutture verdi, accettare gli impatti e limitare le perdite che risultano dai rischi identificando e proteggendo infrastrutture critiche e catturando nuove opportunità come favorendo il turismo in alcune zone. La gestione integrata quali-quantitativa delle acque piovane, reflue è sempre più al centro delle politiche ambientali, sia a livello nazionale che internazionale. La crescita frenetica ed incontrollata delle superfici urbanizzate di molte città negli ultimi decenni, infatti, da una parte ha determinato un incremento della domanda di fornitura idrica che si contrappone ad una disponibilità della risorsa sempre più scarsa, dall'altra la difficoltà a gestire le acque meteoriche attraverso reti che dovrebbero essere continuamente adeguate alle nuove portate ed ai nuovi volumi di deflusso. Ad aggravare la situazione, vi sono i cambiamenti climatici che comportano una tendenza all'aumento della frequenza ed intensità degli eventi meteorici estremi, con il conseguente incremento del rischio idraulico. A fronte di questi cambiamenti, la tradizionale impostazione, mirata al rapido allontanamento dei deflussi verso i corpi ricettori, sta dimostrando di non essere più in grado di rispondere alle accresciute esigenze di salvaguardia idraulica dei territori. Le soluzioni tradizionali di drenaggio, che prevedevano l'allontanamento delle acque di pioggia attraverso l'incremento dell'estensione delle canalizzazioni, infatti, portano con sé la necessità di continui adeguamenti delle sezioni dei collettori principali e non fanno altro che trasferire i problemi dalle zone di monte a quelle di valle, con il conseguente aumento della vulnerabilità di quest'ultime. In assenza di una radicale revisione dell'approccio alla gestione del deflusso urbano, inoltre, neppure i dispositivi per la laminazione delle portate urbane e per il miglioramento della qualità delle acque, ormai inclusi negli approcci tradizionali e nelle normative vigenti, sembrano in grado di risolvere il problema, oltre a richiedere ingenti risorse economiche e ampi spazi che nei contesti urbani non sempre sono disponibili. La nuova visione della gestione delle acque pluviali, che sono considerate sempre più come una risorsa piuttosto che un problema, si sta orientando verso opere che permettano una laminazione localizzata e diffusa sul territorio, la eventuale depurazione delle acque di pioggia con sistemi naturali e il loro successivo riuso o dispersione nel suolo. Questo nell'ottica di far confluire nei corsi d'acqua e nelle falde parte della precipitazione meteorica, opportunamente controllata nella qualità, ai fini di renderla disponibile per l'approvvigionamento idrico, di contribuire al mantenimento dell'equilibrio idrologico e di aumentare la biodiversità anche in ambito urbano.

# CAPITOLO 1

## 1.1 Le risorse idriche: importanza e gestione

Le problematiche riguardanti l'acqua e la sua gestione hanno, da sempre, rappresentato un fattore decisivo per lo sviluppo della società. Infatti, non soltanto la nostra esistenza sulla Terra, ma anche tutte le attività antropiche, comprese quelle produttive ed economiche, dipendono completamente da questa risorsa. Per molto tempo si è pensato che l'acqua fosse un bene illimitato e come tale il suo utilizzo non dovesse venir tutelato, ma nella realtà non è così, poiché solo l'1% dell'acqua presente sulla Terra può venir utilizzata. La crescente urbanizzazione e cementificazione hanno determinato l'aumento delle superfici pavimentate a scapito delle aree permeabili, andando a modificare i naturali processi di ricarica delle falde acquifere sotterranee, da cui si effettua l'approvvigionamento di acqua potabile. Per questo ora ed in futuro diverrà sempre più importante cercare nuove tecnologie che ci permettano di preservarla. L'acqua è una risorsa molto abbondante sulla Terra, ma la gran parte di essa non è immediatamente disponibile per gli usi umani.

Dell'acqua presente negli oceani e nelle acque superficiali, una piccola parte è messa in moto dall'energia solare attraverso l'evaporazione e partecipa al ciclo dell'acqua, precipitando nuovamente al suolo. La gran parte di quest'ultima quota non costituisce risorsa idrica, in quanto evapora nuovamente, è intercettata dalla vegetazione, oppure defluisce verso il mare in breve tempo e non è dunque disponibile con continuità durante l'arco dell'anno. L'acqua precipitata al suolo e immagazzinata negli strati di terreno permeabili, i quali ne rallentano il deflusso verso il mare, rappresenta invece la risorsa idrica potenzialmente accessibile con continuità per gli usi antropici. Negli ultimi 20 anni la disponibilità d'acqua pro-capite è diminuita del 40% e analoga è la percentuale degli abitanti del globo che non fruiscono di un approvvigionamento idrico sufficiente. Facendo riferimento alla situazione dell'Unione Europea appare esemplificativo come i dati di un'area tra le più avanzate al mondo facciano trasparire dei problemi di scarsità e mala gestione di una risorsa universalmente riconosciuta come vitale. Mettendo meglio a fuoco la situazione del vecchio continente, se consideriamo complessivamente l'utenza industriale (15%), quella agricola (58%), quella domestica (15%) ed il restante (12%) per la produzione di energia, il fabbisogno idrico minimo dell'UE risulta essere di 5.000 metri<sup>3</sup> annui pro-capite; a fronte di questo, molte regioni europee non sono in grado di soddisfare queste richieste.

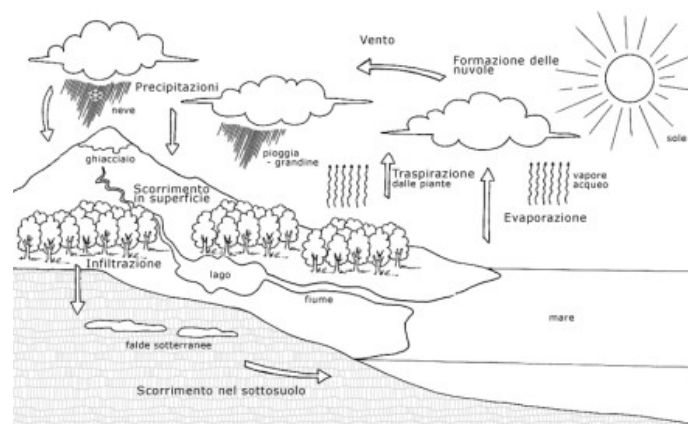
L'urbanizzazione spinta ha inoltre ridotto la naturale permeabilità del terreno attraverso la realizzazione di tetti e aree pavimentate le cui acque vengono convogliate e allontanate per mezzo di tubazioni o sistemi di canali. L'eliminazione della vegetazione o la sua notevole riduzione dalle aree urbanizzate ha determinato una riduzione della quantità d'acqua che s'infiltra nel terreno, un aumento dell'effetto erosivo e una minor percentuale di umidità nell'aria generata attraverso l'evapotraspirazione (insieme di traspirazione ed evaporazione). Ne deriva così una maggior frequenza di esondazioni fluviali e di allagamenti urbani per il superamento, nei momenti di punta, della capacità di raccolta e trasporto dei fiumi e delle condotte fognarie. Ne derivano irregolarità nei flussi e deflussi dei corsi d'acqua e degli invasi che comportano, nella stessa annata, delle inondazioni e periodi in cui l'offerta è insufficiente a soddisfare la domanda, tanto più che questa è esaltata in tali periodi dall'alta temperatura e dalla carenza di precipitazioni. Per questi motivi è importante che a livello italiano, europeo oltre che mondiale i paesi sviluppati che possiedono le tecnologie e i mezzi si impegnino per attuare delle politiche in merito alla



gestione delle acque in modo tale da evitare gli effetti negativi provocati da una gestione poco attenta e lungimirante di questa importante risorsa.

## 1.2 Ciclo delle acque meteoriche in ambiente urbano

Il ciclo idrologico o dell'acqua come tutti noi lo conosciamo è costituito da un insieme di passaggi che favoriscono la circolazione dell'acqua all'interno dell'idrosfera, includendo anche cambiamenti di stato fisico di questa. Questo importante processo viene attivato grazie all'energia termica fornita dal Sole la quale riscalda la massa d'acqua presente sulla Terra, provocandone l'evaporazione, a questo punto in seguito ad un fenomeno fisico chiamato sublimazione (passaggio dallo stato gassoso a quello liquido), l'acqua precedentemente evaporata torna allo stato liquido sotto forma di piccole gocce che danno origine alle nuvole, per poi ritornare sulla Terra sotto forma di precipitazione (piovosa, nevosa, grandine, rugiada, ecc.).



**Figura 1.1** Ciclo idrologico naturale

Una volta precipitata sulla superficie terrestre, quest'acqua attraverso il fenomeno dell'infiltrazione raggiunge le acque sotterranee andando, attraverso un movimento lento, a ricaricare le falde acquifere oltre ad alimentare i corsi d'acqua. In un ambiente naturale e dove vi sia la presenza di vegetazione, come ad esempio nelle foreste, la quantità d'acqua che defluisce per scorrimento superficiale è molto ridotta poiché buona parte di questa viene intercettata dalla vegetazione (foglie, rami, fusti), questo perché la maggior parte della precipitazione viene persa per evaporazione o è assorbita dal terreno. La frazione assorbita dal terreno dopo un tempo più o meno lungo, a seconda delle caratteristiche fisiche del suolo, raggiungerà le acque sotterranee le quali finiranno per alimentare le falde sotterranee. Nel caso di superfici non pavimentate e con vegetazione il deflusso superficiale è compreso tra lo 0 e il 20% della precipitazione totale. In ambiente urbano invece abbiamo una drastica riduzione della vegetazione e un grande aumento delle superfici pavimentate, le quali sono fornite di un sistema di drenaggio che allontana il più velocemente possibile le acque in eccesso, in questo caso a differenza dell'ambiente naturale si avrà che il deflusso superficiale è circa il 90% della precipitazione totale.

In Europa la maggioranza della popolazione (circa i tre quarti di essa) vive in aree urbane o suburbane che costituiscono circa il 10% della superficie totale del nostro continente.

