



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

INFRASTRUTTURE VERDI: RAIN GARDEN COME MODALITÀ DI DRENAGGIO DELL'ACQUA
PIOVANA, IL CASO DI SANTORSO.

Relatrice:

Prof.ssa Lucia Bortolini

Correlatore:

Dott. Tommaso Baggio

Laureanda:

Valeria Rigato

Matricola n. 1223060

Anno Accademico 2022-2023

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| RIASSUNTO..... | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1- Introduzione | 3 |
| 1.1 Le infrastrutture verdi..... | 3 |
| 1.2. Le aree di bioretentione | 6 |
| 1.2.1 Struttura | 6 |
| 1.2.2 Funzionamento | 7 |
| 1.2.3 Efficacia..... | 8 |
| 1.3 I bacini di espansione | 9 |
| 1.3.1 Struttura | 10 |
| 1.3.2 Funzionamento | 11 |
| 1.3.3 Efficacia..... | 11 |
| 2- Obiettivi della tesi | 12 |
| 3- Materiali e metodi | 13 |
| 3.1 Strutture monitorate a Santorso | 15 |
| 3.1.1 Rain garden in piazza della libertà..... | 15 |
| 3.1.2 Rain garden cimitero | 17 |
| 3.1.3 Laghetto di Giavenale..... | 20 |
| 3.2 Strumenti di misurazione..... | 20 |
| 3.2.1 Misurazione delle precipitazioni | 20 |
| 3.2.2 Misurazione della portata | 21 |
| 3.3 Elaborazione dei dati | 23 |
| 3.3.1 Calcolo precipitazione e intensità di pioggia..... | 23 |
| 3.3.2 Calcolo portata e volume in ingresso..... | 24 |
| 3.3.3 Calcolo volume in uscita | 25 |
| 3.3.4 Calcolo del volume in ingresso gestito dall'intervento (%) | 26 |
| 3.3.5 Calcolo tirante laghetto..... | 26 |
| 4- Risultati | 28 |
| 4.1 Analisi delle piogge..... | 28 |
| 4.2 Rain garden piazza della Libertà | 30 |
| 4.3 Rain garden via dei Prati | 31 |
| 4.4 Laghetto di Giavenale..... | 32 |
| 5- Discussione e conclusione..... | 34 |
| BIBLIOGRAFIA | 35 |
| SITOGRAFIA | 35 |

RIASSUNTO

Negli ultimi decenni, il territorio italiano è stato sottoposto a una forte pressione antropica, con la costruzione di nuovi insediamenti urbani, strade, infrastrutture e impianti industriali.

Il consumo di suolo rappresenta un fenomeno molto diffuso in Italia, soprattutto nelle regioni del Nord, dove la densità di popolazione e l'attività economica sono più elevate.

La riduzione delle aree verdi e l'incremento delle superfici impermeabili comportano infatti una serie di impatti, tra cui l'aumento del fenomeno dell'isola di calore in città, la diminuzione della qualità dell'aria, l'aumento del rischio di alluvioni e di esondazioni.

Per contrastare gli effetti negativi della cementificazione sono necessarie politiche e strategie integrate che promuovano la pianificazione territoriale sostenibile, la riqualificazione delle aree dismesse e la promozione di pratiche di costruzione sostenibili.

Il progetto Life BEWARE ha avuto lo scopo di migliorare la sicurezza idraulica in ambito antropico tramite interventi di carattere tecnico e sociale. A tal fine sono stati realizzati sette interventi di bioretensione delle acque per la riduzione del rischio di allagamenti in ambito urbano tramite una gestione sostenibile dei deflussi di pioggia in aree urbane e agricole. La zona interessata dagli interventi è stata l'Alto vicentino rappresentata dai comuni di Santorso e Marano Vicentino.

Questo elaborato ha l'obiettivo di valutare l'efficienza di quattro opere: il Rain Garden in Piazza della Libertà, il Rain Garden presso il cimitero in via dei Prati e l'area di bioretensione nella Collina del Grumo a Santorso, e il Laghetto di Giavenale in contesto agricolo.

Sono stati analizzati i dati pluviometrici raccolti da due pluviometri posizionati nell'area di interesse e la portata uscente e entrante dalle quattro opere che erano state equipaggiate con trasduttori a pressione per misurare il tirante idrico. Si è potuto così identificare la frequenza di attivazione e la loro efficienza nel trattenere e favorire i processi di infiltrazione delle acque di deflusso.

L'intervallo temporale analizzato in questo elaborato è stato di dieci mesi, da luglio 2022 ad aprile 2023, consentendo l'analisi di diversi eventi piovosi caratterizzati da durata e intensità diverse. La portata entrante e uscente dalle aree di bioretensione calcolata ha mostrato un'ottima efficienza di trattenuta e di infiltrazione. Solamente in concomitanza di rari eventi piovosi particolarmente intensi e di lunga durata si è registrato un deflusso in uscita dalle opere, comunque di entità modesta.

I risultati di questo elaborato hanno dimostrato che le opere di bioretensione analizzate sono in grado di mitigare i deflussi di pioggia tramite processi di trattenuta superficiale e infiltrazione, andando ad alleggerire il volume d'acqua gestito dalla rete di drenaggio presente.

ABSTRACT

In the last decades, the Italian territory has been subjected to severe human pressure, with the construction of new settlements, roads, infrastructures, and factories. Therefore, soil consumption represents a widespread phenomenon in Italy, especially in the Northern regions, where population density and economic activity are higher. The reduction of green areas and the increase of paved surfaces lead to the increase of the urban heat island effect, the decrease of the air quality, and the increase in the risk of urban flooding.

To contrast and mitigate the negative effects of soil consumption, integrated policies and strategies are necessary to promote sustainable territorial planning, promoting sustainable construction practices.

The Life BEWARE project aimed to improve hydraulic safety in urban settlements through technical and social interventions. To this end, seven water bio-retention interventions were built up to reduce the risk of flooding in urban areas through the sustainable management of runoff induced by rainfall in urban and agricultural areas. The area of the project involved the Alto Vicentino, represented by the municipality of Santorso and Marano Vicentino.

This study aims to evaluate the hydraulic efficiency of four structures: the Rain Garden in Piazza della Libertà, the Rain Garden at the cemetery in Via dei Prati, the bioretention area in Grumo Hill in Santorso, and the Giavenale lake in an agricultural context.

Two rain gauges located in the area of interest collected the rainfall pattern and the outgoing/incoming flow of the four structures is measured by pressure transducers installed upward and downward the intervention. With such data, the study identified the frequency of activation and assessed their efficiency in retaining and promoting the infiltration processes of water runoff.

The period analyzed in this study was ten months, from July 2022 to April 2023, recording rainfall events characterized by different duration and intensity. The incoming and outgoing flow from the bioretention areas showed excellent retention and infiltration efficiency. Only during rare events, characterized by intense and long rainfalls, a modest outflow from the structures was recorded.

The results of this study showed that the analyzed bioretention structures are able to mitigate runoff generated by paved surfaces through water retention and infiltration processes, thus reducing the volume of water managed by the existing drainage network.

1- INTRODUZIONE

1.1 Le infrastrutture verdi

Le infrastrutture verdi possono essere definite come un tipo di Nature-Based Solutions (NBSs), (Figura 1); ovvero delle soluzioni che vogliono riprodurre i processi naturali per affrontare le sfide ambientali, sociali ed economiche attuali e future. Le NBSs consistono nell'utilizzare i processi ecosistemici naturali per risolvere i problemi umani, migliorando la salute dell'ambiente e la qualità della vita delle persone.



Figura 1: Vantaggi e benefici delle NBSs (Rete Clima)

Per quanto riguarda i processi idrologici-idraulici, la maggior parte delle aree urbane sono coperte da superfici impermeabili, come strade, parcheggi, edifici e marciapiedi, che impediscono all'acqua di infiltrarsi nel suolo. Questo significa che durante una pioggia intensa, l'acqua scorre rapidamente sulla superficie, accumulandosi in pozzanghere o inondando le strade, causando danni alle proprietà e alla vita umana. Le infrastrutture grigie, come canali di scolo, fognature e reti di drenaggio urbano, sono state storicamente utilizzate per gestire il flusso delle acque piovane nelle aree urbane. Tuttavia, queste infrastrutture tradizionali presentano limitazioni nel gestire gli effetti negativi dell'impermeabilizzazione delle superfici urbane. I canali di scolo sono progettati per convogliare l'acqua in eccesso, ma durante una pioggia intensa possono raggiungere rapidamente la loro capacità massima, causando allagamenti. Le fognature urbane, progettate per raccogliere gli effluenti domestici e industriali, possono anche ricevere l'acqua piovana, ma possono sovraccaricarsi durante eventi di pioggia intensa, causando allagamenti e talvolta il riversamento diretto di acque miste non

trattate negli ambienti acquatici. Inoltre, l'acqua che scorre sulla superficie raccoglie anche inquinanti, come oli, sostanze chimiche e metalli pesanti, che poi finiscono nelle acque sotterranee e nei corpi idrici superficiali, causando problemi ambientali.

Le infrastrutture verdi sono progettate per replicare il ciclo naturale dell'acqua e per favorirne l'infiltrazione nel suolo. Le piante, ad esempio, assorbono l'acqua dalle radici, utilizzandola per la crescita e rilasciando l'acqua in eccesso nell'atmosfera tramite la traspirazione. Inoltre, le radici delle piante e la copertura vegetale aiutano a stabilizzare il terreno e ad aumentare la porosità del suolo, consentendo all'acqua di infiltrarsi più facilmente. Queste

sono infatti un'alternativa alle soluzioni tradizionali basate su infrastrutture costruite dall'uomo, come dighe, argini, fossati, canali e reti fognarie, che spesso hanno un impatto negativo sull'ambiente e sulla biodiversità. Le NBS si basano infatti sull'utilizzo di soluzioni naturali, come la riforestazione, la gestione sostenibile delle terre agricole e delle foreste e la creazione di infrastrutture verdi come tetti verdi, fasce permeabili o bacini di bioritenzione.

Esse hanno molteplici vantaggi e forniscono una vasta gamma di servizi ecosistemici. Innanzitutto, aiutano a ridurre l'impatto dell'urbanizzazione sulla salute e il benessere umano. Possono ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico, ridurre il calore urbano e migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua. Inoltre, migliorano la qualità della vita della comunità, offrendo spazi verdi accessibili, aumentando la biodiversità e migliorando l'estetica urbana.

Oppure, le infrastrutture verdi possono mitigare gli effetti di eventi meteorologici estremi e in prospettiva di lungo termine anche quelli dovuti ai cambiamenti climatici. Possono ridurre l'impronta di carbonio delle città attraverso la cattura e lo stoccaggio del carbonio, la riduzione dell'energia necessaria per il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici e la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Inoltre, possono aiutare a prevenire inondazioni e a migliorare la gestione delle acque superficiali, riducendo il rischio di danni causati dalle alluvioni.

Le infrastrutture verdi possono essere progettate per adattarsi a diverse situazioni e necessità. Possono includere parchi urbani, giardini pensili, tetti verdi, corridoi verdi, verde verticale, reti di drenaggio, fasce tampone e aree umide. Possono anche essere integrati in edifici e infrastrutture esistenti, come tetti e pareti verdi, o essere progettati come nuove infrastrutture, come parchi pubblici e corridoi verdi. Richiedono una pianificazione e una progettazione attenta per garantirne l'efficacia idrologica-idraulica. La scelta delle piante e degli elementi naturali dovrebbe essere basata sulla loro capacità di resistere alle condizioni locali, tra cui la temperatura, la luce solare, la pioggia e il vento. È importante considerare anche gli aspetti di manutenzione e gestione per garantire che i sistemi di natura rimangano efficaci a lungo termine. Questo può includere la scelta di piante resistenti, la gestione delle infestazioni di insetti e malattie, e la rimozione regolare delle piante morte o danneggiate.

