



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGROFORESTALI

Corso di laurea in

RIASSETTO DEL TERRITORIO E TUTELA DEL PAESAGGIO

Curr. Parchi e giardini

**LE PIANTE DEL RAIN GARDEN DI AGRIPOLIS: VALUTAZIONE DELL'
ADATTABILITÀ ALLE CONDIZIONI IDRICHE**

Relatore:

Dott.ssa Lucia Bortolini

Correlatore:

Dott. Giampaolo Zanin

Laureando:

Enrico Michielan

Matricola n. 618595

Anno Accademico 2012-2013

Ai miei genitori



“Data la causa, la natura opera l’effetto nel più breve tempo che operar si possa.”
L. Da Vinci

Sommario

RIASSUNTO.....	VI
ABSTRACT	VII
PREMESSA	VIII
OBIETTIVI DELLA TESI.....	IX
CAPITOLO 1.....	1
RISORSE IDRICHE: IMPORTANZA E GESTIONE	1
1.1 Gestione delle risorse idriche	1
1.2 Ciclo delle acque meteoriche in ambiente naturale e urbano	2
1.3 Acque meteoriche: gestione sostenibile	6
1.3.1 Low Impact Development (LID) e pratiche di gestione integrata.....	7
CAPITOLO 2.....	11
I BIORETENTION: UN SISTEMA DI GESTIONE SOSTENIBILE	11
2.1 Come realizzare un rain garden.....	12
2.2 Perché realizzare un rain garden.....	13
CAPITOLO 3.....	15
I RAIN GARDEN DI AGRIPOLIS	15
3.1 Scelta e descrizione delle specie vegetali	19
CAPITOLO 4.....	21
STRUMENTI E METODI UTILIZZATI PER LE RILEVAZIONI.....	21
4.1 Determinazione dell'umidità nel terreno.....	21
4.1.1 Strumenti utilizzati	22
4.2 Raccolta dei dati	23
4.3 Rilievi sull'accrescimento delle piante.....	24
4.4 Problemi e cambiamenti effettuati.....	25
CAPITOLO 5.....	27
ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE	27
5.1 Analisi della componente idrologica.....	27
5.2 Osservazioni sulle piante.....	44

5.3 Considerazioni sul comportamento delle specie.....	65
CAPITOLO 6	67
CONCLUSIONI.....	67
BIBLIOGRAFIA.....	69
RINGRAZIAMENTI.....	71

RIASSUNTO

A partire dagli anni '80 abbiamo assistito al progressivo e lento avanzare della cementificazione nei nostri paesi per far fronte alla continua domanda di capannoni, abitazioni, infrastrutture, ecc. Questo però ha provocato tutta una serie di effetti negativi come la difficoltà di allontanare le acque meteoriche, la formazione, in particolare durante il periodo estivo, di cappe di afa nelle nostre città.

Tutti questi fenomeni sono correlati tra loro e dovuti a una sola causa, lo stravolgimento del naturale ciclo dell'acqua, per questo motivo a partire dagli anni '90 si sono studiate e ricercate tutta una serie di Pratiche di Gestione Integrata, dette anche SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), atte a gestire i deflussi meteorologici in modo naturale, ovvero favorendo l'infiltrazione delle acque meteoriche anche in ambiente urbano in modo tale da ristabilire il ciclo naturale dell'acqua. Il principio progettuale adottato è quello del *source control*, in altre parole di controllo delle portate meteoriche laddove si originano, in pratica, invece di raccogliere i deflussi superficiali in tubazioni o reti canalizzate e gestire il flusso a valle nel corpo idrico recettore, si adotta un criterio di gestione decentrata e diffusa in tutto l'ambiente urbano.

Il *Rain Garden* o giardino pluviale è una struttura vegetata che rientra tra le tecniche SUDS. Il progetto è iniziato nel 2011 con la progettazione e realizzazione di due rain garden situati all'interno del Campus di Agripolis, sede della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Padova. Queste strutture sono state poste e dimensionate per ricevere i deflussi da una superficie a tetto di 220 m². Le dimensioni dei due rain garden sono di 10,5 m² il primo e di 21 m² il secondo, ovvero l'uno il doppio dell'altro. Nei due rain garden sono state messe a dimora nove specie di erbacee perenni con un rapporto di piante tra i due giardini pluviali di 2:1.