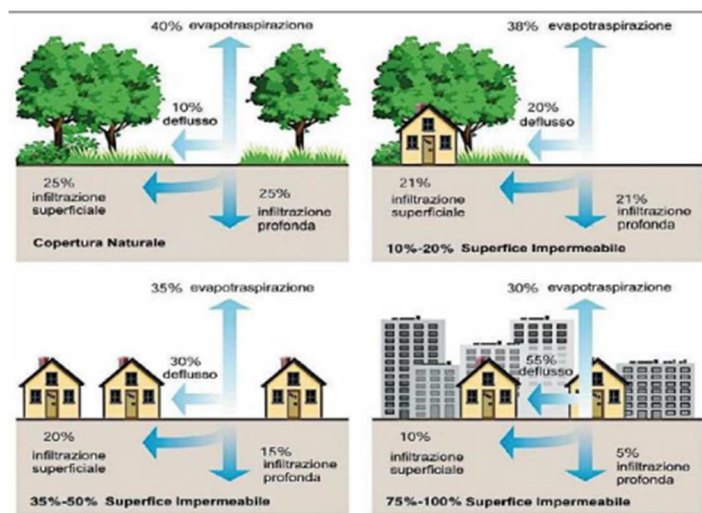
Nel 2009 una ricerca eseguita dall'EEA (European Environmental Agency) ha evidenziato che tra il 1990 e il 2000 più di 800.000 ettari di suolo naturalmente produttivo sono stati trasformati in superfici artificiali attraverso la realizzazione di edifici ad uso abitativo, uffici, fabbriche e infrastrutture, questo dato sommandosi al 6% delle aree urbane europee evidenzia una notevole riduzione del capitale naturale del

continente. La crescita delle aree urbane ha messo in luce che queste hanno un impatto non trascurabile sia sui corsi d'acqua naturali che sul ciclo idrologico. Lo sviluppo urbano determina un utilizzo intensivo dei terreni e delle risorse idriche nelle aree circostanti e influisce notevolmente sulla filtrazione delle acque sotterranee e sul mantenimento e salvaguardia delle aree umide, come ad esempio le paludi, nonché sulla biodiversità. In zone naturali in cui non ci sono superfici pavimentate avremo che il 50% della precipitazione s'infiltra nel terreno (il 25% superficialmente e il restante 25% in profondità) e si avrà che la quota persa per deflusso superficiale sarà del 10%, in zone mediamente urbanizzate la quantità d'acqua che s'infiltra (superficialmente e in profondità) si riduce del 15% mentre quella che viene persa a causa del deflusso superficiale raddoppia. Si può notare come all'aumentare dell'urbanizzazione corrisponde una riduzione sempre maggiore della quantità di precipitazione che riesce ad infiltrarsi nel terreno e un aumento del deflusso superficiale.

### **Conseguenze sulle aree urbane**

Questi volumi elevati di runoff, che non riescono ad infiltrarsi a causa dell'eccessiva impermeabilità superficiale, provocano una serie di effetti negativi, tra i quali possiamo annoverare:

- alterazione del regime idrico: i corsi idrici di prima raccolta delle acque meteoriche, derivanti dalle fognature di primo immagazzinamento, talvolta possono diventare dei torrenti in piena. Nel caso in cui vi siano periodi prolungati di siccità, si possono prosciugare per mancanza d'acqua proveniente dalle falde acquifere;
- sovraccarico della rete fognaria: in caso di precipitazioni eccezionali (>50mm/h), l'elevato deflusso superficiale derivante dall'impermeabilizzazione del suolo viene convogliato nelle reti fognarie le quali possono dimostrarsi mal dimensionate provocando la comparsa di rigurgiti sulle strade, generando inondazioni
- il ricarico delle falde acquifere si riduce: l'acqua proveniente da superfici pavimentate venendo convogliata nelle reti fognarie non riesce ad infiltrarsi nel terreno e questo determina una crescente difficoltà di ricarica delle falde acquifere sotterranee;
- inquinamento dei corsi d'acqua: il sistema fognario utilizzato per l'allontanamento delle acque meteoriche è di tipo misto, vi scorrono sia i deflussi sia le acque ad uso abitativo (acque nere, grigie, bianche), questi impianti non sono in grado di depurare gli elevati volumi d'acqua che vi affluiscono in caso di eventi piovosi intensi o di periodi prolungati di pioggia. Le acque che questi impianti non riescono a depurare vengono così immesse, previo trattamento meccanico o anche senza alcun trattamento, nei corsi d'acqua attraverso agli "scaricatori di piena" perciò avremo che sostanze inquinanti vengono immediatamente immesse nei corsi d'acqua minando gravemente gli ecosistemi vicini, oltre a determinare problemi igienico-sanitari. Questo riduce notevolmente sia la capacità di autodepurazione dei corsi d'acqua che la capacità tampone dell'intero sistema ad esso collegato. Anche se si adotta un sistema fognario separato, la possibilità che degli inquinanti finiscano nei corsi d'acqua è elevata se non vi sono appositi impianti per il trattamento delle acque meteoriche;
- peggioramento del microclima urbano: il rapido allontanamento delle acque meteoriche in eccesso dalle aree pavimentate riduce drasticamente la quantità d'acqua persa per evaporazione. Andando a ridurre l'umidità nell'aria dando origine al fenomeno delle isole di calore le quali rendono queste aree invivibili
- elevate spese di gestione/smaltimento delle acque meteoriche: gli elevati volumi d'acqua che possono transitare nel sistema fognario delle città portano alla progettazione e costruzione di reti fognarie di notevoli dimensioni con annessi impianti di depurazione (meccanica o chimica od entrambe) e di sistemi di stoccaggio che richiedono notevoli investimenti per la loro realizzazione e per la loro manutenzione nel tempo.



**Figura 1.2 Esempio degli effetti dell'impermeabilizzazione sulle componenti del bilancio idrologico. (Fonte: U.S. Environmental Protection Agency, mod)**

L'intenso sfruttamento del territorio dovuto alla costruzione di infrastrutture stradali, insediamenti urbani e zone industriali e artigianali ha alterato il paesaggio naturale, determinando una crescente impermeabilizzazione del suolo ed influenzando negativamente il ciclo naturale dell'acqua. In seguito al verificarsi di un evento di precipitazione, l'acqua che cade su una superficie naturale può essere assorbita all'interno del suolo (infiltrazione) o dalle piante (traspirazione), evaporare ed eventualmente giungere all'interno di un ruscello o di un fiume. I processi appena descritti delineano il cosiddetto "ciclo idrologico" e possono essere alterati nel caso in cui il suolo naturale sia modificato dallo sviluppo urbano. Infatti, nelle aree soggette all'urbanizzazione vi è una minor presenza di suolo permeabile, disponibile all'infiltrazione, e di piante, disponibili all'evapotraspirazione delle acque meteoriche. La maggior parte di queste ultime va quindi a defluire superficialmente e viene raccolta all'interno della rete fognaria. Infatti nel caso di superfici naturali, a copertura vegetale, prevalgono i processi di evapotraspirazione ed infiltrazione nel suolo, con eventuale ricarica della falda acquifera. Il deflusso superficiale invece risulta solitamente compreso fra lo 0% e il 20% del totale della precipitazione. Viceversa nel caso di superfici impermeabilizzate, come ad esempio tetti, strade o parcheggi, prevale il processo di deflusso superficiale, che va ad interessare oltre il 90% del totale della precipitazione. L'approccio tradizionale al drenaggio urbano consiste nel raccogliere tutti i deflussi meteorici dalle superfici impermeabilizzate, indipendentemente dal loro inquinamento. Questi ultimi vengono immessi all'interno della rete fognaria, un complesso di collettori generalmente sotterranei, trattati ed infine scaricati all'interno di un corpo idrico ricettore. Il sistema delineato è concepito allo scopo di salvaguardare la salute delle persone e prevenire fenomeni locali di allagamento, allontanando le precipitazioni dal punto di caduta il più velocemente possibile.

Gli effetti negativi appena indicati sono quindi legati al metodo tradizionale di gestione delle acque meteoriche e alla crescente impermeabilizzazione del suolo: all'interno del quadro delineato, è necessario tenere in considerazione anche il ruolo giocato dal cambiamento climatico.

Per sviluppo sostenibile si intende un processo di sviluppo che determini un aumento del benessere delle generazioni attuali senza pregiudicare quello delle generazioni future. Questo significa soddisfare i seguenti obiettivi:

- equità sociale;
- protezione efficace dell'ambiente;
- uso prudente delle risorse naturali.

A partire da questi punti sono state gettate le basi che hanno permesso di giungere ad una gestione sostenibile delle acque meteoriche conosciuta come NBS Nature Based Solutions. Questi sistemi di drenaggio se opportunamente progettati, costruiti e mantenuti sono un'ottima alternativa ai tradizionali metodi poiché, in grado di ridurre alcuni degli effetti negativi del deflusso superficiale delle acque meteoriche. Riescono a ottenere questi risultati attraverso la:

- Riduzione dei volumi di deflusso, riducendo così il rischio d'inondazioni;
- Riduzione dei volumi di deflusso supplementari e delle frequenze di deflusso che tendono ad aumentare a seguito dell'urbanizzazione determinando un aumento del rischio di alluvioni e riduzione della qualità dell'acqua;
- Favoriscono la ricarica naturale delle falde acquifere per ridurre al minimo l'impatto sulle falde acquifere e sui letti dei fiumi;
- Ridurre le concentrazioni d'inquinanti nelle acque piovane proteggendo così la qualità del corpo idrico ricevente;
- Funge da tampone per le fuoriuscite accidentali, evitando così lo scarico diretto di alte concentrazioni d'inquinanti nel corpo idrico ricevente;
- Riduzione del volume di deflusso superficiale dell'acqua di scarico per sistemi fognari combinati, riducendo così l'immissione di acque inquinate nei corsi d'acqua;
- Contribuire a un maggior confort e valore estetico delle aree urbanizzate;
- Fornire un habitat per la fauna selvatica nelle aree urbane e opportunità per la valorizzazione della biodiversità.

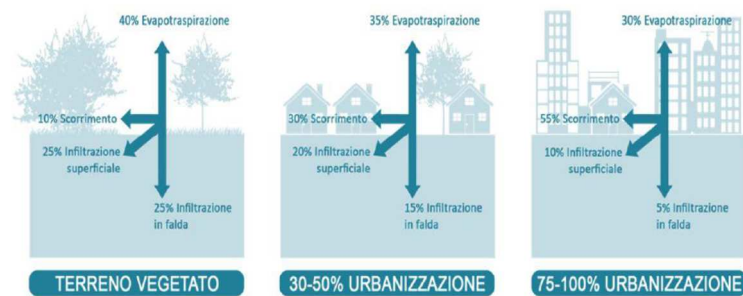
L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di gestire la quantità d'acqua piovana che giunge al suolo, riducendo così la probabilità che si verifichino allagamenti all'interno dei territori urbanizzati. Questa tipologia di gestione fornisce l'opportunità unica di sfruttare l'acqua piovana come una risorsa all'interno delle aree urbane. Si tratta di un punto di vista diametralmente opposto rispetto a quello tradizionale, secondo cui le acque meteoriche rappresentavano un disturbo e un rifiuto da rimuovere il più in fretta possibile. Cogliendo l'opportunità di immagazzinare il deflusso superficiale (in particolare dai tetti), una scorta d'acqua non potabile può essere utilizzata sia all'interno di un edificio, ad esempio per il risciacquo dei WC, sia all'esterno, ad esempio per l'irrigazione delle aree verdi.