È bene considerare anche gli aspetti economici delle infrastrutture verdi. Sebbene l'investimento possa essere costoso inizialmente, può portare a risparmi a lungo termine. Ad esempio, la riduzione dell'energia necessaria per il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici può portare a risparmi sui costi energetici, mentre la gestione delle acque superficiali può ridurre il costo di infrastrutture idrauliche tradizionali.

Inoltre, le infrastrutture verdi possono fornire nuove opportunità di lavoro nel settore della pianificazione e progettazione, nonché nella gestione e manutenzione di tali infrastrutture. La creazione di parchi pubblici e altri spazi verdi può anche migliorare l'attrattiva di un'area per le imprese e gli investitori, portando a un aumento dell'economia locale.

In sintesi, le infrastrutture verdi sono essenziali per favorire l'infiltrazione dell'acqua nel suolo nelle aree urbane, prevenire allagamenti, ridurre il carico sui sistemi di drenaggio tradizionali e proteggere le risorse idriche. La progettazione e la realizzazione di infrastrutture verdi dovrebbero essere un elemento fondamentale della pianificazione urbana, in modo da garantire che le città siano in grado di gestire l'acqua in modo sostenibile e ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici.

È importante anche considerare l'importanza delle infrastrutture verdi per la biodiversità. Le infrastrutture verdi creano habitat per la fauna e la flora, favorendo la presenza di specie animali e vegetali che contribuiscono a mantenere l'equilibrio ecologico. Inoltre, le infrastrutture verdi possono anche contribuire alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, fornendo spazi per la produzione di alimenti locali, l'assorbimento di CO₂ dall'atmosfera e la mitigazione dell'effetto isola di calore.

In conclusione, le infrastrutture verdi rappresentano una soluzione innovativa e sostenibile per gestire l'acqua nelle città, riducendo gli impatti negativi degli allagamenti e migliorando la qualità dell'ambiente urbano. La loro progettazione e implementazione dovrebbero essere incoraggiate in tutte le città del mondo, contribuendo a creare comunità più resilienti e più adattabili ai cambiamenti climatici.

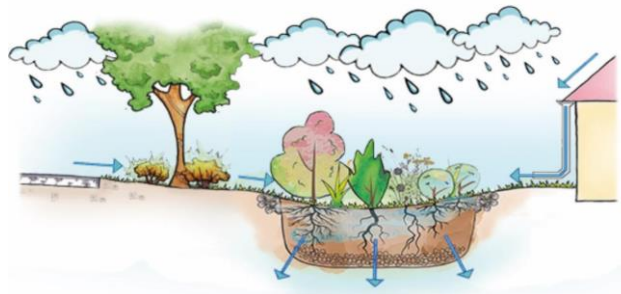


Figura 2: Esempio rain garden (materiale didattico)

Le aree di bioretensione e i bacini di espansione rappresentano due tipi di infrastrutture fondamentali e ampiamente utilizzate nel campo dell'ingegneria idraulica. Sono tra le soluzioni più comuni e diffuse per la gestione sostenibile delle acque piovane e l'ottimizzazione del ciclo idrologico.

1.2. Le aree di bioretensione



Figura 3: Esempio rain garden (materiale didattico)

Le aree di bioritenzione, noti anche come bacini di infiltrazione o bacini di drenaggio sostenibile, sono strutture progettate per gestire le acque piovane in modo sostenibile. Queste zone sono spesso utilizzate nelle aree urbane per mitigare il problema dell'inondazione dovuto al deflusso delle acque piovane e per ridurre l'impatto dell'inquinamento delle acque.

L'obiettivo principale delle aree di bioritenzione è quello di imitare il ciclo idrologico naturale, permettendo all'acqua piovana di infiltrarsi nel terreno anziché scorrere direttamente nelle fogne o nei corsi d'acqua circostanti. Questo processo aiuta a ricaricare le falde acquifere sotterranee, a ridurre il carico idrico sul sistema fognario e a prevenire l'inquinamento delle acque superficiali.

Queste strutture sono considerate una soluzione sostenibile per la gestione delle acque piovane, in quanto contribuiscono alla riduzione del deflusso delle acque superficiali, alla filtrazione delle sostanze inquinanti e alla ricarica delle riserve idriche sotterranee. Inoltre, possono offrire benefici aggiuntivi come la creazione di microhabitat per la fauna e la flora locale e l'aumento dell'estetica delle aree urbane.

1.2.1 Struttura

La struttura delle aree di bioritenzione può variare a seconda delle esigenze e del contesto, ma in generale sono composte da diverse parti:

La zona di raccolta è la parte superiore dell'area di bioritenzione, dove le acque meteoriche vengono raccolte. Qui avviene la prima fase di accumulo dell'acqua proveniente dalle precipitazioni.

Nella zona di infiltrazione, che si trova nella parte centrale, l'acqua viene immagazzinata e filtrata attraverso uno strato di terreno poroso. Questo strato può essere composto da diversi materiali

permeabili come ghiaia, sabbia o altri elementi granulari. Solitamente, si creano diversi strati con una granulometria crescente all'aumentare della profondità, favorendo così la filtrazione dell'acqua.

La zona di drenaggio, non sempre necessaria, costituisce la parte inferiore dell'area. Qui l'acqua filtrata dal terreno viene drenata. È possibile installare un sistema di tubazioni per gestire il flusso dell'acqua in eccesso e consentire un corretto drenaggio.

La presenza di vegetazione è un elemento essenziale all'interno dell'area di bioritenzione. Le piante svolgono diverse funzioni benefiche. Innanzitutto, contribuiscono a trattenere l'acqua nel terreno, consentendo un assorbimento graduale. Inoltre, la vegetazione migliora la qualità dell'aria e le radici delle piante favoriscono l'infiltrazione dell'acqua nel terreno.

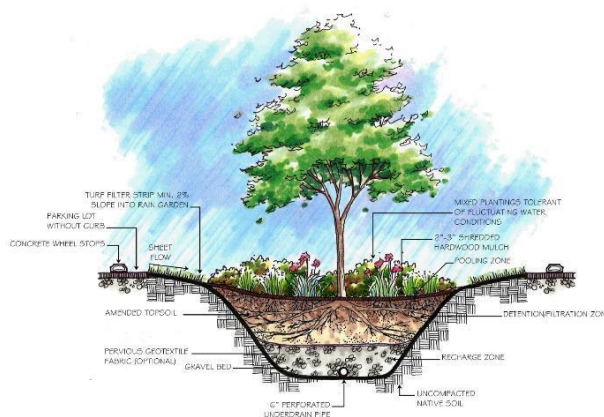


Figura 4: Sezione di un rain garden (materiale didattico)

1.2.2 Funzionamento

Il funzionamento delle aree di bioritenzione si basa su diversi processi fisici, chimici e biologici che avvengono all'interno dell'area di filtraggio. In generale, il processo di filtrazione dell'acqua nelle aree di bioritenzione si articola in tre fasi principali:

Nella prima fase, avviene la raccolta dell'acqua. Le acque meteoriche vengono convogliate verso l'area di bioritenzione tramite una rete di drenaggio.

Successivamente, si passa alla fase di infiltrazione dell'acqua. L'acqua raccolta viene immagazzinata e filtrata attraverso uno strato di terreno poroso, composto da ghiaia, sabbia o altri materiali permeabili. In questa fase, l'acqua viene trattenuta e assorbita dal terreno, consentendo la filtrazione dei sedimenti, dei nutrienti e dei contaminanti.

Infine, può essere necessario, a volte, creare un drenaggio dell'acqua filtrata. Una volta che l'acqua ha completato il processo di filtrazione, quella in eccesso può essere drenata verso un sistema di scarico o di raccolta delle acque assicurando così che l'area di bioritenzione riesca a gestire una corretta quantità di acqua trattata.

Le aree di bioritenzione possono essere progettate in diversi modi a seconda delle esigenze del contesto. Ad esempio, possono essere realizzate con differenti profondità, in modo da garantire una maggiore capacità di immagazzinamento dell'acqua. Inoltre, possono essere dotate di diversi strati di filtrazione, costituiti da materiali come carbone attivo, zeolite o fibre di cocco, utili per migliorare la qualità dell'acqua. La presenza di vegetazione, in particolare di piante con radici profonde, rappresenta un ulteriore fattore importante per la capacità di filtrazione del terreno. Grazie alla loro capacità di trattenere l'acqua e di filtrare i contaminanti, queste infrastrutture hanno un ruolo fondamentale soprattutto nel mitigare i fenomeni di inondazioni urbane e nel limitare il deflusso superficiale, contribuendo anche a migliorare la qualità dell'acqua nelle zone urbane.

1.2.3 Efficacia

Le aree di bioritenzione sono un'infrastruttura verde che può svolgere un ruolo importante nella gestione delle acque meteoriche nelle zone urbane. Una delle funzioni principali delle aree di bioritenzione è l'infiltrazione dell'acqua piovana nel terreno, che può aiutare a ridurre il volume di acqua che finisce nei sistemi di drenaggio delle acque reflue.

L'efficacia di infiltrazione dell'acqua piovana dipende da diversi fattori, come la dimensione dell'area di bioritenzione, il tipo di terreno, la presenza di piante e la manutenzione.

In generale, i terreni con una maggiore percentuale di sabbia e ghiaia possono avere una maggiore capacità di infiltrazione rispetto ai terreni argillosi, poiché hanno una maggiore porosità e permeabilità.

La presenza di piante può influire sull'efficacia di infiltrazione dell'acqua piovana delle aree di bioritenzione. Le radici delle piante possono contribuire a stabilizzare il terreno e a promuovere la formazione di canali di infiltrazione dell'acqua, aumentando la capacità di infiltrazione dell'infrastruttura. Inoltre, le piante possono assorbire l'acqua e ridurre il volume di acqua che finisce nei sistemi di drenaggio delle acque reflue.

Tuttavia, l'efficacia delle aree di bioritenzione può essere influenzata da diversi fattori, tra cui il design e la manutenzione dell'infrastruttura. Ad esempio, un'area di bioritenzione mal progettata o mal mantenuta potrebbe diventare un luogo di accumulo di detriti e di acqua stagnante, aumentando il rischio di malattie e di inquinamento. La manutenzione delle aree di bioritenzione è essenziale per garantire l'efficacia di infiltrazione dell'acqua piovana. L'accumulo di detriti o sedimenti può ostruire i materiali filtranti e ridurre la capacità di infiltrazione dell'infrastruttura. La rimozione periodica dei detriti e la manutenzione dei materiali filtranti sono importanti per garantire l'efficacia di infiltrazione dell'acqua piovana delle aree di bioritenzione.

1.3 I bacini di espansione

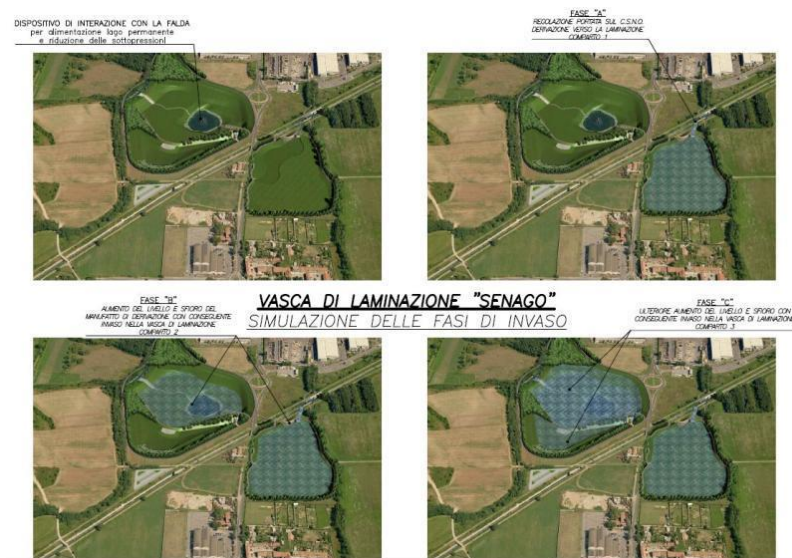


Figura 5: Esempio bacino di espansione (materiale didattico)

I bacini di espansione sono strutture idrauliche che hanno lo scopo di mitigare gli effetti negativi delle piene e delle inondazioni, soprattutto nelle zone urbane e nelle aree a rischio. Il loro funzionamento è basato sulla capacità di immagazzinare temporaneamente grandi quantità d'acqua durante i picchi di pioggia o di scioglimento delle nevi, per poi rilasciarla gradualmente nel corso del tempo, in modo da evitare che si verifichino fenomeni di esondazione e allagamento.