Dai dati raccolti si è potuto notare che nel periodo Febbraio-Novembre 2012 le due strutture sono riuscite a gestire i deflussi meteorologici che nei mesi di analisi si sono susseguiti, inoltre si è notato che la scelta di alcune specie di perenni utilizzate non è stata fatta correttamente poiché nel periodo tra Luglio e Agosto a causa del caldo intenso e della scarsa piovosità si è dovuto ricorrere a irrigazioni di soccorso che però non hanno impedito la morte di alcune di queste.

ABSTRACT

Since the 80's we have witnessed the slow and progressive advance of overbuilding in our countries to cope with the continuing demand for buildings, housing, infrastructure, etc.. This, however, has caused a number of adverse effects such as the difficulty of removing rainwater, the production, especially during the summer, of hoods of sultriness in our cities.

All these phenomena are related and caused by a single reason, the disruption of the natural water cycle; to resolve this problem, since the 90s have been studied and researched a number of Integrated Management Practices, also known as SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems), designed to manage the meteorology outflows in a natural way, facilitating the infiltration of rainwater in an urban environment as way to restore the natural water cycle. The design principle adopted is that of *source control*, or control meteoric flows where they originate, in practice, instead of collecting the runoff in pipes or pipeline networks and manage the flow downstream in the receiving reservoir, we adopt a criterion of decentralized management and widespread in the urban environment.

The Rain Garden is a vegetated structure which is one of SUDS techniques.

The project began in 2011 with the design and construction of two rain garden located within the Agripolis Campus, head office of the Department of Agriculture of the University of Padua. These structures were located and dimensioned to receive runoff from a roof surface of 220 m². The dimensions of the two rain garden are respectively of 10.5 m² and 21 m², the dimension of the first is the double of the second one. In the two rain garden were planted seven species of herbaceous perennial plants with a ratio between the two rain gardens of 2:1.

From the data collected has been noted that in the period from February to November 2012, the two structures are able to manage the outflows weather during the period of analysis, it is also noted that the choice of some species of perennials was not made correctly because, in the period between July and August due to the intense heat and lack of rainfall, has had to resort to emergency irrigation but did not prevent the death of some of them.

PREMESSA

L'acqua è una risorsa insostituibile per la vita sul nostro pianeta, ha permesso lo sviluppo della vita e l'evoluzione nel corso degli anni della civiltà umana. La sua presenza sulla Terra è molto alta (oceani, laghi, fiumi, ecc.) anche se la quota utilizzabile per scopi umani (acqua potabile) è inferiore, pian piano questa quota si sta riducendo a causa dell'eccessivo e poco attento uso che se ne sta facendo ed anche a causa dei cambiamenti climatici che il nostro pianeta sta attraversando. Ultimamente l'attenzione mondiale si è concentrata sulla gestione della risorsa



Figura 1 Effetti della carenza idrica.

idrica dato che ad essere a rischio, non sono solo le regioni che si trovano in zone aride, caratterizzate da alta densità demografica e da settori economici ad elevato e crescente consumo idrico, ma anche paesi tradizionalmente dotati di risorse idriche abbondanti, poiché viene sempre più minacciata la qualità delle loro acque superficiali e profonde per i ben noti fenomeni d'inquinamento.

Nel breve periodo si è cercato di risolvere questo problema estraendo dal sottosuolo quantità sempre maggiori d'acqua ma questo invece di risolvere il problema lo ha accentuato, poiché l'acqua estratta veniva irrimediabilmente inquinata e quindi diventava non più utilizzabile, oltre al fatto di recare danno agli ecosistemi acquatici. Per questo sono stati fatti degli studi e si sono cercati metodi di gestione delle acque più efficienti e che permettessero il riutilizzo delle acque meteoriche anche in ambiente urbano creando dei bacini di detenzione oppure, dove possibile favorendo l'infiltrazione e quindi il ricarica delle falde e l'eliminazione da parte delle piante di eventuali inquinanti provenienti dalle superfici pavimentate prima di reimmetterla nella rete fognaria. Uno di questi metodi di gestione delle acque è proprio il rain garden o giardino pluviale.