L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha, inoltre, l'obiettivo di supportare la gestione del rischio di esondazione del corpo idrico ricevente, mantenendone il flusso di base e riducendo il rischio di erosione delle sponde e del letto. In questo modo ne viene preservata la morfologia e l'ecologia. Risulta quindi necessario innanzitutto gestire l'acqua piovana vicino al punto in cui cade ed effettuare poi un controllo sulla portata di deflusso superficiale rilasciata dal sito, ponendo particolarmente attenzione al picco di quest'ultima. Dal momento che le opportunità per l'infiltrazione all'interno delle aree urbane sono spesso limitate, appare

indispensabile effettuare degli interventi che permettano di controllare i volumi d'acqua piovana per eventi frequenti.

L'approccio di drenaggio urbano sostenibile ha l'obiettivo di supportare e proteggere gli habitat e le specie naturali autoctone. Infatti, il deflusso superficiale costituisce una risorsa non soltanto per l'uomo ma anche per l'ambiente: un regolare flusso d'acqua (se adeguatamente trattato) può aiutare a sostenere gli habitat che, in sua assenza, andrebbero a perdersi all'interno dell'ambiente urbano. Contribuisce sia all'incremento della biodiversità locale, sia alla connettività tra i diversi habitat, massimizzare la multifunzionalità del sito, andando a soddisfare esigenze anche contrastanti fra loro. Gli interventi all'interno delle aree urbanizzate devono essere considerati parallelamente alla necessità di infrastrutture verdi, al raggiungimento degli obiettivi di biodiversità e alla necessità di uno spazio che possa supportare lo stile di vita delle persone. In particolare, il rain garden e le aree di bioritenzione sono un eccellente esempio di interventi che possono essere integrati in un ampio range di componenti stradali, quali parcheggi su strada, marciapiedi, spazi per deposito di biciclette, stazioni di noleggio bici e aree di sosta dei pedoni. Inoltre, gli interventi di drenaggio urbano sostenibile possono sia giocare un ruolo significativo nel migliorare le caratteristiche estetiche di un ambiente urbano, sia fornire sistemi di gestione sicura delle acque meteoriche.

### Impatto urbanizzazione



**Figura 1.3: impatto dell'urbanizzazione (fonte: Gibelli et al., 2015)**

Oltre ai benefici esposti ai paragrafi precedenti, l'approccio di drenaggio urbano sostenibile va a supportare la resilienza e l'adattabilità dell'area urbana ai futuri cambiamenti climatici. Infatti in un ambiente densamente urbanizzato, gli scenari di cambiamento climatico potranno determinare periodi di scarsità d'acqua, che sarà quindi soggetta a controlli più stringenti e costi maggiori. Grazie all'approccio sostenibile, sarà quindi possibile raccogliere ed immagazzinare il deflusso superficiale, mettendo a disposizione una scorta d'acqua. Una parte vitale della strategia per rendere le città più resilienti ai futuri cambiamenti climatici e alla crescente urbanizzazione è rappresentata dal processo di ammodernamento che può essere attuato su di esse. Gli interventi di drenaggio sostenibile vanno a prevenire ogni possibile incremento nel rischio di allagamento all'interno delle nuove aree urbane mentre l'ammodernamento (e quindi l'inserimento di interventi di gestione sostenibile) vanno a ridurre il rischio già presente nelle aree urbane preesistenti. L'estensione e la tipologia di interventi che possono essere realizzati sono influenzati dalle specifiche caratteristiche del sito.

## 1.2 NBS: Nature Based Solutions

La gestione delle acque e del drenaggio urbano con Nature Based Solutions è fondata su un approccio multidisciplinare che, sfruttando i diversi servizi ecosistemici, utilizza soluzioni naturali integrate che permettono di migliorare la risposta idrologica del territorio urbanizzato e ottenere benefici aggiuntivi in termini di qualità delle acque, aumento della biodiversità e aumento della fruizione di aree pubbliche. Le principali tipologie analizzate riguardano sia la progettazione di interventi su strade, piazze e infrastrutture ad esse connesse che la riqualificazione di aree verdi e piccoli corsi d'acqua in area urbana e periurbana:

- **i canali vegetati** sono progettati per gestire una quantità di deflusso da una vasta area impermeabile, come un parcheggio o una strada; assorbono, immagazzinano e convogliano il deflusso delle acque superficiali, oltre a rimuovere inquinanti e sedimenti;
- **le trincee di infiltrazione** favoriscono l'infiltrazione dei volumi di runoff attraverso la superficie superiore della trincea e la loro successiva filtrazione nel sottosuolo attraverso i lati e il fondo della trincea;
- **le aree di bioritenzione** sono leggere depressioni del suolo ricoperte a verde, finalizzate alla raccolta e al trattamento delle acque meteoriche drenate dalle superfici impermeabili circostanti;
- **i filtri contenitori alberati** sono dei piccoli sistemi di biofiltrazione costituiti principalmente da tre elementi: un contenitore, normalmente in cemento e interrato, del terreno e una specie vegetale arborea o arbustiva;
- **i bacini di detenzione** sono spazi vegetati poco profondi, atti allo stoccaggio superficiale temporaneo e al controllo del flusso dell'acqua meteorica, gli stagni e zone umide sono bacini con uno specchio d'acqua permanente in cui vengono convogliate le acque di pioggia e possono raggiungere più obiettivi quali laminazione, trattamento delle acque di pioggia, aumento della biodiversità e delle potenzialità fruibili dell'area;
- **i sistemi di pavimentazioni permeabili** garantiscono il deflusso superficiale dell'acqua meteorica che permea nel terreno attraverso elementi modulari caratterizzati dalla presenza di vuoti o giunti che vengono riempiti con materiale permeabile, in modo da permettere l'infiltrazione delle acque di dilavamento.

## CAPITOLO 2

### 2. OBIETTIVI DELLA TESI

Lo studio mira a presentare alcune criticità del territorio di Montegrotto Terme dovute alla presenza di aree ad alta pericolosità idraulica per problemi alla rete di bonifica anche in prossimità di centri abitati, per le quali si propongono soluzioni basate sulla natura (Nature Based Solutions) per ridurre l'entità di queste criticità e i problemi di allagamento che si possono e si sono verificati nel comune.

In particolare, lo studio si concentra maggiormente sul rain garden, soluzione che ha una buona capacità di drenare l'acqua proveniente da eventi piovosi anche di elevata intensità, e altri benefici ecosistemici come l'aumento della biodiversità oltre a un elevato valore estetico. È una soluzione che si adatta facilmente al contesto urbano e periurbano, pubblico e privato e permette di migliorare la qualità visiva ed estetica del paesaggio apportando un benessere anche per la comunità. Se viene anche opportunamente pubblicizzato attraverso forme di divulgazione quali cartellonistica e anche nelle varie guide riguardanti il territorio e il Comune, può essere anche una fonte di approfondimento, consapevolezza e sensibilizzazione della comunità rispetto a queste tematiche ambientali e relative ai cambiamenti climatici oltre a costituire un punto di ritrovo e di aggregazione.

Questo progetto può anche risultare un'esternalità positiva e un beneficio per il settore turistico, molto presente nel territorio grazie alle numerose stazioni di ricezione termali e alberghiere presenti nel comune. Può presentare un elemento di modernità e avanguardia del Comune che dimostra la sua attenzione alla salute e benessere del cittadino e dell'ambiente circostante in cui vive.

## CAPITOLO 3

### 3.1 Inquadramento territoriale comune di Montegrotto Terme

Il territorio del comune di Montegrotto Terme (PD) si estende per 15,25 km<sup>2</sup> in posizione sud-ovest del capoluogo provinciale. Confina a nord con Abano Terme, a est con Due Carrare, a ovest con Torreglia e Galzignano e a sud con Battaglia Terme. La sua posizione geografica è al margine dei Colli Euganei ed è compreso ad est dal canale navigabile di Battaglia. Il territorio è notevolmente influenzato dall'esistenza delle terme, ha forte vocazione manifatturiera ancora in parte inserito in una struttura agricola e ricca di importanti emergenze e valenze storiche. È localizzato in una posizione altamente strategica grazie alla rete dei collegamenti ed alla vicinanza con il capoluogo di provincia si estende per il 60% in pianura e per il 40% in zona collinare nelle pendici orientali dei Colli Euganei.

Il comune di Montegrotto Terme si estende per il 60% su territorio pianeggiante e per il restante 40% in collina, caratterizzata da piccoli promontori isolati di origine vulcanica con altezze di qualche decina di metri e più ad ovest dalle pendici orientali dei Colli Euganei, con rilievi più importanti con altezze di qualche centinaio di metri. Il territorio pianeggiante negli anni '50 è stato interessato da subsidenza correlata al progressivo e intensivo sfruttamento delle acque del bacino termale. L'attuale sistema insediativo è la conseguenza dell'esplosione urbanistica del dopoguerra che avviene, anche per Montegrotto, in forma estremamente disordinata e modalità analoghe al resto dei comuni del Veneto. Nel febbraio del 2014 nella parte sud-ovest del comune si sono verificati allagamenti dovuti al cedimento di alcuni argini e alla successiva esondazione di alcuni canali.

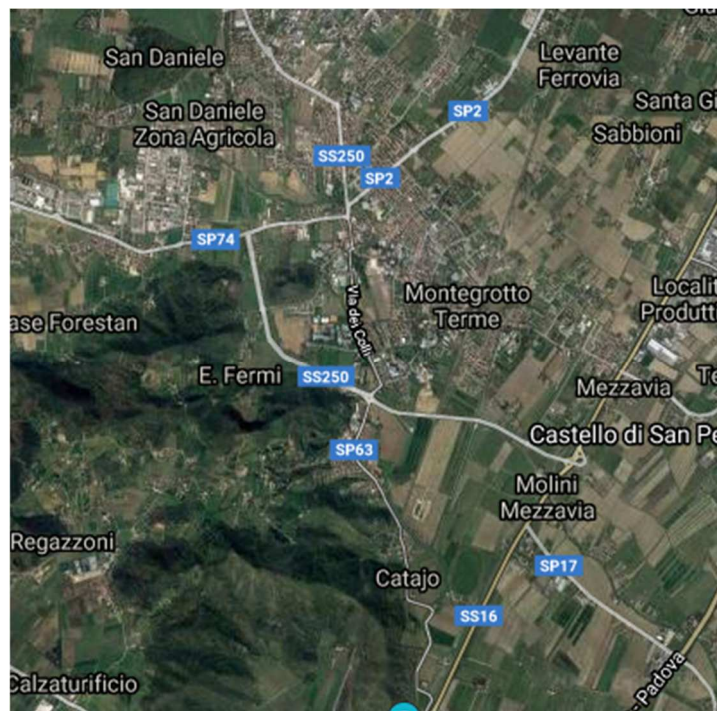


Figura 3.1: foto satellitare di Montegrotto Terme



## 3.2 Criticità del territorio comunale

Si sono indagate le criticità del comune all'interno della VAS del comune di Montegrotto Terme per analizzare i dati e proporre opere di mitigazione per tali criticità. Si è analizzato in particolare la criticità relativa al rischio idrogeologico e alla alta pericolosità idraulica perché si è verificata una importante alluvione nel febbraio del 2014 che ha interessato il comune. Per proteggere il territorio da futuri danni provocati da tali calamità sono state progettate e realizzate importanti opere di controllo e prevenzione di allagamenti. La ricerca delle criticità è stata svolta anche per proporre opere coerenti con una pianificazione sostenibile e rivolta alla mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Verifica delle Criticità - Rapporto Ambientale Preliminare e Approfondimento del QC - Montegrotto Terme				
COMPONENTI AMBIENTALI		CRITICITÀ	RAPPORTO AMBIENTALE PRELIMINARE	RAPPORTO AMBIENTALE (Approfondimento del QC, fra parentesi il cap. di riferimento)
	Fattori di rischio geologico e idrogeologico	Molteplici ed estesi fenomeni franosi nella parte dei Colli Euganei	SI	SI Vedi metodo mapOverlay Tav. 7 e cap 4.12 recepimento del parere del genio civile
		Presenza di aree ad alta pericolosità idraulica per problemi alla rete di bonifica anche in prossimità di centri abitati	SI	SI Vedi metodo mapOverlay Tav. 7 e cap 4.12 recepimento del parere del genio civile

**Figura 3.2: VAS e criticità del comune di Montegrotto Terme**

Le cause delle insufficienze evidenziate nel comune dal punto di vista del rischio idrogeologico dalle indagini sono molteplici, ma possono essere sostanzialmente ricondotte ai seguenti punti:

1) Scarico condizionato dal livello dei fiumi.