Gli effetti positivi dei bacini di espansione sono molteplici. In primo luogo, essi permettono di prevenire i danni alle proprietà e alle infrastrutture causati dalle inondazioni, proteggendo le abitazioni, le strade, le linee ferroviarie, le reti fognarie e i servizi pubblici. Inoltre, grazie alla loro capacità di immagazzinare grandi quantità d'acqua, i bacini di espansione possono contribuire a ridurre il carico sulle reti fognarie e sulle stazioni di pompaggio, evitando il rischio di allagamenti dovuti alla saturazione dei sistemi di drenaggio.

I bacini di espansione possono essere costituiti da grandi serbatoi sotterranei, laghetti artificiali, vasche di detenzione o canali drenanti. Durante i periodi di pioggia intensa, l'acqua viene instradata verso il bacino di espansione e immagazzinata fino a quando il tasso di deflusso diminuisce. In seguito, l'acqua può essere gradualmente rilasciata nel sistema di drenaggio o nei corsi d'acqua circostanti, evitando il sovraccarico e l'inondazione.

I bacini di espansione sono parte integrante della gestione sostenibile delle acque piovane nelle aree urbane. Consentono di ridurre i danni causati dalle inondazioni, di prevenire l'erosione dei corsi d'acqua, di proteggere le infrastrutture e di migliorare la qualità delle acque. Queste strutture sono spesso integrate in progetti di pianificazione urbana e di gestione delle acque per garantire una gestione efficiente e sicura delle acque di deflusso.

Ma l'efficacia dei bacini di espansione non si limita alla prevenzione dei danni causati dalle piene e dalle inondazioni. Essi possono anche svolgere un ruolo importante nella protezione dell'ambiente e nella gestione delle risorse idriche. In particolare, i bacini di espansione possono contribuire alla riduzione dell'inquinamento delle acque, poiché l'acqua che viene immagazzinata nei bacini viene sottoposta a un processo di decantazione, che consente di separare i sedimenti e i materiali solidi presenti nell'acqua.

Inoltre, i bacini di espansione possono contribuire alla gestione sostenibile delle risorse idriche, favorendo la raccolta e lo stoccaggio dell'acqua piovana per il suo successivo utilizzo in attività agricole, industriali o domestiche. Ciò può avere un impatto significativo sulla riduzione della domanda idrica e sulla salvaguardia delle risorse idriche.

1.3.1 Struttura

I bacini di espansione sono strutture che presentano variazioni nella loro configurazione, a seconda del tipo specifico di bacino adottato. Di seguito, una descrizione generale delle principali tipologie di bacini di espansione:

I laghetti artificiali costituiscono una delle tipologie di bacini di espansione. Sono dei laghetti creati appositamente per raccogliere e immagazzinare l'acqua piovana. Solitamente, vengono realizzati con argini o dighe che servono a mantenere l'acqua all'interno dell'area del bacino, evitando fuoriuscite indesiderate.

Le vasche di detenzione rappresentano un'altra forma comune di bacini di espansione. Queste strutture sono di dimensioni considerevoli e hanno il compito di raccogliere l'acqua piovana in eccesso. Solitamente realizzate in cemento o altri materiali resistenti all'acqua, le vasche di detenzione sono dotate di tubazioni di ingresso e di uscita, consentendo così un monitoraggio delle portate e un controllo adeguato del flusso dell'acqua.

I canali drenanti sono un'ulteriore variante dei bacini di espansione. Si tratta di canali o corsi d'acqua artificiali che vengono utilizzati come bacini temporanei per l'accumulo dell'acqua piovana in eccesso. Questi canali, adeguatamente dimensionati, consentono di gestire il flusso delle acque di deflusso e di trattenere temporaneamente l'acqua fino al momento in cui possa essere adeguatamente smaltita o drenata.



Figura 6: Possibile struttura di un bacino di espansione (materiale didattico)

1.3.2 Funzionamento

Durante un evento di precipitazione, l'acqua piovana viene convogliata verso il bacino di espansione tramite tubazioni, canali o sistemi di drenaggio. Una volta che l'acqua raggiunge il bacino di espansione, viene trattenuta all'interno della struttura per un certo periodo di tempo. Questo stoccaggio temporaneo è importante per l'immagazzinamento dell'acqua.

Dopo l'evento di pioggia, il bacino di espansione rilascia gradualmente l'acqua immagazzinata nel sistema di drenaggio o nei corsi d'acqua circostanti. Il rilascio regolato dell'acqua contribuisce a ridurre il picco di deflusso delle acque di deflusso e permette di gestire il flusso in modo più controllato, riducendo i rischi di allagamento e contribuendo alla protezione dell'ambiente circostante.

Alcuni bacini di espansione sono dotati di dispositivi di controllo del flusso, come sbarramenti o valvole, che regolano la velocità di rilascio dell'acqua. Questo consente di regolare la portata dell'acqua in uscita dal bacino, in modo da adattarsi alle condizioni del sistema di drenaggio o dei corsi d'acqua riceventi.

1.3.3 Efficacia

L'efficacia dei bacini di espansione nel gestire le acque di deflusso dipende da diversi fattori, tra cui le dimensioni del bacino, la capacità di stoccaggio, il tempo di rilascio, la topografia locale e le caratteristiche idrologiche dell'area circostante. Quando progettati e gestiti correttamente, i bacini di espansione possono offrire diversi benefici:

Uno dei benefici principali dei bacini di espansione è la riduzione delle inondazioni. Durante eventi di precipitazione intensa, questi bacini sono in grado di diminuire il flusso di picco delle acque di

deflusso. Trattenendo temporaneamente l'acqua, i bacini ritardano il suo deflusso verso corsi d'acqua o sistemi fognari, contribuendo a ridurre il rischio di inondazioni.

Inoltre, i bacini di espansione svolgono un ruolo importante nella protezione delle infrastrutture. L'accumulo eccessivo di acqua piovana può causare danni alle strade, agli edifici e agli impianti di trattamento delle acque. I bacini di espansione aiutano a preservare tali infrastrutture limitando il deflusso superficiale e riducendo la pressione sul sistema di drenaggio.

Un altro vantaggio offerto dai bacini di espansione riguarda il miglioramento della qualità delle acque. Durante il periodo di detenzione, l'acqua piovana può subire un processo di sedimentazione, consentendo la rimozione di particelle solide e inquinanti presenti nell'acqua. Inoltre, alcune strutture di detenzione possono essere dotate di dispositivi di trattamento aggiuntivi, come separatori di oli e grassi, che contribuiscono ulteriormente a ridurre l'inquinamento.

Infine, i bacini di espansione sono elementi chiave di un sistema di gestione sostenibile delle acque piovane. Favoriscono la raccolta e l'utilizzo delle risorse idriche locali, consentendo all'acqua di infiltrarsi nel terreno o di essere impiegata per scopi non potabili, come l'irrigazione delle aree verdi.

2- OBIETTIVI DELLA TESI

L'obiettivo principale di questo studio è di analizzare il comportamento delle opere di bioritenzione realizzate nel comune di Santorso e nella zona di Giavenale, grazie al progetto LIFE BEWARE. In particolare, si vuole monitorare l'efficacia di trattenuta e infiltrazione delle aree di bioretentione in base a fenomeni meteorici di diversa durata e intensità. Questi interventi consistono in: due rain garden, localizzati in Piazza della Libertà e in Via Prati e il laghetto in località Giavenale.

3- MATERIALI E METODI

L'area di interesse di questo studio è l'alto vicentino e in particolare il comune di Santorso e Schio (regione Veneto). Santorso è un comune italiano localizzato ai piedi del monte Summano, nella provincia di Vicenza. La sua superficie è di 1325 ettari, di cui circa 800 ettari sono localizzati in zone collinari e montane. Il monte Summano raggiunge un'altitudine massima di 1296 metri, mentre la quota minima è di 170 metri. Il territorio è caratterizzato da un ampio e ripido pendio del monte Summano, dalla fascia detritica che lo collega alla pianura e dalla zona di alta pianura sub-pianeggiante. A causa dell'elevata pendenza e del substrato altamente permeabile, i pendii del monte Summano non presentano corsi d'acqua regolari. Tuttavia, l'idrografia superficiale del territorio si concentra principalmente sui margini occidentali, dove si trovano i corsi d'acqua permanenti dei Torrenti Orco e Timonchiello. Questi corsi d'acqua confluiscono con l'Acquasaliente nella località Masena per formare il Torrente Timonchio. Nella fascia detritica ai piedi delle Dolomie, precisamente nelle località Grimola e Villa Rossi, si trovano sorgenti che sono intercalate da strati meno permeabili. Tuttavia, i modesti ruscelli che nascono da queste sorgenti non generano un corpo idrico significativo, ad eccezione di alcune situazioni di emergenza nella località Grumo, dove ha origine un modesto corso d'acqua chiamato Rio. Nell'abitato di Santorso, invece, scorre l'antica Roggia che preleva acqua dal Timonchio nella località Masena. La roggia si dirige da ovest a est, passando per la località Favorita e continuando verso la località Dalla Riva, fino ad arrivare a Thiene. (Commissione regionale VAS, 14/12/2011)

Giavenale, invece, è una frazione del comune di Schio, nella provincia di Vicenza, situata in una zona montuosa pedemontana, nella parte meridionale delle Prealpi Venete. La sua altitudine si aggira intorno ai 150 metri s.l.m. La zona è caratterizzata da una morfologia collinare con alture che si innalzano gradualmente fino ad assumere l'aspetto di vere e proprie montagne. Dal punto di vista geologico, il territorio è composto da rocce sedimentarie di origine marina e lacustre, che risalgono al periodo Triassico. In particolare, si possono distinguere formazioni di calcari, dolomiti, marne e argille. L'urbanizzazione del comune è concentrata soprattutto nella zona pianeggiante, dove si trovano i principali centri abitati. In particolare, il centro storico di Schio è situato in una posizione dominante rispetto alla pianura sottostante, su un'altura che si affaccia sulla valle del Leogra. Il resto del territorio è invece costituito da ampie aree boschive e da terreni agricoli.

La zona di Giavenale come quella di Santorso presenta un clima temperato sub-continentale, con estati calde e inverni freddi e nevosi. Tuttavia, come in molte altre parti del mondo, anche qui si sono registrati alcuni cambiamenti climatici negli ultimi decenni. Secondo i dati dell'ARPA Veneto, negli ultimi anni si è osservata una tendenza all'aumento delle temperature medie e alla diminuzione delle precipitazioni durante l'estate. In particolare, si sono registrate ondate di calore sempre più frequenti e prolungate, che hanno causato un aumento del rischio di incendi boschivi e di siccità. Allo stesso tempo, durante l'autunno e l'inverno si sono verificati episodi di pioggia intensa e temporali violenti, che hanno causato allagamenti e frane in alcune zone della provincia di Vicenza, compresa quella di Schio.

In generale, gli effetti dei cambiamenti climatici si stanno facendo sempre più sentire in tutto il mondo, e queste zone non fanno eccezione. Tuttavia, è importante ricordare che il clima è un

fenomeno complesso e che i cambiamenti che si stanno verificando possono essere influenzati da molti fattori diversi, tra cui l'attività umana e le variazioni naturali del clima.