OBIETTIVI DELLA TESI

Lo scopo di questo lavoro di tesi è principalmente quello di valutare la tipologia di piante da impiegare nella realizzazione di un particolare tipo di bioretention, chiamato rain garden o giardino pluviale. Questa sistemazione a verde è situata all'interno del Campus di Agripolis e per lo studio ne sono stati realizzati due di diversa grandezza (uno il doppio dell'altro), ma con medesime caratteristiche al fine di compiere una sperimentazione in Nord Italia ed in particolare sulla Pianura Veneta.

Gli obiettivi sono di valutare:

1. le modalità d'infiltrazione dell'acqua nei due rain garden per mezzo di un sistema di sonde igrometriche poste a diverse profondità nel terreno, queste misurano il contenuto volumetrico di umidità nel suolo ad intervalli costanti di tempo e permettono di individuare il movimento dell'acqua all'interno del profilo del terreno;
2. la risposta della vegetazione impiegata nella realizzazione del rain garden, si voleva analizzare la loro capacità di resistenza alle condizioni pedoclimatiche zonali, oltre al mantenimento di caratteristiche estetiche prolungatamente accettabili nel tempo.

Nel nostro paese questo tipo di sistemazione non è molto conosciuta per cui la possibilità che nel breve termine possa venir utilizzata per la gestione delle acque è molto difficile. Lo scopo di questo lavoro è di dimostrare e fornire dei dati a supporto di una sua futura introduzione in ambiente urbano. Questo lavoro di tesi, dunque, vuole apportare un contributo sperimentale alla reale applicabilità dei giardini pluviali all'interno del nostro territorio.

CAPITOLO 1

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.

1.1 Gestione delle risorse idriche

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 metri³ 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 naturale e 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 i

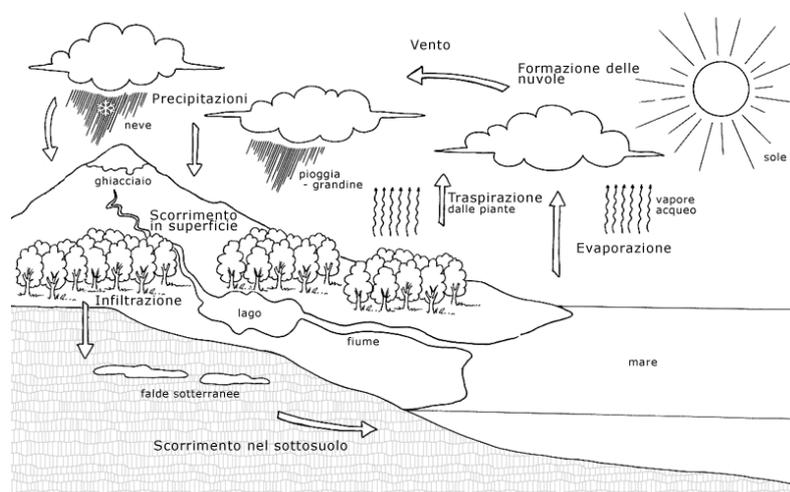


Figura 1.1 Ciclo idrologico naturale.

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.). 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