Lo scarico delle acque della porzione di valle del bacino (Montegrotto Terme e parte dei territori comunali di Abano Terme e Torreglia) è fortemente condizionato dal livello dell'acqua raggiunto dai corpi idrici ricettori.

2) Insufficienza della rete idraulica di bonifica.

Nel bacino Colli Euganei le notevoli trasformazioni del territorio, conseguenti all'espansione delle aree urbane degli ultimi decenni, ha comportato un aumento degli apporti alla formazione delle piene delle aree pianeggianti che vanno ad aggiungersi al rapido deflusso delle acque delle pendici collinari. Nell'adeguamento della rete di bonifica occorre favorire l'invaso delle acque piuttosto che il loro rapido allontanamento per non trasferire a valle i problemi idraulici.

3) Insufficienza della rete delle fossature private.

Nel bacino Colli Euganei ci sono aree che a causa delle trasformazioni del territorio conseguenti all'urbanizzazione e alle precarie condizioni delle fossature private, presentano notevoli difficoltà di deflusso. L'adeguamento della suddetta rete minore deve essere realizzato senza aggravare ulteriormente la rete di valle.

4) Regimazione dei deflussi collinari.

Nel bacino ricadono anche le pendici nord-orientali dei Colli Euganei. Nelle aree collinari gli eventi meteorici intensi e consistenti evidenziano la necessità di regimare correttamente le acque in modo da evitare gli allagamenti delle zone alle pendici dei colli, prevenire i movimenti franosi e contenere il trasporto solido.

### 3.3 Tipologie di NBS applicabili nel comune di Montegrotto Terme

Le soluzioni basate sulla natura (NBS) utilizzano gli ecosistemi e i servizi che questi forniscono per affrontare sfide sociali come il cambiamento climatico, la sicurezza alimentare o le catastrofi naturali. IUCN definisce NBS come: "Azioni per proteggere, gestire in modo sostenibile e ripristinare gli ecosistemi naturali o modificati che affrontano le sfide della società in modo efficace e in modo adattivo, fornendo contemporaneamente benefici per il benessere umano e la biodiversità."

Per il comune di Montegrotto Terme sono state individuate le seguenti NBS:

- Canali vegetati (Swales)
- Aree di bioritenzione vegetata (Bioretention systems)
- Filtri contenitori alberati (Tree box filter)
- Pavimentazioni permeabili (Pervious pavements)
- Bacini di detenzione (Detention basins)
- Giardino pluviale (Rain garden)

#### Canali vegetati (Swales)

Si tratta di aree depresse o di avvallamenti posizionati a lato delle superfici impermeabilizzate, interamente coperte da vegetazione erbacea dove l'acqua non è sempre presente. Servono ad intercettare, smaltire e infiltrare le acque meteoriche drenate da superfici impermeabilizzate, rallentando il deflusso e provvedendo ad una minima rimozione degli inquinanti. L'efficienza di queste strutture dipende dal tipo di suolo utilizzato, dalle dimensioni, dall'inclinazione e dalle condizioni della superficie del suolo. Il drenaggio può essere aumentato installando nella parte centrale un dreno.

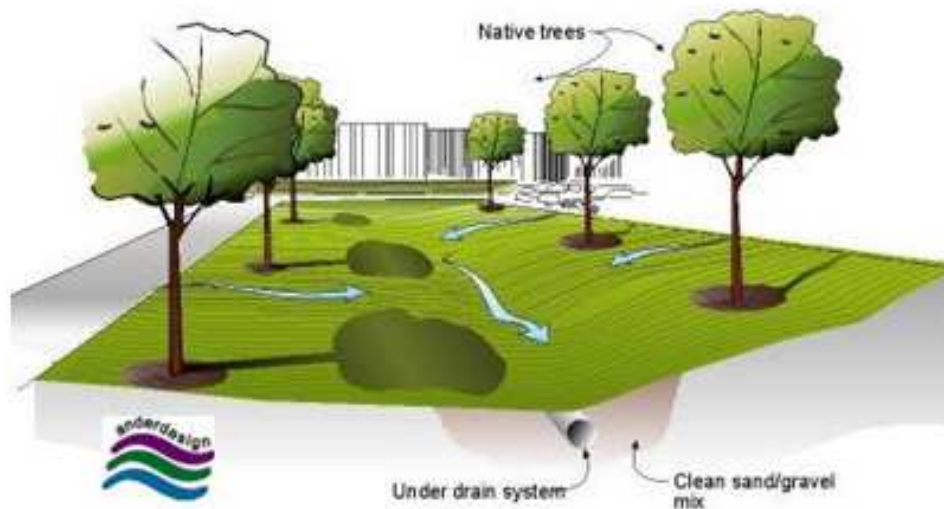
È una soluzione facilmente inseribile nel contesto urbano e che richiede una minima manutenzione delle specie, la rimozione periodica di detriti oltre alla gestione di eventuali problemi di scorrimento o di intasamento che sono, però, facilmente individuabili. Le dimensioni variano a seconda delle necessità (ad esempio dalla portata idraulica), del contesto, della disponibilità di spazio e del grado di inserimento paesistico e di multifunzionalità prefissati. Si adattano bene in ambiti urbani e periurbani in insediamenti residenziali o produttivi e in parcheggi. Vengono creati per la riqualificazione, recupero e valorizzazione dei margini, come valore estetico e percettivo e come incremento della biodiversità.

#### VANTAGGI

- efficacia nel rimuovere sedimenti grazie all'azione di filtraggio esercitata dalla vegetazione
- riduzione del volume delle acque di dilavamento
- contributo alla riduzione di superfici impermeabili
- contributo alla rinaturalizzazione del contesto in cui vengono inseriti
- possibilità di riduzione dell'estensione rete fognaria bianca

#### SVANTAGGI

- Rischio di erosione se non correttamente progettati
- in zone residenziali, possibile creazione di problemi derivanti dall'acqua stagnante se non correttamente progettati



**Figura 4.1 Canali vegetati: schema di funzionamento (da [www.sudswals.com](http://www.sudswals.com))**

### **Are di bioritenzione vegetata (Bioretention systems)**

Le aree di bioritenzione sono leggere depressioni del suolo ricoperte a verde, finalizzate alla raccolta e al trattamento delle acque meteoriche drenate dalle superfici impermeabili circostanti mediante filtrazione e rimozione degli agenti inquinanti. Questi sistemi permettono quindi un filtraggio e una depurazione del tutto naturale dell'acqua raccolta con ottime rimozioni dei principali inquinanti veicolati dalle acque di pioggia di dilavamento. Hanno un effetto benefico anche in termini di riduzione del rischio idraulico, aumento della biodiversità, oltre a poter essere utilizzate come elemento di arredo urbano.

Sono strutture vegetate che consentono la gestione dei quantitativi di deflussi d'acqua e la loro qualità attraverso il controllo dei detriti e delle sostanze inquinanti. I bioretention sono costituiti da depressioni vegetate che raccolgono il deflusso, ne facilitano l'accumulo e l'infiltrazione nel terreno, favoriscono la percolazione in profondità verso la falda sottostante e la filtrazione dell'acqua per migliorarne la qualità. Si tratta di sistemi biologici filtranti il cui principio di utilizzo è stato utilizzato fin dall'antichità in pratiche agricole di trattamento delle acque reflue, per la conservazione di nutrienti e per la trasformazione di sostanze inquinanti. Queste strutture catturano il flusso delle acque piovane e lo filtrano attraverso un substrato creato artificialmente mescolando sabbia, compost e terreno; solo quando i quantitativi di deflusso che raggiungono il bacino di bioritenzione sono superiori alla capacità di infiltrazione del mezzo oppure quando il terreno è saturo si assiste alla formazione di una pozzanghera d'acqua piovana. L'infiltrazione può essere aumentata utilizzando materiale sabbioso nello strato filtrante, mentre l'allontanamento dell'acqua dagli strati più profondi può essere favorito con l'uso di dreni posizionati su ghiaia. Alcuni dei processi che possono aver luogo in tali strutture includono sedimentazione, adsorbimento, filtrazione, volatilizzazione, scambio ionico, decomposizione, fitodepurazione, bioremediation (biorisanamento) e invaso superficiale. Ma non bisogna dimenticare un altro processo molto importante che avviene in queste infrastrutture e che consente il ripristino del ciclo naturale dell'acqua, esaltando quella che è una delle finalità della gestione in-situ dei deflussi, ovvero la restituzione in atmosfera dell'acqua attraverso il processo di evapotraspirazione. Tutti i bacini di bioritenzione sono progettati per simulare i processi che si verificano in un ambiente non antropizzato, riproducendo ciò che avviene in un'area naturale con vegetazione.