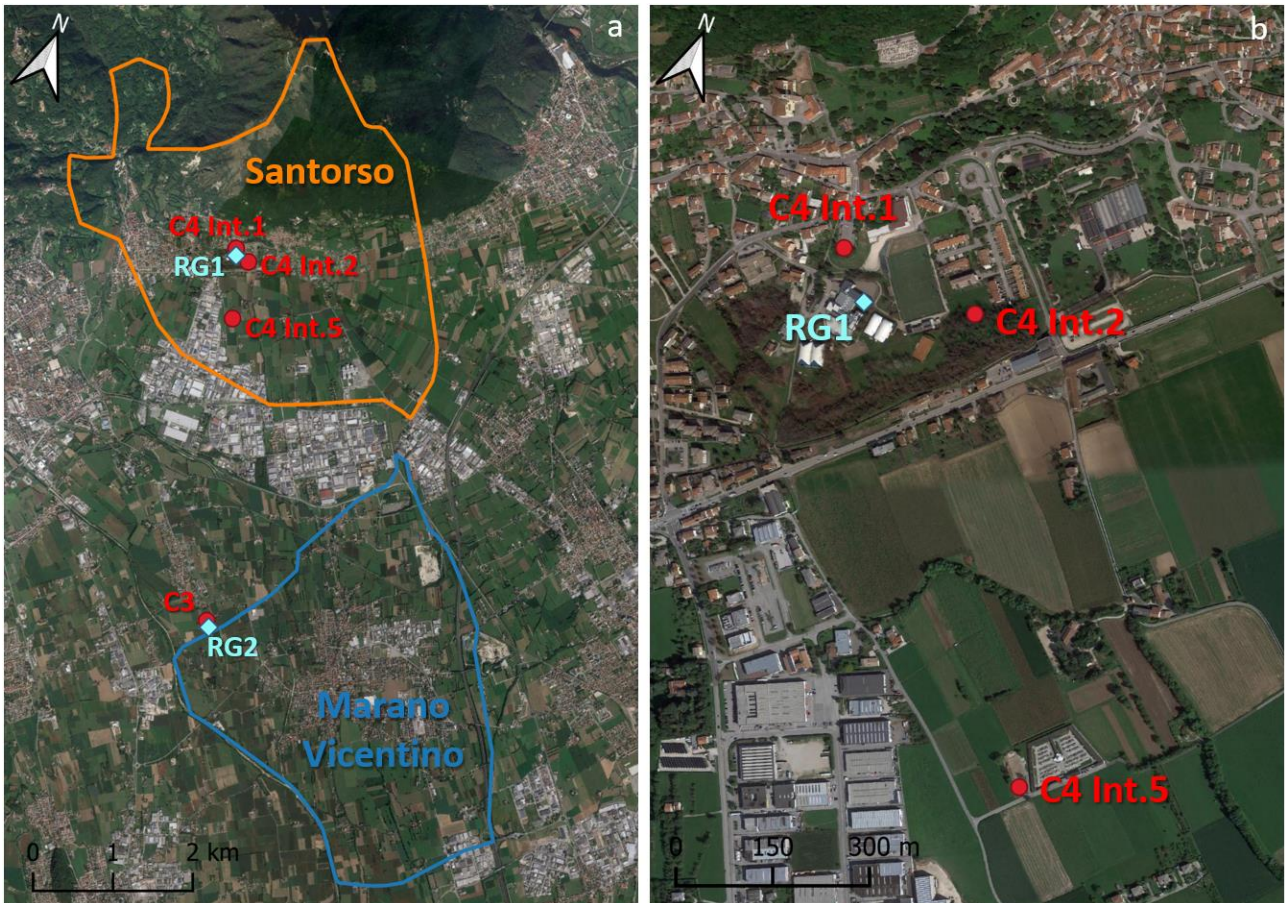


Figura 7: Localizzazione degli interventi monitorati (punti rossi) e degli indicatori di pioggia (rombo azzurro) rispetto ai comuni di Santorso (b) e Marano Vicentino (a), (Report terzo anno)



3.1 Strutture monitorate a Santorso

In questo paragrafo vengono descritte in modo dettagliato le opere analizzate in questo studio. Per ognuna vengono riportate l'estensione, l'area drenata, il meccanismo di funzionamento e la tipologia di sistema di monitoraggio.

3.1.1 Rain garden in piazza della libertà



Figura 8: Schema grafico del funzionamento della misura del deflusso in ingresso, con il posizionamento del dispositivo di ingresso che raccoglie il deflusso dalla zona di drenaggio (poligono rosso) misurando gli scarichi prima che entri nell'intervento (poligono blu), (Report terzo anno)

Il sistema di bioritenzione situato nella Piazza della Libertà, nel Comune di Santorso. L'obiettivo principale di questo sistema è di natura idrologica e idraulica. La superficie del parcheggio, che è impermeabile, misura circa 1460 m² ed ha una forma convessa che fa sì che i deflussi seguano l'asse centrale verso i bordi esterni, è così possibile quindi, gestire il deflusso superficiale generato da una parte della superficie impermeabile del parcheggio, che corrisponde a circa 800 m². Ciò consente di ridurre sia i volumi che i tempi di contribuzione dei deflussi al sistema di drenaggio urbano. Inoltre, l'intervento aiuta a ridurre i disagi causati dalle precipitazioni lungo i percorsi pedonali presenti nella parte inferiore dell'area comunale, che conducono all'edificio scolastico sottostante. Questo è particolarmente utile durante eventi meteorologici di elevata intensità.

L'opera in progetto è localizzata nella parte sud di Piazza della Libertà, nel Comune di Santorso (VI). Essa coinvolge una porzione di verde pubblico di circa 66 m² situata tra il monumento "Al Partigiano" dell'ANPI di Santorso e il monumento "Agli Alpini". Questo intervento è ubicato nell'area interessata dal conoide alluvionale del Rio Pria Alta, un corso d'acqua di natura torrentizia che ha origine sul versante meridionale del Monte Summano a una quota di circa 750 m s.m.

Per prima cosa è stata realizzata una griglia a filo del pavimento con una lunghezza di 13,7 m. Questa griglia si collega al pozzetto che serve per l'immissione delle acque nel giardino pluviale e ha il

compito di raccogliere tutte le acque provenienti dalla parte ovest del parcheggio e indirizzarle verso il giardino.

Il giardino pluviale è costituito da uno strato di terreno colturale opportunamente preparato e fertilizzato. Al di sotto di questo strato si trova uno strato drenante composto da diversi materiali granulari disposti in ordine inverso: dall'alto verso il basso è presente uno strato di 0,15 m di sabbia di fiume, seguita da 0,15 m di ghiaia grossa lavata e infine 0,8 m di ciottoli grossolani con una pezzatura mediamente uniforme e diametri compresi tra 10 e 15 cm. Questo giardino pluviale funziona come un sistema di drenaggio sostenibile (SUDS) che permette l'infiltrazione dell'acqua di deflusso nel terreno sottostante. Il giardino pluviale, oltre ad accumulare l'acqua negli strati superficiali inferiori, può allagarsi fino a un'altezza di 25 cm. Quando l'acqua raggiunge questo livello, entra in funzione il sistema di troppo pieno che dirige l'acqua non gestita verso il pozzetto di misura e successivamente verso la rete di drenaggio.



Figura 9: Rain garden in Piazza della Libertà in maggio 2023

3.1.2 Rain garden cimitero

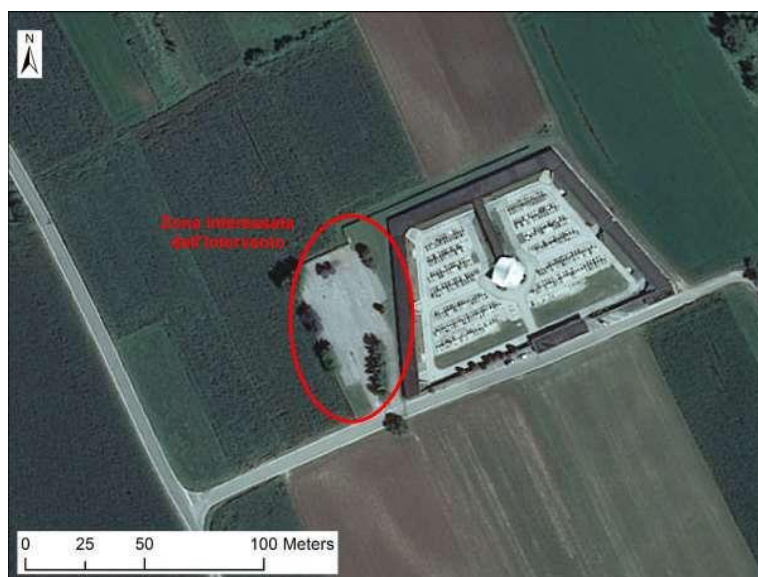


Figura 10: Localizzazione della zona interessata da intervento su ortofoto anno 2012 (Portale Cartografico Nazionale), (Report terzo anno)

L'intervento si trova nel parcheggio adiacente al cimitero situato in Via dei Prati, nel comune di Santorso. Dal punto di vista geologico, l'area interessata dall'intervento è composta principalmente da sedimenti granulari compattati provenienti da antichi terrazzi fluviali e/o fluvio-glaciali, caratterizzati da una tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa.

L'obiettivo principale di questo intervento riguarda l'aspetto idrologico e idraulico. La superficie impermeabile totale del parcheggio è di circa 1602 m² e presenta una forma convessa, che fa sì che i deflussi tendano a scorrere verso i bordi esterni.

L'intervento nasce a seguito di problemi idraulici, come allagamenti nella zona meridionale del parcheggio. L'obiettivo dell'intervento è mitigare tali problematiche attraverso la realizzazione di strutture sostenibili di ritenzione idrica.

Queste opere consentono una migliore gestione dei deflussi, limitando gli episodi di allagamento che sono stati documentati in diverse occasioni durante forti piogge. Il parcheggio del cimitero è stato soggetto a periodici allagamenti e accumulo di acqua a causa di eventi piovosi intensi. Pertanto, nel 2017 è stata installata una griglia all'ingresso del parcheggio per raccogliere le acque superficiali che scorrono. Queste acque confluiscono in un condotto sotterraneo che parte dall'angolo sud-ovest del parcheggio e prosegue verso est fino a raggiungere un piccolo corso d'acqua, che dista circa 150 m dal cimitero in linea d'aria. Il collettore ha la sua origine poco a valle della cava nota come "Sabbionare" ed è ben regolamentato all'interno del territorio comunale di Santorso.

Sono state realizzate diverse strutture, tra cui due giardini pluviali, una trincea drenante e la trasformazione di una parte del parcheggio da impermeabile a permeabile. Per la gestione delle acque che arrivano al parcheggio del cimitero dalla circostante zona agricola sono state eseguite tre opere che, messe insieme, garantiscono una piena gestione dei deflussi superficiali. Le opere comprendono: la trincea infiltrante che è stata posizionata sul lato nord del parcheggio al fine di raccogliere una parte dei deflussi provenienti dalla zona agricola adiacente che, altrimenti, sovraccaricherebbero il parcheggio con un considerevole volume di acqua. Questa quantità sarebbe difficile da gestire solamente con i due giardini pluviali. La struttura ha una lunghezza approssimativa di 10 m ed è stata realizzata con una sezione trapezoidale. Il letto della trincea ha una profondità di 1,45 m, mentre le sponde hanno una pendenza di 45°. La larghezza del letto alla base è di 0,4 m ed è coperto da uno strato di ghiaia spesso 10 cm. Poi, la pavimentazione drenante è stata posizionata nella zona settentrionale del parcheggio. Copre un'area di 45 m² e per la sua installazione è stata necessaria la rimozione dell'asfalto esistente e lo scavo del terreno sottostante fino a una profondità di 1,5 m. Questo ha permesso di posare diversi strati drenanti che fungono da base per i blocchi di pavimentazione drenante. I blocchi scelti hanno una struttura porosa. Sono composti da una miscela di calcestruzzo con una percentuale di vuoti che varia tra il 15% e il 20%. Questo materiale assicura una distribuzione uniforme dei vuoti, consentendo l'assorbimento dell'acqua quando entra in contatto con la superficie. In questo modo si evita qualsiasi ruscellamento superficiale (che è invece presente in altri tipi di pavimentazioni drenanti non porose) e si affida la gestione idrologica agli strati drenanti sottostanti e al terreno, eliminando la necessità di sistemi di drenaggio superficiali o canalizzazioni sub-superficiali. Sotto la pavimentazione è stato posizionato un primo strato di ghiaia fine con uno spessore di 8 cm, e alla sua base è stato inserito un primo geo-tessuto che funge da separatore tra il primo strato e lo strato stabilizzato sottostante, con uno spessore di 15 cm. Sotto lo stabilizzato è stato collocato un secondo geo-tessuto che separa lo strato stabilizzato dallo strato inferiore di ciottoli con un diametro di 6-8 cm e uno spessore di 1 m. L'utilizzo del geo-tessuto impedisce al materiale più fine dei primi due strati di filtrarsi verso il basso con il dilavamento, evitando l'occlusione dei vuoti e mantenendo la capacità di drenaggio. Infine, è stato aggiunto uno strato di sabbia con uno spessore di 15 cm che funge da filtro e aiuta a purificare l'acqua prima che raggiunga lo strato di ciottoli e il terreno sottostante. L'area drenata gestita dalla combinazione di trincea e pavimentazione drenante ammonta a 48.850 m², escludendo l'area del parcheggio, che viene gestita direttamente dai due giardini pluviali. Infine, i giardini pluviali sono due. Il primo, occupa una superficie di circa 70 m² ed è composto da due zone di forma triangolare che sono collegate tra loro da un canaletto intermedio con una profondità di circa 0,2 m. Il secondo giardino copre una superficie di 102 m². All'ingresso di quest'ultimo giardino pluviale è stato posizionato un pozzetto di ingresso che raccoglie sia i deflussi provenienti dal parcheggio sia quelli provenienti dal tubo di troppo pieno dell'altro giardino pluviale. Per assicurare il drenaggio di tutta l'acqua che scorre, è stata installata una griglia lunga 6 m e larga 0,3 m che inizia circa a metà del terreno tra i due giardini e si collega al pozzetto di ingresso. Il pozzetto è coperto da una griglia con dimensioni esterne di 0,56 m per 1,28 m sul lato più a nord, permettendo così l'ingresso delle acque provenienti dalla parte ovest del parcheggio. Nel pozzetto confluiscono anche le acque provenienti da una seconda griglia posizionata lungo il lato nord delle aiuole. Questa griglia si unisce al tubo di scarico del troppo pieno, consentendo alle acque in eccesso del giardino pluviale posto a quota superiore di defluire verso l'altro giardino pluviale.

I due rain garden sono stati progettati in serie, il troppo pieno del primo rain garden è collegato al pozzetto di ingresso del secondo rain garden tramite un tubo in PVC con un diametro di 0,16 m. La quota del troppo pieno è posizionata più in alto rispetto al pozzetto di ingresso del secondo rain garden. L'acqua fluisce verso il secondo giardino quando la quota del pelo libero nel primo supera gli 0,29 m. Quando anche il secondo giardino pluviale si riempie, l'acqua fuoriesce verso un pozzetto di uscita con una capacità di 1 m³, dove è stato posizionato un secondo strumento di misurazione del livello.

Per la realizzazione dei due giardini pluviali è stato necessario uno scavo fino a una profondità di 2 m, con successiva rimozione del terreno. Lo spazio scavato è stato riempito con diversi materiali, partendo dal basso: uno strato di ciottoli misti con uno spessore di 0,7 m, uno strato di ghiaia con uno spessore di 0,15 m, uno strato di sabbia con uno spessore di 0,15 m e infine uno strato di suolo ammendato, composto per circa il 50% da sabbia di fiume, il 20% da concime ammendante compostato e il 30% da terreno naturale rimosso durante lo scavo, con uno spessore di 0,6 m. La parte più superficiale dei giardini pluviali ha la forma di un piccolo vaso ed è abbellita dalla piantumazione di piante erbacee e arbustive, che svolgono sia una funzione idrologica che estetica.



Figura 11: Rain garden Via dei Prati in maggio 2023

3.1.3 Laghetto di Giavenale



Figura 12: Foto bacino di espansione a Giavenale, (Progetto LIFEbeware)

È stato realizzato un bacino di ritenzione nella zona agricola di Giavenale di Schio, situata nella provincia di Vicenza. Questo bacino, che possiede una capacità di 2500 metri cubi, ha un duplice scopo: ridurre il pericolo di alluvione in una zona residenziale nel comune di Marano Vicentino e garantire una risorsa idrica alle attività agricole anche durante periodi di siccità. Di conseguenza, durante l'estate il bacino viene mantenuto pieno d'acqua per fornire l'irrigazione necessaria, mentre durante l'inverno viene svuotato per ricevere e accumulare il deflusso delle piogge prolungate. L'effetto del bacino nel ridurre il rischio di allagamenti viene misurato in base al volume d'acqua trattenuto durante gli eventi piovosi che potrebbero causare potenziali inondazioni.

3.2 Strumenti di misurazione

3.2.1 Misurazione delle precipitazioni

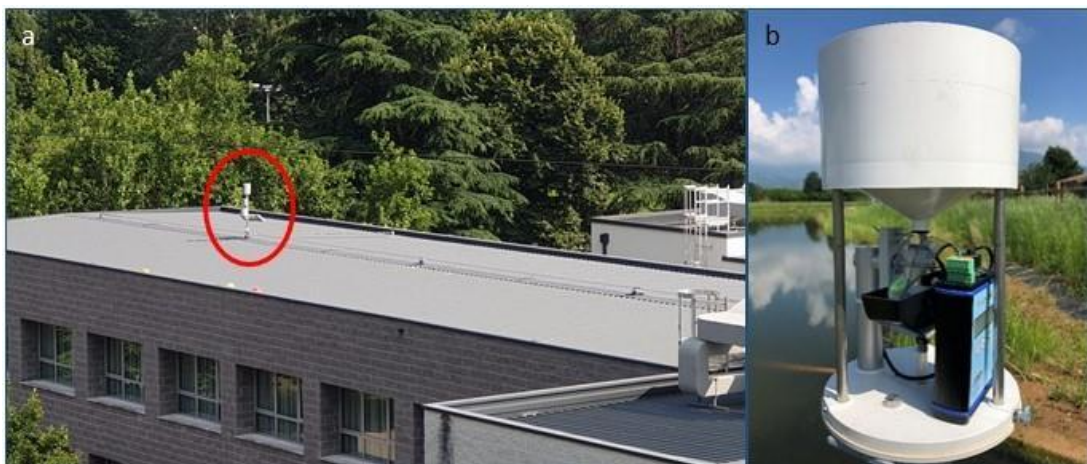


Figura 13: Pluviometri installati a Santorso (a)(RG1), sul tetto della scuola secondaria, e a Giavenale di Schio(b), sulla riva del bacino di ritenzione idrica (RG2), (Report terzo anno)

La misurazione delle precipitazioni è effettuata da due pluviometri (strumenti di monitoraggio della pioggia). Il primo strumento, chiamato RG1, è posizionato sul tetto della scuola secondaria "A. Cipani" a Santorso (fai riferimento alla foto che ti ho messo). Questo dispositivo consente di rilevare le quantità di pioggia che si verificano in due punti di monitoraggio specifici situati a Santorso: il rain garden in piazza della Libertà e il rain garden del cimitero. La distanza di queste strutture rispetto al pluviometro RG1 è inferiore a 800 m e quindi in questo studio assumiamo che la pioggia rilevata dallo strumento sia effettivamente quella caduta in prossimità degli interventi analizzati. Il secondo misuratore, RG2, è collocato a Giavenale di Schio, lungo la riva del bacino di ritenzione idrica.

Il pluviometro RG1 è il modello HD2015 prodotto da Delta Ohm S.r.l. La sua struttura comprende una base metallica su cui poggia una bascula. Un cono raccogli-pioggia, fissato al cilindro in alluminio, convoglia l'acqua all'interno di una delle due vaschette che compongono la bascula. Una volta raggiunto il livello predefinito, la bascula si inclina grazie al proprio peso e l'acqua viene scaricata. Durante questa fase di rotazione, si apre il contatto lamellare normalmente chiuso, inviando un impulso al contatore. La misurazione delle precipitazioni si basa sul numero di volte in cui la vaschetta viene svuotata. La bascula è configurata per raccogliere una quantità di precipitazione di 0,2 mm con un intervallo di tempo di 10 secondi tra le misurazioni. Quando la vaschetta è piena, contiene 4 cm³ di precipitazione. La sua superficie di raccolta è di 200 cm², che corrisponde a una quantità di precipitazione di 0,2 mm o 0,2 l/m². Il numero di impulsi viene rilevato e registrato da un datalogger HD33-M.GSM, che è dotato di un modem 4G/3G/GPRS integrato per consentire la configurazione e il download dei dati registrati in remoto.

In prossimità del bacino di ritenzione a Giavenale, si trova il secondo pluviometro (RG2), (figura 3.2.1). Il modello utilizzato è l'RG50, prodotto da SEBA Hydrometrie GmbH. Questo strumento di misurazione delle precipitazioni è estremamente preciso e offre un'uscita a impulsi per i sistemi di raccolta dati. Dispone di un cuscinetto a sfera e una bascula ribaltabile in plastica con livella e vite di regolazione. Il pluviometro è collegato ad un datalogger (Unilog-Light), che funziona in modo completo con un ingresso a impulsi per la misurazione delle precipitazioni. L'alimentazione è fornita da una batteria interna da 9V. La bascula ribaltabile è stata configurata per raccogliere una quantità di precipitazione di 0,1 mm con un intervallo di tempo di 10 secondi tra le misurazioni. Quando la vaschetta ribaltabile è piena, contiene 2 cm³ di precipitazione. La sua superficie di raccolta è di 200 cm², che corrisponde a una quantità di precipitazione di 0,1 mm o 0,1 l/m². I valori misurati e le informazioni sullo stato possono essere facilmente registrati e visualizzati sul posto attraverso un display LC con un set di tre pulsanti.

3.2.2 Misurazione della portata

Misurazione del deflusso in ingresso

È stato sviluppato e implementato un dispositivo appositamente progettato per monitorare il deflusso dei tre interventi urbani realizzati. Gli interventi includono i Rain garden situati in piazza della Libertà e presso il cimitero in via dei Prati. Il dispositivo è stato progettato con l'obiettivo di garantire un controllo accurato del flusso d'acqua in entrata. Il meccanismo di monitoraggio è composto da un pozzo di raccolta dell'acqua in calcestruzzo e da uno stramazzo (sbarramento in alluminio con

geometria appositamente definita). Il pozzo di calcestruzzo è diviso in due camere: nella prima camera, il deflusso viene intercettato e sottoposto a un pretrattamento per far depositare il materiale solido che potrebbe ostruire la seconda camera, la quale funge da serbatoio di accumulo.

Per consentire una misurazione precisa delle portate è stato realizzato uno stramazzone a doppia sezione rettangolare (calibrato prima dell'installazione nel pozzetto). Al fine di monitorare costantemente il tirante sopra lo stramazzone e, di conseguenza, ottenere informazioni sul flusso che entra negli interventi, è stato installato un trasduttore di pressione all'interno dei pozzi di calcestruzzo. Il dispositivo utilizzato è il Datalogger Dipper PT prodotto da SEBA HYDROMETRIE GmbH, che è dotato di un vano batteria esterno. I Data Logger SEBA tipo Dipper-PT vengono utilizzati per la registrazione digitale dei dati del livello dell'acqua nelle acque sotterranee e di superficie. Il Dipper-PT/PTEC dispone di un'interfaccia RS485 per configurare e calibrare la sonda, recuperare i valori di misura e memorizzare i dati di lettura. Tutte queste funzioni possono essere eseguite utilizzando il software SEBAConfig.

Misurazione del deflusso in uscita

Nel caso in cui le aree raggiungano la loro capacità massima di stoccaggio e infiltrazione delle acque di scolo, è stato predisposto un tubo di troppo pieno per raccogliere l'acqua in eccesso e indirizzarla verso un secondo pozzo di cemento. Questo secondo pozzo ha il compito di misurare i volumi di scarico prima che l'acqua raggiunga il sistema di drenaggio urbano. La dimensione del pozzo (con una sezione planimetrica di 1m^2) consente di misurare con precisione i volumi di deflusso uscente mediante il monitoraggio della variazione del livello all'interno del pozzetto.