#### **VANTAGGI**

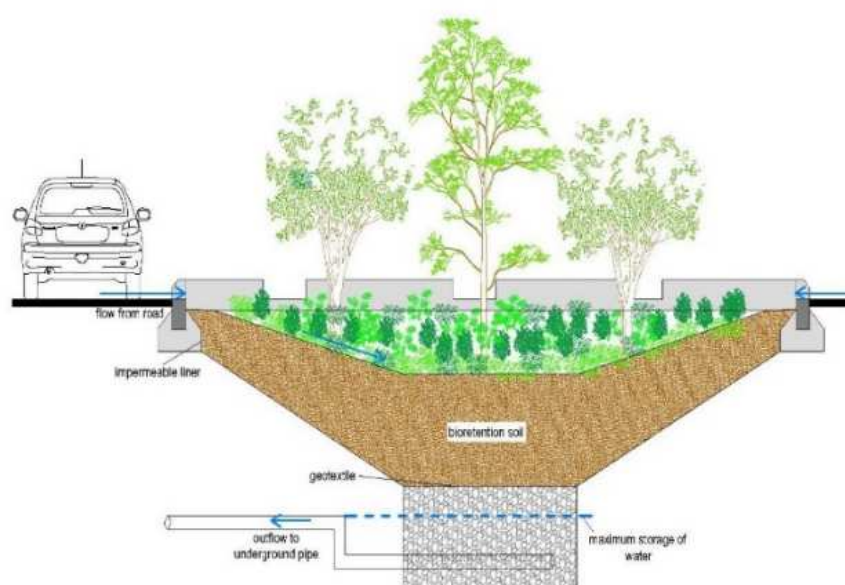
- Alta capacità di rimozione degli inquinanti
- richiede poca manutenzione
- riduzione del volume e della portata di picco

- riduzione del tempo di corrivazione
- Potenziale elemento di arredo urbano
- Aumento biodiversità
- Riduzione isole di calore

#### SVANTAGGI

- Richiede superfici piuttosto elevate
- Suscettibile di intasamento se il paesaggio circostante non è gestito

Per mantenere nel tempo l'elevata permeabilità dell'infrastruttura, sono di fondamentale importanza la presenza di specie vegetali erbacee rustiche come, per esempio, alcune varietà di *Festuca arundinacea*, *Lolium Perenne* e *Poa pratensis*. I bacini di bioritenzione possono anche essere utilizzati nell'ambito di singoli edifici ed abitazioni, quindi, con una progettazione più semplice e un minore numero di componenti previsti.



**Figura 4.2 Sezione di area di bioritenzione vegetata (Priari, 2018).**



**Figura 4.3 esempio di area di bioritenzione vegetata ([developersguide.njfuture.org/bmp/bioreten-tion-system/](http://developersguide.njfuture.org/bmp/bioreten-tion-system/))**

## **Filtri contenitori alberati (Tree box filter)**

Sono delle strutture contenitive al cui interno viene collocato un piccolo albero o arbusto, coperte in superficie con una grata metallica transitabile, riempite utilizzando particolari miscele di substrati e altri materiali filtranti. Il loro impiego è maggiormente concentrato nelle aree urbane lungo le strade per garantire un efficace controllo dei deflussi di pioggia, anche qualitativo grazie all'azione filtrante della vegetazione e del mezzo di coltivazione. La scelta delle piante deve essere ben accurata, perché esse devono sopravvivere all'alternarsi di situazioni di ristagno e di siccità, ma allo stesso tempo devono avere un apparato radicale non troppo invasivo. Si tratta di una soluzione che viene utilizzata per le alberature stradali e dei viali di qualsiasi dimensione. I moduli sono riempiti con un terreno molto drenante e verranno piantati fiori e piante erbacee. La struttura è flessibile, scalabile e ogni unità si impila insieme per essere una soluzione conveniente e facile da installare. L'installazione è semplice e veloce. Il box può essere realizzato con vari materiali (plastica, calcestruzzo, acciaio) e deve essere in grado di supportare i carichi statici e dinamici a cui possa essere soggetto il box, prevenendo il compattamento del materiale di riempimento.

La scelta delle specie dipende da componenti sia tecniche che di tipo estetico, paesaggistico e fruttive. In generale, le caratteristiche desiderate per questi sistemi sono:

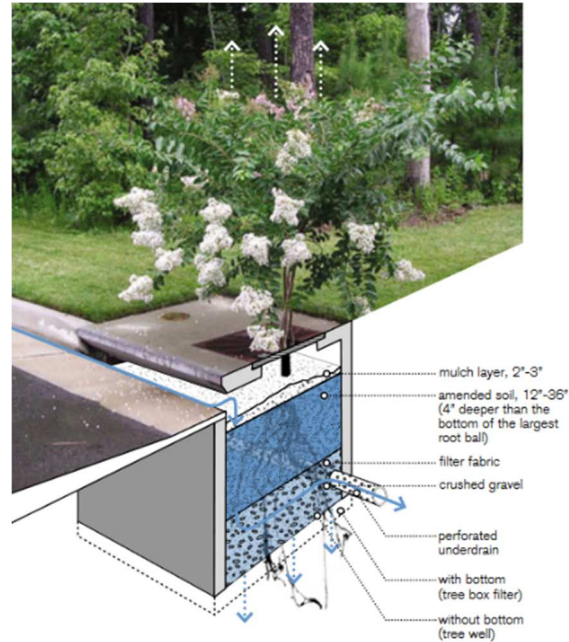
- chioma ben sviluppata
- lunga aspettativa di vita
- crescita rapida
- tolleranza a periodi di siccità
- tolleranza a brevi periodi di allagamento
- resistenza agli inquinanti presenti nelle acque e nell'aria in ambiente urbano
- esteso sviluppo radicale
- corteccia ruvida
- fogliame opaco
- rami a sviluppo verticale
- tolleranza a acque saline (in caso di posizionamento in aree a rischio di gelo invernale, per il sale usato sulle strade)

### **VANTAGGI**

- riduzione del volume di deflusso delle acque piovane, intercettate dalla chioma
- miglioramento della qualità delle acque
- aumenta l'infiltrazione delle acque sotterranee e di ricarica
- fornisce un controllo locale dei fenomeni di inondazioni
- richiede uno spazio limitato, è di facile installazione e richiede una bassa manutenzione
- Riduzione isole di calore
- Elemento di arredo urbano
- Riduzione del rumore
- Aumento biodiversità
- Riduzione CO2 in ambiente urbano

## SVANTAGGI

- la manutenzione sarà maggiore nel primo periodo post realizzazione, allo scopo di permettere l'attecchimento della pianta
- ricezione di piccoli volumi di acqua; pertanto, non adatta a gestire eventi di notevole intensità.



**Figura 4.4: Schema di filtro contenitore alberato (Huber, 2010).**



**Figura 4.5: Esempi di box in plastica con materiale drenante e vegetazione**

## Pavimentazioni permeabili (Pervious pavements)

Superfici dotate di elevata permeabilità che consentono una rapida infiltrazione dell'acqua, riducono il volume di ruscellamento intrappolando e rilasciando lentamente le precipitazioni nel terreno. Con questi sistemi l'acqua in superficie penetra attraverso gli spazi vuoti presenti tra il lastricato, per poi essere trattenuta dallo strato di ghiaia sottostante e in seguito percolare nel terreno. Le superfici permeabili

riescono a ridurre o eliminare la necessità di reti di drenaggio sotterraneo. I lastricati permeabili facilitano anche il rifornimento della falda e ostacolano l'instaurarsi di processi erosivi superficiali o di sponde di bacini. Può essere prevista la presenza di erba nelle fughe o nelle celle aperte (grigliati in calcestruzzo e plastica). Le pavimentazioni permeabili possono favorire lo sviluppo di un buon apparato radicale per gli alberi che beneficiano della disponibilità di maggior apporti idrica e maggiore circolazione d'aria.

Comprendono masselli, calcestruzzi e asfalti porosi, grigliati plastici o in calcestruzzo, pietre o altri elementi posati con fughe larghe inerbite o riempite con sabbia o ghiaia, che possono drenare le acque di pioggia che cadono direttamente ma anche quelle provenienti da superfici impermeabili limitrofe (anche da pluviali). Possono ridurre la concentrazione di alcuni inquinanti fisicamente (intrappolandoli nella pavimentazione o nel suolo), chimicamente (batteri e altri microbi possono abbattere e utilizzare alcuni inquinanti) o biologicamente (con le piante che crescono tra alcuni tipi di lastricati). Rallentando il processo, le pavimentazioni permeabili possono raffreddare la temperatura del deflusso urbano, riducendo l'impatto sull'ambiente e contribuendo all'abbattimento dell'isola di calore. Tra l'altro, è stata osservata (Houle et al., 2009) una ridotta necessità di applicare sale stradale per lo sbrinamento nel periodo invernale.



**Figura 4.6: Esempi di pavimento permeabile**

#### VANTAGGI

- riduzione della superficie impermeabile di un sito
- riduzione del volume delle acque di dilavamento
- mantenimento delle falde acquifere in quanto alimentate in modo più naturale, adeguato e costante
- eliminazione riduzione di fenomeni di ruscellamento superficiale con benefici in termini di sicurezza stradale durante gli eventi meteorici

#### SVANTAGGI

- se utilizzati per parcheggi con alta frequenza diurna difficile mantenimento del manto erboso, a causa della mancanza di luce e dell'irradiazione di calore dalla parte inferiore delle autovetture
- possibilità di "cementificazione" delle aree adibite all'infiltrazione a causa dell'intasamento dei materiali di riempimenti per l'accumulo dei solidi sospesi convogliati dalle acque di dilavamento o per via del carico veicolare, con conseguente riduzione significativa della capacità di infiltrazione.

#### **Bacini di detenzione (Detention basins)**

I bacini di detenzione delle acque meteoriche sono piccoli invasi progettati per trattenere temporaneamente le acque di pioggia e svuotarsi lentamente. In condizioni di tempo asciutto i bacini di detenzione si svuotano completamente e restano quindi asciutti. Svolgono sia la funzione di regolare il deflusso superficiale, sia quella di permettere la sedimentazione dei solidi sospesi presenti nelle acque di prima pioggia; pertanto, devono essere dimensionati per assolvere ad entrambe tali funzioni.

La selezione delle piante va fatta scegliendo preferibilmente le specie autoctone, ma anche altre specie ornamentali che comunque siano adatte alle particolari condizioni idriche che si instaurano in questo tipo di aree vegetate. Infatti, tutte le piante devono essere resistenti a condizioni di stress idrico e a brevi periodi di

sommersione. In particolare, si possono distinguere tre zone: zona centrale in cui vi è il punto di massima profondità e che resta più a lungo bagnata dopo un evento piovoso, in cui sono adatte specie che tollerano il ristagno prolungato, o tendenzialmente specie igrofile, che amano l'umidità del terreno; zona intermedia, in cui le condizioni di ristagno sono presenti per un tempo minore dopo un evento piovoso, in cui si adattano le specie che possono tollerare condizioni intermedie, da terreno bagnato a semi asciutto nel medio-lungo periodo, avendo un'ampia adattabilità pedoclimatica; zona esterna, che rappresenta la fascia più distale dal punto di massima profondità, che riceve la minor quantità di acqua defluita e il substrato presente tende a rinsecchire più velocemente, in cui le specie adatte a sopravvivere sono tendenzialmente da mesofile a xerofite (che tollerano situazioni di limitata presenza di acqua).

#### VANTAGGI

- riceve una vasta gamma di eventi di pioggia
- buona riduzione del flusso di picco
- sistema semplice da progettare e costruire
- richiede poca manutenzione

#### SVANTAGGI

- profondità di detenzione limitate ai livelli di ingresso e uscita del sistema
- interventi estensivi che richiedono un'ampia area



**Figura 4.7: Esempio di bacino di detenzione ([www.sudsdrain.com](http://www.sudsdrain.com))**

#### Rain Garden

In generale per rain garden si intende un avvallamento o depressione (naturale o artificiale) che raccoglie l'acqua di ruscellamento, ossia l'acqua che viene raccolta da tetti, strade, marciapiedi e altre superfici urbane impermeabili o semipermeabili. Questo avvallamento, e gli strati sotto la superficie, permettono un parziale o totale smaltimento dell'acqua in un sistema di drenaggio sotterraneo (e spesso anche il suo riciclo/riutilizzo ai fini irrigui). Ma con il termine rain garden viene indicato anche un tipo di progetto con uno strato di "vivente" che permette di filtrare sostanze inquinanti, pesticidi, fertilizzanti, ecc., portati dal deflusso delle acque, prima di entrare negli scarichi: infatti, è stato stimato che fino al 70% dell'inquinamento nei fiumi e nei laghi proviene dalla pioggia che "lava" le aree urbane. È per questo che taluni indicano sistemi più complessi di rain garden come "bioretention" (laghetti, aree ai margini di strade/ferrovie, giardini e così via): spazi verdi che vengono utilizzati per "ripulire" l'acqua di ruscellamento.



#### VANTAGGI

- efficacia nel rimuovere sedimenti grazie all'azione di filtraggio esercitata dalla vegetazione
- riduzione del volume delle acque di dilavamento
- contributo alla riduzione di superfici impermeabili
- contributo alla rinaturalizzazione del contesto in cui vengono inseriti
- possibilità di riduzione dell'estensione rete fognaria bianca

#### SVANTAGGI

- Rischio di erosione se non correttamente progettati
- in zone residenziali, possibile creazione di problemi derivanti dall'acqua stagnante se non correttamente progettati

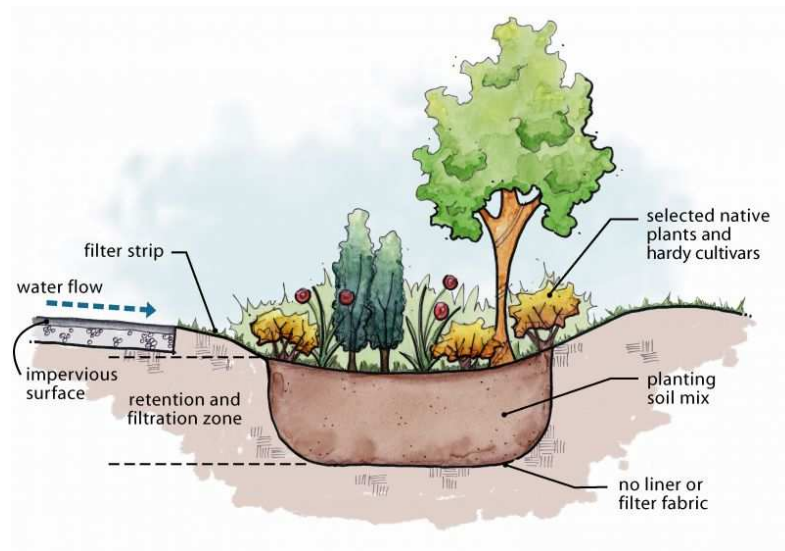


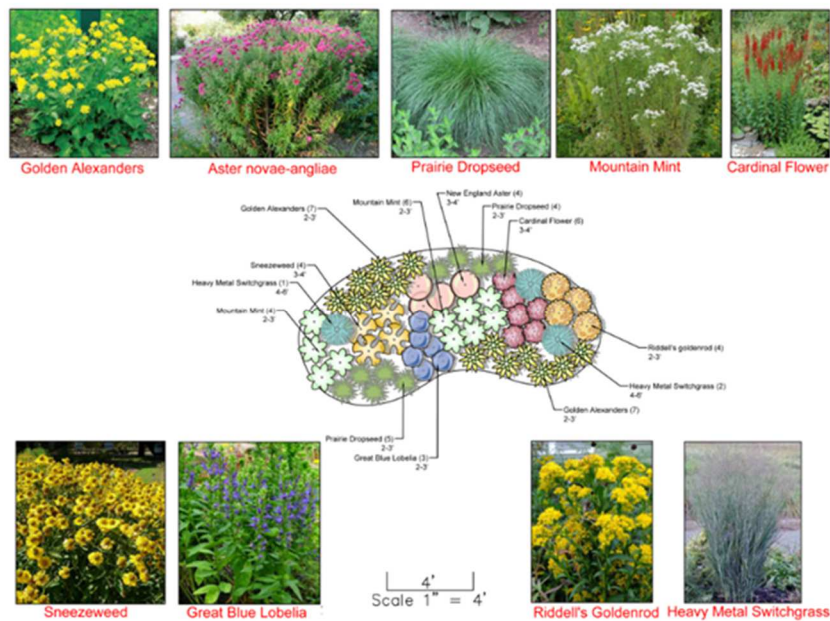
Figura 4.8: Sezione e schema di funzionamento di un rain garden ([www.betterground.org](http://www.betterground.org))



Figura 4.9: rain garden lungo strada e all'interno di un parco



**Figura 4.10** rain garden lungo vialetto residenziale



**Figura 4.11:** esempio di progettazione di un rain garden

La selezione delle piante va fatta scegliendo preferibilmente le specie autoctone, essendo adatte a vivere nelle condizioni locali per clima, suolo ed ecosistema. Naturalmente, data la caratteristica ornamentale del rain garden, si possono scegliere anche piante non autoctone ma adatte alle particolari condizioni del giardino pluviale. Tutte le piante dovranno essere resistenti a condizione di stress idrico e a brevi periodi di sommersione. In particolare, si possono distinguere tre zone:

1. Zona in cui vi è il punto di massima profondità, resta più a lungo bagnata dopo un evento piovoso; per questa zona sono adatte specie che tollerano il ristagno prolungato, o tendenzialmente specie igrofile, che amano l'umidità del terreno.
2. Zona in cui le condizioni di ristagno sono presenti per un tempo minore dopo un evento piovoso, e perciò si ha una condizione di umidità del terreno mediamente prolungata nel tempo; le specie adatte a questa zona devono poter tollerare delle condizioni intermedie, da terreno bagnato a semi asciutto nel medio-lungo periodo, avendo un'ampia adattabilità pedoclimatica.
3. Zona che rappresenta la fascia più distale dal punto di massima profondità sarà quella che riceverà la minor quantità di acqua defluita e il substrato presente tenderà a rinsecchire più velocemente. Le specie adatte a

sopravvivere in questa fascia marginale sono tendenzialmente da mesofile a xerofite, che tollerano di vivere in situazioni di limitata presenza di acqua. Quando si scelgono le piante è importante considerare l'altezza di ogni pianta, il periodo di fioritura, il colore e la sua struttura complessiva. È bene utilizzare piante che fioriscono in tempi diversi per creare una lunga stagione floreale, mescolare le altezze, le forme e i vari texture per dare profondità e forma al giardino.

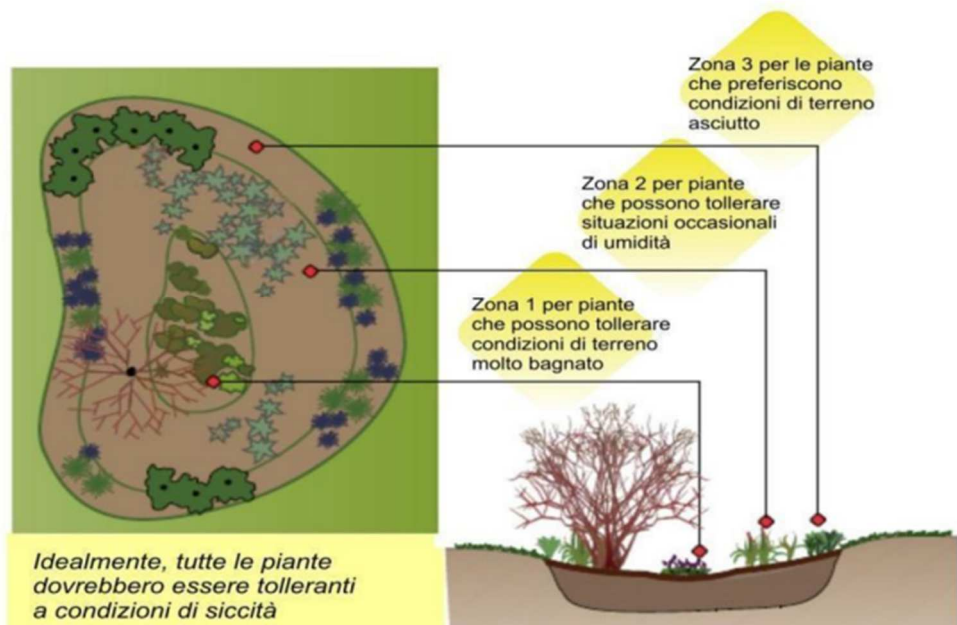


Figura 4.12: le tre zone del rain garden (Bortolini, 2022)



Figura 4.13: Esempi di specie per rain garden (da Piano del Verde di Padova, 2022)

### 3.4 Un caso studio di applicazione progetto rain garden

La seguente rappresentazione satellitare del comune di Montegrotto Terme con segnati i punti mostra dove verranno posizionate le NBS precedentemente descritte. Le aree sono state scelte considerando la superficie disponibile ad ospitare una soluzione NBS, zone più soggette a periodici fenomeni di allagamento e difficoltà di allontanare l'acqua piovana in eccesso per presenza di superfici impermeabili o terreni poco drenanti di tessitura argillosa, zone dove frequentate dai residenti e turisti.

Nei punti segnati in giallo si propone l'inserimento di NBS come canali vegetati, filtri contenitori, bacini di detenzione, pavimentazioni permeabili. Nel punto segnato in rosso è stato individuato come possibile inserimento di un rain garden, su cui si concentra di più l'attenzione della mia tesi.



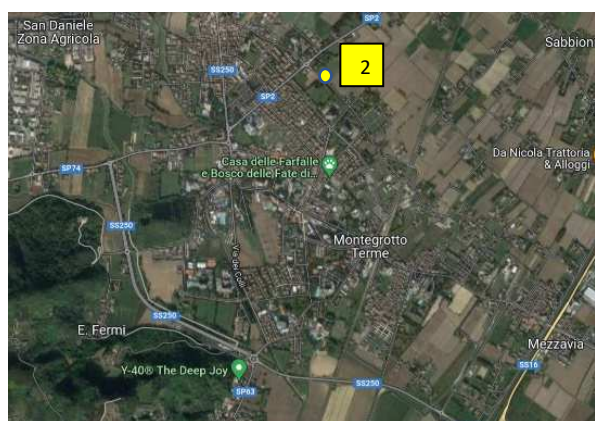
**Figura 5.1: Mappa del comune con segnati i punti delle soluzioni NBS**

**Leggenda**

1. Giardino pluviale (Rain garden)
2. Canali vegetati (Swales)
3. Aree di bioritenzione vegetata (Bioretention systems)
4. Filtri contenitori alberati (Tree box filter)
5. Pavimentazioni permeabili (Pervious pavements)
6. Bacini di detenzione (Detention basins)

Inizierò da una breve descrizione delle altre NBS per poi tornare al rain garden.