Per misurare il livello di flusso all'interno del pozzo, viene utilizzato lo stesso dispositivo impiegato nel pozzo di ingresso: il trasduttore di pressione SEBA Data Logger tipo Dipper-PT. Tuttavia, a differenza del dispositivo di misurazione dell'ingresso, il Dipper-PT in questo caso non è alimentato da una batteria, poiché la frequenza di registrazione è di 30 minuti; quindi, non è necessario l'uso di un alimentatore esterno.



Figura 14: Disposizione dei dispositivi di misurazione in uscita situati nel rain garden di Via dei Prati, (Report terzo anno)



Figura 15: A sinistra, Il trasduttore di pressione SEBA Dipper-PT utilizzato per monitorare la portata sulla cresta dello stramazzo sulla sinistra. A destra, Di seguito è presente una foto che mostra la posizione dello strumento di misurazione del livello nel pozzetto, (Report terzo anno)

3.3 Elaborazione dei dati

3.3.1 Calcolo precipitazione e intensità di pioggia

I dati relativi ai livelli sono stati raccolti presso i siti di intervento, tramite collegamento agli strumenti con PC e il Software SebaConfig, mentre i dati di pioggia vengono giornalmente inviati dal datalogger del pluviometro ad un indirizzo di posta elettronica in un file con estensione .csv. Per ogni giorno sono state individuate l'intensità di pioggia massima [mm/5min] e la pioggia giornaliera complessiva P [mm]. Una volta ottenuti i dati, sono stati elaborati attraverso Excel.

L'analisi delle piogge è stata effettuata per i giorni di precipitazioni compresi tra 7 luglio 2022 e il 30 aprile 2023.

3.3.2 Calcolo portata e volume in ingresso

Per il calcolo della portata entrante sono stati utilizzati i dati del tirante presente nel pozzetto rilevato dai trasduttori di pressione. Si ha portata in entrata solamente se il livello del tirante supera quello dello stramazzo. In tal caso, è stata utilizzata la formula (1) per calcolare la portata in uscita in metri cubi al secondo e in litri al secondo (moltiplicando il valore per 1000). Il valore di tirante presente al di sopra dello stramazzo è dato dal valore del trasduttore di pressione.

Il procedimento per il calcolo della portata entrante consiste nella verifica del livello del pozzetto rispetto all'altezza dello stramazzo nel pozzetto di ingresso. Se il livello risulta inferiore all'altezza dello stramazzo (H_0), alla portata viene assegnato il valore zero.

Quando il livello supera H_0 , viene applicata la relazione proposta da Ferro V., (2011) per lo stramazzo Bazin. Questo tipo di stramazzo presenta un bordo a spigolo vivo che assicura una completa contrazione della vena d'acqua alla base, mentre le pareti del canale impediscono la contrazione sui lati (Citrini, Nosedà, 1975).

Tenendo conto del carico sullo stramazzo (Figura 16), che è il dislivello h ($Liv-H_0$), il livello dell'acqua a monte e il punto più basso del profilo dell'apertura, la scala di efflusso dello stramazzo Bazin, ovvero la relazione tra il carico h e la portata Q , è espressa come segue:

$$Q = C_e L h \sqrt{2gh} \quad (1)$$

Nel caso in cui la velocità della corrente a monte dello stramazzo possa considerarsi praticamente nulla (come in questo caso), il coefficiente di efflusso C_e assume il valore 0,415. La lunghezza della soglia sfiorante, indicata come L , corrisponde alla larghezza dello stramazzo. Poiché lo stramazzo utilizzato presenta una sezione doppia rettangolare, la relazione precedente viene applicata in due fasi.

Quando:

$$Liv - H_0 \leq 0,07 \quad (2)$$

Allora:

$$Q = B_{inf} \cdot \sqrt{2gC_e(Liv - H_0)^{1,5}} \quad (3)$$

Se invece:

$$Liv - H_0 > 0,07 \quad (4)$$

Allora viene considerata anche la sezione rettangolare superiore, di base (L) B_{sup} e altezza h pari a $(Liv-H_0+0,07m)$

$$Q = B_{inf} \cdot \sqrt{2gC_e(Liv - H_0)^{1,5}} + B_{sup} \cdot \sqrt{2gC_e(Liv - H_0 + 0,07)} \quad (5)$$

Dove:

- *Liv*: livello misurato dallo strumento [m]
- *Binf*: base dello stramazzo a sezione rettangolare [m] = 0,4m.
- *Bsup*: base della parte superiore dello stramazzo, tolto il valore di *Binf* [m] = 0,35
- *Q*: portata in ingresso nel sistema [m³/s]

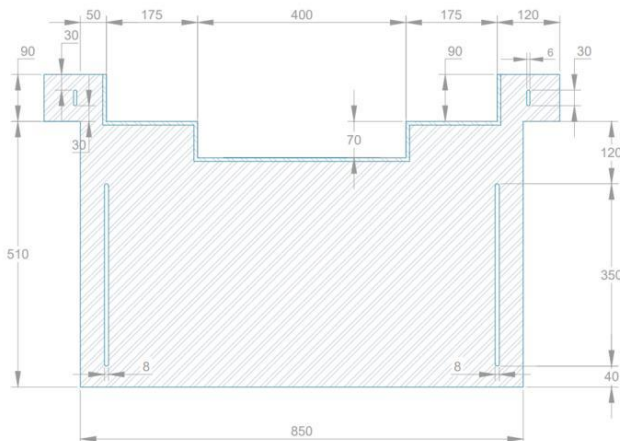


Figura 16: Disegno prospettico dello sbarramento (a sinistra, valori in millimetri) e immagine della sua installazione nella fossa di cemento che funziona come stagno di stramazzo (a destra), (Report terzo anno)

Per il calcolo dei volumi è stata applicata la seguente formula, considerando il valore della portata media nell'intervallo di misurazione del piezometro:

$$V = (Q + Q_p) / 2 \Delta t \quad (6)$$

Dove

V: Volume entrante [m³]

Q: Portata entrante all'istante considerato [m³/s]

Q: Portata entrante all'istante precedente [m³/s]

Δt : Tempo trascorso tra i due momenti considerati [s]

3.3.3 Calcolo volume in uscita

Al fine di analizzare i dati relativi al flusso che fuoriesce dai troppi pieni degli interventi, sono stati posizionati dei pozzetti per raccogliere l'acqua in uscita. All'interno di tali pozzetti è stato installato un trasduttore di pressione per misurare il livello dell'acqua. Grazie alla conoscenza della forma interna del pozzetto (con base quadrata di lato pari a 1 m), è stato possibile determinare il volume dell'acqua in uscita utilizzando i dati di altezza idrometrica. Il volume in uscita è quindi calcolato tramite aumento del tirante all'interno del pozzetto. Ogni 0.001 m di incremento corrisponde a 0.001 m³ di acqua che sono usciti dall'intervento.

3.3.4 Calcolo del volume in ingresso gestito dall'intervento (%)

Per verificare l'effettiva efficacia degli interventi è necessario calcolare la frazione del volume in ingresso gestito dall'intervento. Per calcolarlo è necessario applicare la seguente formula:

$$SE = (V_{in} - V_{out} / V_{in}) / 100 \quad (7)$$

Se $SE < 95\%$ il sito di intervento è considerato poco efficiente.

3.3.5 Calcolo tirante laghetto

Per misurare accuratamente il volume d'acqua trattenuto dal bacino, è stato effettuato un volo con un drone l'8 ottobre 2019. Il volo ha fornito immagini ad alta risoluzione e tramite software METASHAPE© è stata effettuata una ricostruzione topografica del bacino basata sulla fotogrammetria. La longitudine, latitudine e altitudine di 12 punti di riferimento sono stati registrati utilizzando due ricevitori GPS.



Figura 17: Dispositivi utilizzati per il rilievo topografico ad alta risoluzione del bacino di ritenzione vuoto (sullo sfondo), (Report terzo anno)

Il geoprocessing box di ESRI ArcGIS è stato utilizzato per analizzare il modello digitale del terreno. L'algoritmo Surface Volume, disponibile come estensione 3D Analyst, calcola l'area e il volume della regione compresa tra una superficie e un piano di riferimento. Utilizzando il DTM del bacino come piano di riferimento, lo strumento è stato utilizzato per calcolare i volumi di acqua trattenuti dal bacino per diversi tiranti all'interno del bacino. La relazione ottenuta è mostrata in figura 18.

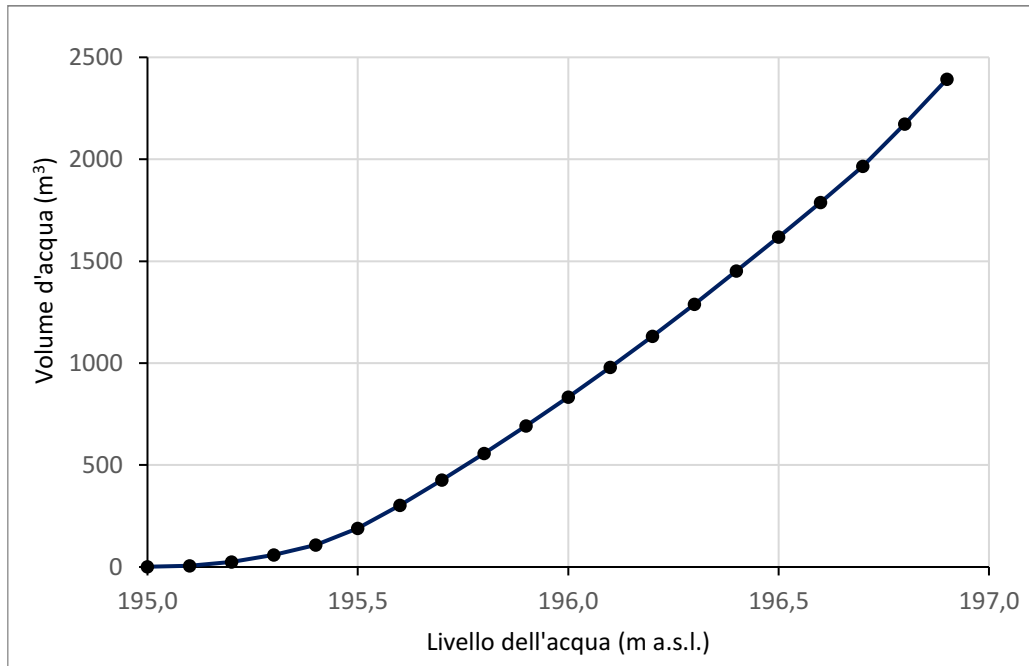


Figura 18: Volume d'acqua presente nel bacino di ritenzione in funzione all'elevazione del livello dell'acqua, (Report terzo anno)

Il livello dell'acqua è costantemente monitorato da un trasduttore di pressione SEBA Dipper-P. L'applicazione della funzione identificata nella Figura 18 ai livelli d'acqua misurati consente di conoscere il volume trattenuto dal bacino nel corso del tempo. Di conseguenza, i metodi adottati permettono di misurare l'acqua trattenuta dal bacino dopo eventi di pioggia potenzialmente alluvionali.