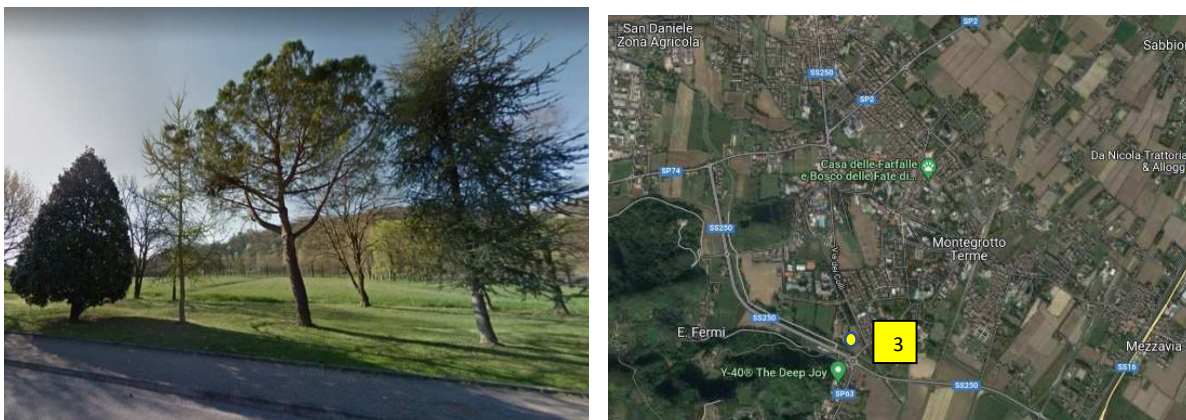
**Canali vegetati:** Il luogo scelto per la realizzazione dei canali vegetati si trova in via Roma, strada provinciale (SP2) che conduce a Padova, è una zona molto trafficata del comune e quindi soggetta al passaggio di molte persone e turisti che possono avere un maggior beneficio del luogo se vengono utilizzate piante con una fioritura copiosa e abbondante inserendo specie diverse che creano interesse per diversi periodi dell’anno.



**Figura 5.2: area 2 della legenda, zona dove potrebbero essere inseriti i canali vegetati**

**Area di bioritenzione vegetata:** Il luogo scelto per la realizzazione dell’area di bioritenzione vegetata si trova in una zona poco frequentata vicino ad un albergo, in via San Pio X, ed è un’ampia zona a prato con due filari di alberi e può essere inserita per raccogliere le acque piovane in eccesso che si accumulano sul manto

stradale presente ed è stato scelto questo luogo per migliorare la valorizzazione dell'area e aumentare la fruibilità dello stesso.



**Figura 5.3: area 3 della legenda, zona dove potrebbe essere inserita la bioritenzione vegetata**

Filtri contenitori alberati: Il luogo scelto per la realizzazione del viale con gli alberi posizionati sui contenitori filtranti si trova nella strada statale (SS250) in via Caposedà; si tratta di una zona soggetta a difficoltà di allontanamento delle acque superficiali a causa dello frequente malfunzionamento della rete fognaria.



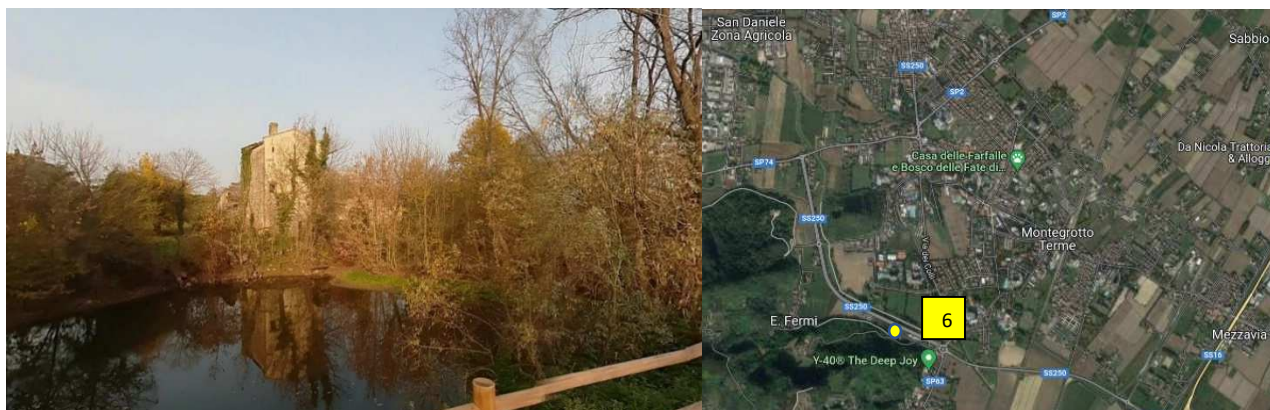
**Figura 5.4: area 4 della legenda, zona dove potrebbero essere inseriti i filtri contenitori alberati**

Pavimentazione permeabili: Il luogo scelto è il parcheggio in via degli Scavi adiacente alla casa delle Farfalle e Bosco delle fate di Butterfly Arc, situato al centro del comune in un'area densamente abitata e impermeabilizzata.



**Figura 5.6: area 5 della legenda, zona dove potrebbero essere inserite le pavimentazioni permeabili**

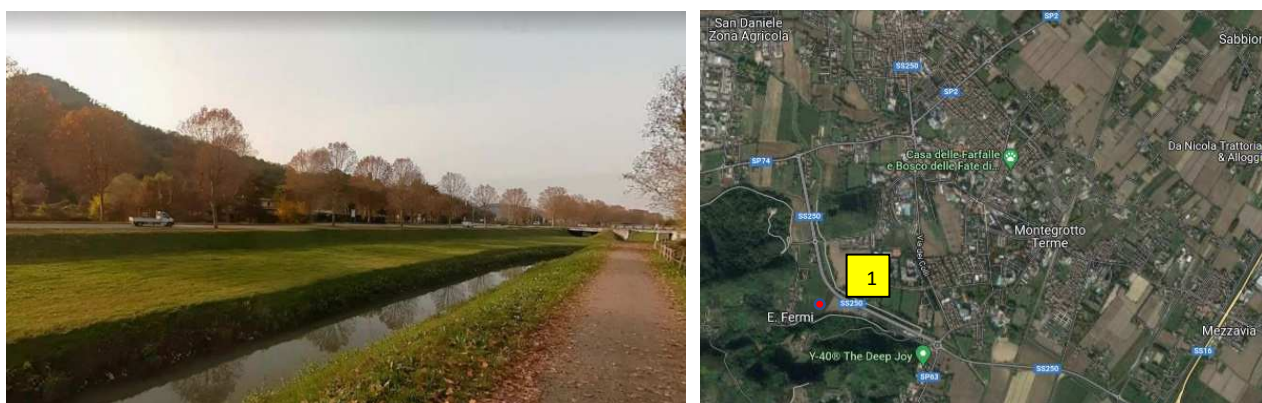
**Bacino di detenzione:** Il luogo scelto è un'area boscata semi abbandonata con un rustico abbandonato situata lungo la pista ciclabile che è parallela alla strada statale (SS250) dove è stato scelto di posizionare il rain garden. Si tratta di una riqualificazione e valorizzazione dell'area con un inserimento di una NBS che serve anche ad implementare la raccolta dell'acqua piovana oltre al miglioramento della qualità visiva del paesaggio.



**Figura 5.7: area 6 della legenda, zona dove potrebbe essere inserito un bacino di detenzione**

## Il rain garden

Il luogo scelto per la realizzazione del rain garden si trova nella zona sud ovest del comune di Montegrotto Terme, in un'area che nel febbraio del 2014 è stata soggetta ad allagamenti come gran parte dell'area sud est e sud ovest del comune. È un'area pianeggiante con una zona di avvallamento adiacente il canale di scolo delle acque con una pista ciclabile molto frequentata da pedoni e ciclisti durante il fine settimana, è utilizzata come luogo utilizzato per svolgere attività fisica all'aperto che attraversa parallelamente il centro comune di Montegrotto e che fa parte dell'anello della ciclovia dei Colli Euganei. Questa ampia zona verde confina con una strada statale (SS250) a doppia corsia e un ampio filare di platani.



Il progetto è stato realizzato utilizzando per la parte grafica i software di progettazione Photoshop e SketchUp. Sono stati inseriti vari esempi di rain garden all'interno dell'area.



**Figura 5.8: due rappresentazioni del rain garden con utilizzo di Photoshop dal lato ovest e lato est del canale che costeggia strada statale SS250**



**Figura 5.9: rappresentazioni del rain garden con utilizzo di Photoshop**

Si riportano di seguito una serie di rendering del rain garden bi- e tri-dimensionali ottenuti con utilizzo del software di progettazione SketchUp.



Figura 5.10: Collocazione del rain garden sulla mappa del sito



Figura 5.11: rendering rain garden in 3D con utilizzo di Sketch Up



Figura 5.12: rendering rain garden in 2D con utilizzo di Sketch Up vista frontale e laterale