Figura 19: Il tubo in PVC forato installato sulla sponda del bacino che ospita il trasduttore di pressione per misurare il livello dell'acqua, (Report terzo anno)

4- RISULTATI

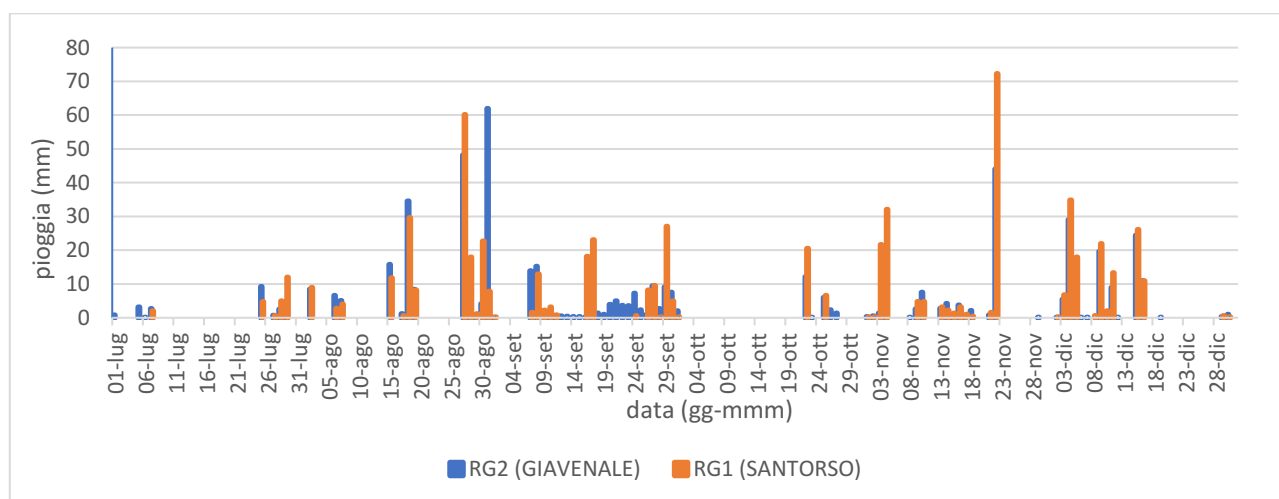
L'obiettivo di questo studio è analizzare il comportamento delle strutture realizzate all'interno del progetto Life Beware durante il periodo compreso tra luglio 2022 e aprile 2023, per quanto riguarda gli interventi effettuati in Piazza della Libertà e via dei Prati. Di seguito vengono riportati i risultati delle analisi effettuate riguardo alle precipitazioni e ai dati di volume entrante e uscente dagli interventi di drenaggio urbano localizzate nell'alto vicentino.

4.1 Analisi delle piogge

L'analisi delle piogge è stata effettuata dal mese di luglio 2022 al mese di aprile 2023. Sono riportati i valori in Figura 20 relativi ai pluviometri di Santorso (RG1) e di Giavenale (RG2)

La Tabella 1 illustra le precipitazioni mensili registrate negli ultimi sei mesi del 2022 dai pluviometri installati in due località: Santorso (RG1) e Giavenale di Schio (RG2). Nel periodo considerato, l'andamento delle precipitazioni è simile nelle due località, ad eccezione dell'evento piovoso del 31 agosto, in cui le precipitazioni registrate dal pluviometro RG2 sono quasi otto volte superiori rispetto a quelle di RG1. Inoltre, è evidente che spesso l'area geografica di Santorso presenta valori di precipitazione maggiori rispetto a quella di Giavenale.

Figura 20: Grafico a barre che mostra le precipitazioni giornaliere registrate dai due pluviometri nel periodo luglio - dicembre 2022.

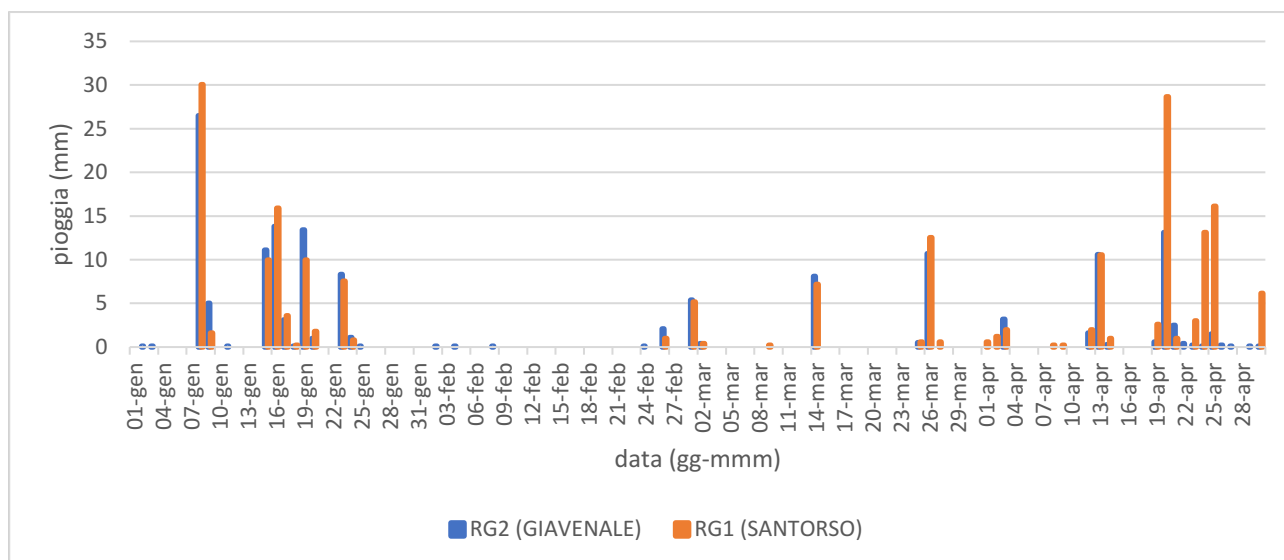


| MESI | RG1 | RG2 |
|---------------------------|----------------|--------------|
| Lug-22 | 24,278 | 21,1 |
| Ago-22 | 175,518 | 211 |
| Set-22 | 112,634 | 92,4 |
| Ott-22 | 27,263 | 24 |
| Nov-22 | 148,852 | 85,6 |
| Dic-22 | 135,32 | 116,5 |
| Totale complessivo | 623,865 | 550,6 |

Tabella 1: Precipitazioni mensili raccolte dai due indicatori di pioggia installati nel periodo luglio - dicembre 2022

Di seguito è riportata la Figura 21 che illustra le precipitazioni mensili registrate dai pluviometri installati in due località, Santorso (RG1) e Giavenale di Schio (RG2), nel periodo da gennaio 2023 ad aprile 2023. L'andamento delle precipitazioni è simile nelle due località, ad eccezione degli eventi piovosi di fine aprile a Santorso, che sono risultati più abbondanti rispetto a quelli registrati a Giavenale.

Figura 21: Grafico a barre che mostra le precipitazioni giornaliere registrate dai due pluviometri nel periodo gennaio - aprile 2023.



| MESI | RG1 | RG2 |
|---------------------------|----------------|------------|
| gen-23 | 81,391 | 83,8 |
| feb-23 | 0,995 | 2,5 |
| mar-23 | 26,666 | 25,1 |
| apr-23 | 88,356 | 34,6 |
| Totale complessivo | 197,408 | 146 |

Tabella 2: Precipitazioni mensili raccolte dai due pluviometri installati nel periodo gennaio – aprile 2023

Sono stati riportati in tabella 3 i giorni piovosi e la pioggia cumulata da luglio 2022 ad aprile 2023

| | lug-dic 2022 | | gen-apr 2023 | |
|------------|----------------|--------|----------------|-------|
| | eventi piovosi | mm | eventi piovosi | mm |
| RG1 | 60 | 623,9 | 32 | 197,4 |
| RG2 | 82 | 550,6 | 39 | 146 |
| Tot | 142 | 1174,5 | 71 | 343,4 |

Tabella 3: Valori di eventi piovosi e pioggia cumulata divisi per periodo

4.2 Rain garden piazza della Libertà

A partire da luglio 2022 fino ad aprile 2023, i dispositivi di misurazione installati in Piazza della Libertà hanno raccolto dati. Di seguito è riportata una tabella riassuntiva degli eventi di pioggia che hanno attivato il rain garden. In Tabella 4 sono riportati gli eventi di pioggia che hanno generato deflusso in entrata e i relativi valori di volume entrante/uscente e la frazione di volume gestito dall'intervento.

| Data | Precipitazione (mm) | Massima intensità di precipitazione in 5 min (mm/h) | Volume in entrata (m ³) | Volume in uscita (m ³) | Frazione del volume in ingresso gestito dall'intervento (%) = SE |
|---------------|---------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| 27-28/08/2022 | 78,0 | 5,4 | 35,20 | 0,069 | 99,8 |
| 16-17/09/2022 | 41,2 | 3,4 | 7,91 | 0,412 | 94,8 |
| 04/11/2022 | 32,0 | 2 | 11,51 | 0,123 | 98,9 |
| 22/11/2022 | 72,2 | 2 | 16,19 | 0,104 | 99,4 |
| 04/12/2022 | 34,8 | 1,2 | 3,03 | 0,082 | 97,3 |
| 20/04/2022 | 28,7 | 0,8 | 2,54 | 0,006 | 99,8 |
| 24-25/04/2022 | 29,3 | 1,2 | 1,30 | 0,008 | 99,4 |

Tabella 4: Volume di ingresso e di uscita misurato nel rain garden di Piazza della Libertà

Il deflusso ha innescato il giardino pluviale in 7 occasioni durante l'intervallo di tempo considerato, per un totale di 76.96 m³ entrati e 0,8 m³ usciti.

Tutte le acque provenienti dal rain garden sono state sempre raccolte dal pozzetto di uscita, senza mai verificarsi situazioni di fuoriuscita del flusso. Gli eventi di pioggia che si sono verificati durante questo periodo di monitoraggio sono stati di natura ordinaria, e l'intervento ha dimostrato di essere efficace nel raccogliere e infiltrare praticamente l'intero volume di acqua di deflusso prodotto dalla superficie impermeabile del parcheggio. Ciò conferma l'efficacia dell'intervento nella gestione di tutti i flussi generati da questo tipo di evento pluviometrico.

Notiamo che nei giorni 16-17 settembre 2022 il valore di SE è pari al 94.8 % (il più basso nel periodo analizzato in questo studio). Considerando che si tratta dell'evento più intenso del periodo analizzato, il rain garden non è riuscito a gestire 0.41 m³. Probabilmente è stato dovuto ad una precipitazione abbondante in quei giorni che non ha permesso al rain garden di assorbire velocemente tutta l'acqua caduta.

Per quanto riguarda gli altri eventi il rain garden ha risposto bene ai volumi d'acqua entrati avendo un'efficienza sempre maggiore del 95%.

4.3 Rain garden via dei Prati

A partire da luglio 2022 fino ad aprile 2023, i dispositivi di misurazione installati in via dei Prati hanno raccolto dati. In tabella 5 sono riportati gli eventi di pioggia che hanno generato deflusso in entrata con i relativi valori di volume entrante/uscente e la frazione di volume gestito dall'intervento.

| Data | Precipitazione (mm) | Massima intensità di precipitazione in 5 min (mm/h) | Volume in entrata (m ³) | Volume in uscita (m ³) | Frazione del volume in ingresso gestito dall'intervento (%) |
|-----------|---------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 05-06 lug | * | * | 1,53 | 0,007 | 99,5 |
| 25-26lug | 4,8 | 1,4 | 1,21 | 0,002 | 99,8 |
| 29-lug | 11,9 | 2 | 3,95 | 0,006 | 99,8 |
| 02-ago | 9,0 | 1,8 | 2,30 | 0,008 | 99,7 |
| 15-16 ago | 11,7 | 1,2 | 3,08 | 0,006 | 99,8 |
| 18-ago | 29,7 | 4,2 | 7,19 | 0,015 | 99,8 |
| 19-ago | 8,2 | 2 | 4,58 | 0,009 | 99,8 |
| 27-ago | 60,1 | 5,4 | 30,47 | 0,478 | 98,4 |
| 28-ago | 17,9 | 4,4 | 1,21 | 0,007 | 99,4 |
| 30-ago | 22,7 | 6 | 9,24 | 0,002 | 100,0 |
| 31-ago | 7,8 | 1,4 | 5,86 | 0,01 | 99,8 |

| | | | | | |
|---------------|------|-----|-------|-------|-------|
| 08-set | 12,9 | 1,8 | 7,46 | 0,008 | 99,9 |
| 16-set | 18,1 | 3,4 | 5,15 | 0,002 | 100,0 |
| 17-set | 23,1 | 2,2 | 23,75 | 0,013 | 99,9 |
| 26-set | 8,2 | 0,8 | 2,16 | 0,004 | 99,8 |
| 27-set | 9,6 | 0,6 | 3,82 | 0,004 | 99,9 |
| 29-set | 27,1 | 6,8 | 3,64 | 0,012 | 99,7 |
| 22-ott | 20,5 | 1 | 1,98 | 0,009 | 99,5 |
| 04-nov | 32,0 | 2 | 23,58 | 0,033 | 99,9 |

Tabella 5: Volume di ingresso e di uscita misurato nel rain garden di Via dei Prati

*Dati mancanti

Nel presente sito di intervento si è osservato deflusso in ingresso al giardino pluviale in 19 delle giornate comprese nel periodo analizzato, per un totale di 142,16 m³ di acqua entrati e 0,64 m³ usciti.