Figura 5.13: rendering rain garden in 3D con utilizzo di Sketch Up



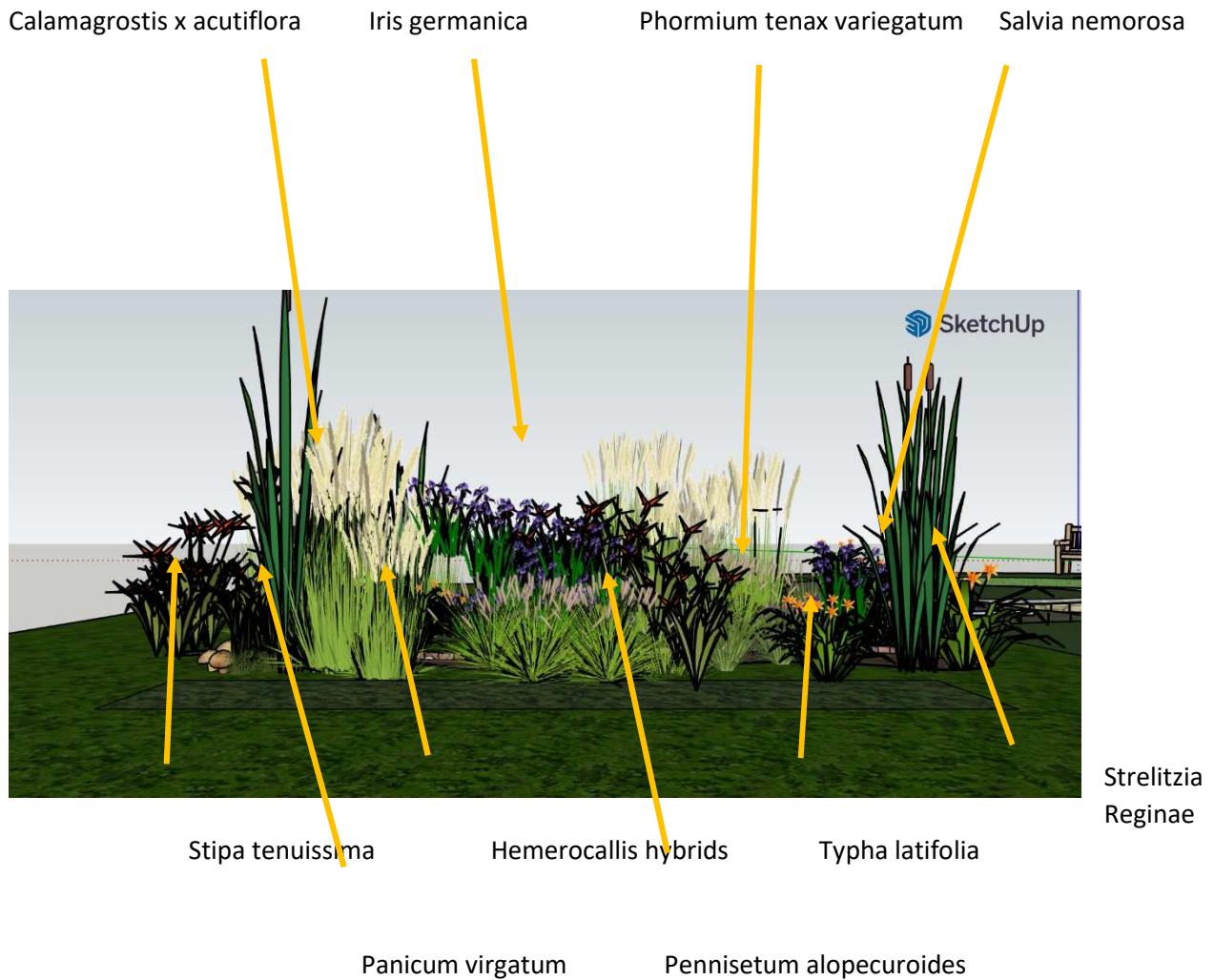
Figura 5.14: rendering rain garden in 2D con utilizzo di Sketch Up sezione



Figura 5.15: rendering rain garden in 2D pianta con utilizzo di Sketch Up

**Specie utilizzate:** Le specie utilizzate per il rain garden sono tutte specie tolleranti condizioni di temporanea umidità e che si adattano molto bene in ambienti umidi e possono portare con la loro fioritura più colore e

vivacità al rain garden e la differenza di altezze crea un certo movimento che è molto gradevole alla vista e crea stupore e contrasto.



**Figura 5.16: rendering rain garden in 2D sezione con utilizzo di Sketch Up e rappresentazione delle varie specie utilizzate**

Le specie utilizzate nel progetto del rain garden sviluppato con l' utilizzo di sketch up sono:

1. Hemerocallis hybrids
2. Calamagrostis x acutiflora
3. Strelitzia Reginae
4. Pennisetum alopecuroides
5. Iris germanica
6. Salvia nemorosa
7. Typha latifolia

- 8. Phormium tenax variegatum
- 9. Panicum virgatum
- 10. Stipa tenuissima
- 11. Hydrangea macrophylla



Hemerocallis hybrids



Calamagrostis x acutiflora



Pennisetum alopecuroides



Strelitzia reginae



Iris germanica



Salvia nemorosa



Typha latifolia



Phormium tenax variegatum



*Panicum virgatum*



*Stipa tenuissima*



*Hydrangea macrophylla*

Possono essere utilizzate ulteriori specie per il rain garden in base alla zona considerata:

**Zona soleggiata**

*Rhus glabra*, *Spiraea douglasii*, *Cornus sericea Kelseyi*, *Ribes aureum*, *Holodiscus discolor*, *Solidago canadensis*, *Juncus effusus* var. *pacificus*, *Juncus ensifolius*, *Lupinus polyphyllus*, *Echinacea purpurea*, *Achillea millefolium*

**Zona ombra**

*Physocarpus capitatus*, *Gaylussacia baccata*, *Cornus sericea Kelseyi*, *Rhus aromatica*, *Philadelphus lewisii*, *Mahonia aquifolium*, *Deschampsia caespitosa*, *Festuca occidentalis*

	Botanical Name	Common Name	Rain garden bottom & lower edges		Upper edges of rain garden		Recommended Plant Spacing (feet)	Full Sun	Partial Shade	Shade	Dry	Medium moisture	Wet	Birds	Butterflies	Fall color	Winter interest	Varieties to consider & comments	
			Height (feet)	Height (feet)															
Grasses, Rushes, and Sedges	<i>Bouteloua curtipendula</i>	Sideoats Grama	✓	1.5-2.5	1.5	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	<i>Carex muskingumensis</i>	Palm Sedge	✓	2-3	1.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	<i>Carex stricta</i>	Tussock Sedge	✓	2-3	1.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	<i>Juncus effusus</i>	Soft Rush	✓	2-3	1.5	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	semi-evergreen leaves	
	<i>Panicum virgatum</i>	Switchgrass	✓	3-6	1.5	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'Shenandoah' or 'Northwind'
	<i>Schizachyrium scoparium</i>	Little bluestem	✓	2-3	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'Blaze'
Wildflowers (Forbs)	<i>Amsonia illustris</i>	Shining Bluestar	✓	2-3	1.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	<i>Asclepias tuberosa</i>	Butterfly Milkweed	✓	1-2	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	foliage fades by mid-summer	
	<i>Callirhoe involucrata</i>	Purple Poppy Mallow	✓	1.5-1	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	<i>Coreopsis lanceolata</i>	Lanceleaf Coreopsis	✓	2	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	short lived but spreads by seed	
	<i>Echinacea purpurea</i>	Purple Coneflower	✓	2-3	1.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	gold finches visit winter seedheads
	<i>Iris virginica</i>	Blue Flag Iris	✓	1-3	1.5	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	<i>Liatris spicata</i>	Marsh Blazingstar	✓	2-3	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'Kobold'
	<i>Penstemon digitalis</i>	Foxglove Beardtongue	✓	2-3	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	<i>Phlox paniculata</i>	Garden Phlox	✓	2-4	1.5	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'David'
	<i>Pycnanthemum tenuifolium</i>	Slender Mountain Mint	✓	2	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	<i>Rudbeckia fulgida</i>	Orange Coneflower	✓	2-2.5	1.5	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	can be short lived but spreads by seed
	<i>Senecio obovatus</i>	Golden Groundsel	✓	1-1.5	1.5	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<i>Tradescantia ohioensis</i>	Ohio Spiderwort	✓	1.5-3	1.5	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
<i>Symphotrichum oblongifolium</i>	Aromatic Aster	✓	2	1.5	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Trees and Shrubs	<i>Aronia melanocarpa</i>	Black chokeberry	✓	5-7	5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'Morton'
	<i>Betula nigra</i>	River Birch	✓	40-70	25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	exfoliating bark adds interest
	<i>Hydrangea arborescens</i>	Wild Hydrangea	✓	3-5	3	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'Annabelle'
	<i>Itea virginica</i>	Virginia Sweetspire	✓	3-5	3	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	'Henry's Garnet'
	<i>Nyssa sylvatica</i>	Black gum	✓	40-50	25	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	slow growing but worth the wait
<i>Taxodium disticum</i>	Bald cypress	✓	40-60	20	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	unique feathery leaf texture	

**Figura 5.17:**  
**Tabella per la**  
**scelta delle specie**  
**per il rain garden**

## Bibliografia

- AA.VV. (2022). Il Piano del verde del comune di Padova.
- ARPAV. (2021). Consumo di suolo e servizi ecosistemici nella Regione Veneto.
- Bauduceau, N., Berry, P., Cecchi, C., Elmqvist, T., Fernandez, M., Hartig, T., ... & Tack, J. (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'.
- Boano, F., Ridolfi, L., Rizzo, A., & Giraudo, S. (2019). Analisi di fattibilità di interventi drenanti sostenibili nell'area del Politecnico di Torino.
- Bortolini L. (2022). Irrigazione e gestione dell'acqua nella aree Verdi. Materiale didattico. Terza edizione. Cleup, Padova.
- Bortolini, L., & Zanin, G. (2018). Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: a study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. *Urban For. Urban Green*. 34, 121–133.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN: Gland, Switzerland, 97, 2016-2036.
- Comune di Milano. (2020). Linee guida per la progettazione dei sistemi urbani di drenaggio sostenibile nel territorio comunale. Direzione Transizione Ambientale Area Risorse Idriche e Igiene Ambientale.
- Eisenberg, B., & Polcher, V. (2018). Nature Based Solutions—Technical Handbook. UNaLab D5, 1.
- Ekka, S. A., Rujner, H., Leonhardt, G., Blecken, G. T., Viklander, M., & Hunt, W. F. (2021). Next generation swale design for stormwater runoff treatment: A comprehensive approach. *Journal of Environmental Management*, 279, 111756.
- Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., De Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental research*, 159, 509-518.
- Gibelli, G., Gelmini, A., Pagnoni, E., & Natalucci, F. (2015). Manuale di drenaggio urbano. ERSAF, Milano.
- Haase, D. (2017). Urban wetlands and Riparian forests as a nature-based solution for climate change adaptation in cities and their surroundings. In *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas* (pp. 111-121). Springer, Cham.
- Huber, J. (2010). *Low Impact Development: a design manual for urban areas*. Arkansas: Fayetteville.
- Masseroni, D., Massara, F., Gandolfi, C., & Bischetti, G. B. (2018). Manuale sulle buone pratiche di utilizzo dei sistemi di drenaggio urbano sostenibile. EcoComunicazione, Verona.
- Michielan E. (2013). Le piante del rain garden di Agripoli: valutazione dell'adattabilità alle condizioni idriche. Tesi di laurea in RTTP. Università degli Studi di Padova. Relatore: Bortolini L.

Priari, G. (2018). Promoting the Use of Public Areas for Sustainable Stormwater Management in Cities with Mediterranean Climate. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2(11), 632.

Souliotis, I., & Voulvoulis, N. (2022). Operationalising nature-based solutions for the design of water management interventions. *Nature-Based Solutions*, 2, 100015.

United Nations. (2015). *Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*. New York, United Nations.

Yuan, J., & Dunnett, N. (2018). Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 35, 57-65.

## **Ringraziamenti**

Un ringraziamento particolare va alla mia famiglia e ai miei amici per essermi stati sempre accanto e avermi supportato nel raggiungimento di questo importante traguardo, ai compagni di corso per aver condiviso le esperienze, i momenti e lo studio insieme, ai docenti dell'Università che mi hanno trasmesso non solo la conoscenza ma anche l'esperienza e la passione per la ricerca e al campus di Agripolis per avermi ospitato in questi anni.