Tutte le acque provenienti dal rain garden sono state sempre raccolte dal pozzetto di uscita, senza mai verificarsi situazioni di fuoriuscita del flusso. Gli eventi di pioggia che si sono verificati durante questo periodo di monitoraggio sono stati di natura ordinaria, e l'intervento ha dimostrato di essere efficace nel raccogliere e infiltrare praticamente l'intero volume di acqua di deflusso prodotto dalla superficie impermeabile. Ciò conferma l'efficacia dell'intervento nella gestione di tutti i flussi generati da questo tipo di evento pluviometrico.

Comparando l'evento del 16 e 17 settembre 2022, tale rain garden ha gestito efficacemente l'evento piovoso verificatosi, a differenza del rain garden di Piazza della Libertà.

Per quanto riguarda gli altri eventi il rain garden ha risposto bene ai volumi d'acqua entrati essendo sempre SE > 95%.

4.4 Laghetto di Giavenale

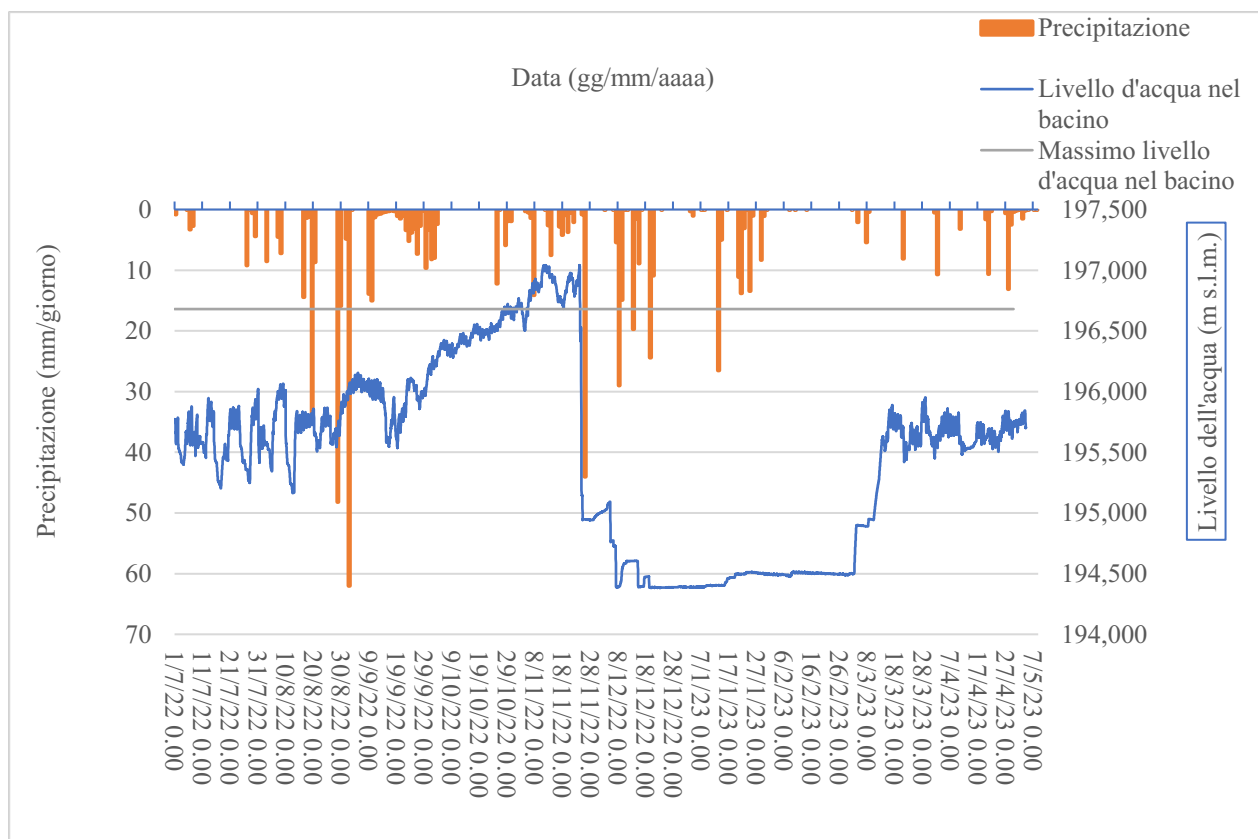
L'analisi dei dati raccolti dal piezometro situato nel bacino di ritenzione in località Giavenale ha permesso di capire l'effettivo volume di acqua presente all'interno dell'intervento nel periodo di tempo analizzato. La Tabella 6 illustra le precipitazioni registrate da RG2 e il livello dell'acqua misurato nel bacino durante il periodo luglio 2022 – aprile 2023. Il volume presente nel bacino mostra fluttuazioni giornaliere dovute all'attività di irrigazione nel periodo da luglio a novembre e da fine marzo ad aprile. Il "Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta" (CB-APV, partner del progetto) fornisce costantemente acqua, che ogni giorno riempie parzialmente il bacino. Allo stesso tempo, le aziende agricole prelevano acqua dal bacino per l'irrigazione. Le operazioni di irrigazione di solito avvengono al mattino, e le sezioni del livello di flusso sono generalmente segnalate tra le 8:00 e le 12:00. Di conseguenza, durante il periodo estivo non è possibile determinare con precisione il contributo del bacino nell'attenuazione del rischio di alluvione.

Tuttavia, osservando la Tabella 6, si può notare che per la maggior parte degli eventi piovosi, il bacino non è mai stato riempito completamente. Un'eccezione si verifica da 27 ottobre al 24 novembre, quando si registra il livello massimo di acqua nel bacino, superiore al limite massimo, a causa di una riduzione delle operazioni di irrigazione. Dal 24 novembre il bacino è stato svuotato.

A differenza del periodo estivo, durante il periodo invernale l'acqua che entra nel bacino proviene solo dalle piene causate dagli eventi piovosi. Di conseguenza, è possibile valutare con precisione il contributo del bacino nella mitigazione del rischio di alluvione in base al volume di acqua immagazzinato. Nel periodo analizzato non ci sono stati eventi piovosi tali da richiedere una mitigazione del flusso e quindi per quello il bacino non si è riempito.

Tuttavia, attorno al 17/01 un piccolo evento ha fatto alzare il livello del laghetto. Infatti, dal 15 al 18 gennaio 2023 sono caduti 41,5 mm di pioggia che hanno portato il laghetto dal livello base di 194,39 mm a 194,51 m s.l.m.

Tabella 6: Precipitazioni registrate dal pluviometro di Giavenale e livello dell'acqua nel bacino da luglio 2022 ad aprile 2023.



Basandoci su questi risultati, possiamo dedurre che l'intervento si è dimostrato efficace nel suo funzionamento, in grado di affrontare con successo eventi più intensi (come forti piogge e/o periodi di scarsità d'acqua più prolungati) rispetto a quelli finora osservati.

5- DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

L'obiettivo principale dei SUDS è gestire le acque piovane che interessano le aree urbanizzate al fine di ripristinare l'equilibrio idrologico favorendo l'infiltrazione e l'evapotraspirazione, riducendo i flussi e il carico di inquinanti nei corpi idrici. Il monitoraggio dei sistemi di bioritenzione fornisce informazioni sulle prestazioni di tali soluzioni in relazione alle loro dimensioni e caratteristiche, come la composizione del substrato e degli strati drenanti. Attraverso il monitoraggio è possibile valutare quantitativamente le performance delle misure adottate, sia in termini di riduzione dei volumi di deflusso che di riduzione del carico di inquinanti. Questa tesi si focalizza sull'analisi degli effetti quantitativi, ovvero sulla valutazione delle riduzioni dei volumi di deflusso.

Dal luglio 2022 all'aprile 2023 sono stati esaminati gli effetti di due SUDs realizzati nel contesto del progetto BEWARE. Con riferimento agli obiettivi dello studio, è stata condotta un'analisi quantitativa dei volumi di acqua in ingresso e in uscita dai due sistemi, ottenendo risultati positivi in termini di efficacia nella riduzione dei volumi per ogni evento di pioggia considerato. Durante questo periodo di monitoraggio, gli eventi di pioggia sono stati di natura ordinaria ed entrambi gli interventi hanno permesso l'accumulo e/o l'infiltrazione di praticamente l'intero volume di acqua di deflusso prodotto dalla superficie servita dai SUDS. Ciò conferma l'efficacia degli interventi, almeno per quanto riguarda la gestione dei flussi generati da eventi con un basso tempo di ritorno.

L'analisi del monitoraggio delle due infrastrutture NBS ha evidenziato una significativa efficacia complessiva nel catturare e gestire il deflusso dell'acqua attraverso processi di infiltrazione e ritenzione superficiale, il volume d'acqua che fuoriusciva dalle strutture era estremamente ridotto, con un valore massimo osservato di soli $0,5 \text{ m}^3$. In generale si può constatare una buona performance delle strutture nel gestire la frazione di deflusso dell'acqua.

BIBLIOGRAFIA

- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in water resources*, 51, 261-279.
- Kazak, J. K., Chruściński, J., & Szewrański, S. (2018). The development of a novel decision support system for the location of green infrastructure for stormwater management. *Sustainability*, 10(12), 4388.
- Lucia Bortolini, *Irrigazione e gestione dell'acqua nelle aree verdi - Materiale didattico*. Padova: Cleup, 2022.
- Salata, K. D., & Yiannakou, A. (2016). Green Infrastructure and climate change adaptation. *TeMA-Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 9(1), 7-24.
- Trowsdale, S. A., & Simcock, R. (2011). Urban stormwater treatment using bioretention. *Journal of Hydrology*, 397(3-4), 167-174.
- Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R., Kellagher R. (2015), *The SUDS Manual*, CIRIA

SITOGRAFIA

- ARPA Veneto, <https://www.arpa.veneto.it/>
- "Bacini di detenzione e di espansione, " sul sito della Regione Lombardia: <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/cittadini-e-territorio/acqua/bacini-di-detenzione-e-di-espansione>
- "Bacini di espansione e dighe: come funzionano e a cosa servono," - articolo di Eco dalle Città, con una spiegazione delle principali caratteristiche e del funzionamento dei bacini di espansione: <https://www.ecodallecitta.it/bacini-di-espansione-dighe-come-funzionano-e-a-cosa-servono/>
- "Bacini di espansione," sul sito del Consorzio di Bonifica Terre d'Argine: <https://www.consorziogargine.it/bacini-di-espansione/>
- "Bacini di espansione: funzionamento e caratteristiche", su Consorzio di Bonifica del Sarno: <http://www.bonificasarno.it/bacini-di-espansione-funzionamento-e-caratteristiche/>
- Building a Green Infrastructure for Europe, European Commission. (2013), https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure/brochure_green_infrastructure_en.pdf
- Comune di Santorso, <http://www.comune.santorso.vi.it/>
- Comune di Schio, <http://www.comune.schio.vi.it/web/schio/>
- Ente Parco Naturale delle Piccole Dolomiti Vicentine, <https://www.amicipiccoledolomiti.com/il-parco-delle-piccole-dolomiti>
- Green Infrastructure Foundation, <https://www.greeninfrastructurefoundation.org/>
- Parere Comune di Santorso, <https://www.regione.veneto.it/static/www/ambiente-e-territorio/ParereComunedoSantorso.pdf>
- Rapporto del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente sulle infrastrutture verdi, <https://www.unep.org/about-un-environment>