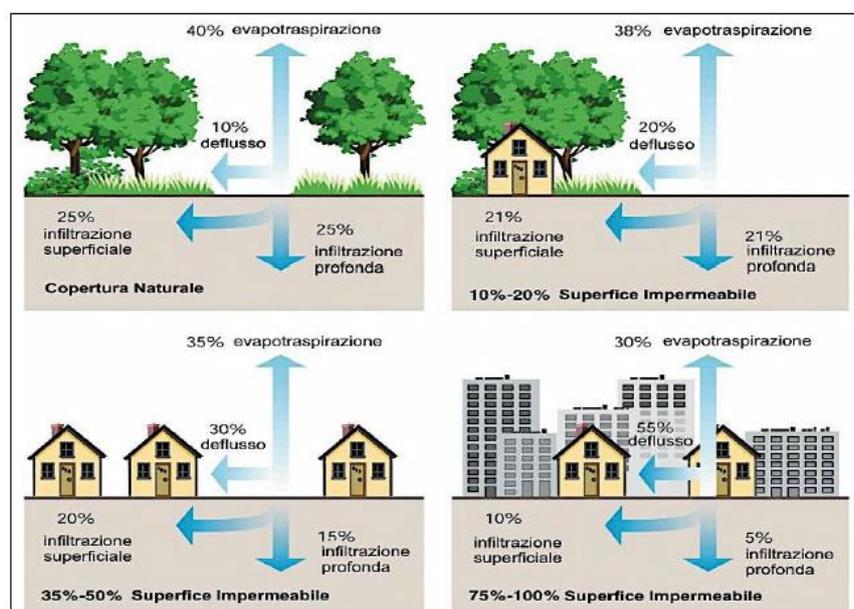


Figura 1.2 Cambiamento del ciclo idrologico con l'avvento dell'urbanizzazione.

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.

Questi volumi elevati di run off, 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.

Ultimamente abbiamo assistito al crescente interesse delle comunità urbane riguardo l'impatto delle acque piovane sull'ambiente cittadino ed in modo particolare nei confronti dell'ambiente acquatico. Questo ha spinto i gestori, che gestiscono i sistemi di drenaggio urbano, a considerare i vari fattori che incidono sulla qualità della natura urbana ed ha permesso la ricerca e lo studio di sistemi di gestione delle acque meteoriche alternativi e più ecosostenibili rispetto a quelli tradizionali.

1.3 Acque meteoriche: gestione sostenibile

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 del 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 anche come SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems). 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 ricettore;
- 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.

Per ricreare il più fedelmente possibile i processi idrografici naturali è necessaria una gestione in serie, questo concetto è fondamentale per la corretta progettazione di un sistema di drenaggio che sia in grado di ridurre l'inquinamento, le portate e i volumi.

Gli obiettivi dei SUDS sono quelli di ridurre l'impatto derivante dall'urbanizzazione sulla quantità e qualità delle acque di deflusso e aumentare la biodiversità. L'obiettivo che si sta tentando di raggiungere si basa su tre concetti di base che si intersecano a vicenda. Questi tre elementi devono avere pari valore in modo tale che la soluzione ideale così ottenuta darà benefici in tutte le tre categorie, il che non è per niente semplice in quanto il risultato sarà influenzato dalle caratteristiche del sito e dai vincoli che gravano su di esso.

1.3.1 Low Impact Development (LID) e pratiche di gestione integrata

Il LID ovvero (Low Impact Development) è stato ideato nel 1990 in America a partire da un progetto sperimentale del Maryland Department of Environmental Resources, avviato nella contea di Prince George in Maryland. Lo scopo del Low Impact Development Center fondato nel 1988 è quello di garantire uno sviluppo sostenibile e contemporaneamente di contrastare o al massimo ridurre gli effetti negativi dovuti ai cambiamenti climatici globali. Questo istituto fornisce informazioni ad organizzazioni ed a coloro che sono interessati alla protezione dell'ambiente e delle risorse idriche attraverso l'utilizzo di tecniche costruttive e di pratiche ad hoc.

Per LID s'intende un approccio allo sviluppo del territorio il più naturale possibile, consentendo una gestione delle acque piovane direttamente alla fonte o in situ e trattandole come una risorsa piuttosto che come un prodotto di scarto. Il Low Impact Development ha ideato e sviluppato una serie di pratiche di gestione integrata, queste sono attualmente usate come sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SUDS). Le principali pratiche di gestione integrata si dividono in:

- *Ammendanti* (soil amendments): gli ammendanti sono delle sostanze di varia natura (organica o chimica) che vengono miscelate con il terreno del sito al fine di migliorarne la struttura chimica e fisica. Questa pratica agronomica ha il compito di rendere il terreno del sito il più adatto possibile allo sviluppo della vegetazione (si cerca di favorire quella autoctona) e in alcuni casi anche di migliorarne la capacità di ritenzione idrica.
- *Bacini di bioritenzione* (bioretention): la dispersione in bacini è particolarmente indicata per l'infiltrazione di acque meteoriche raccolte da varie superfici. Il bacino è costituito da una depressione vegetata il cui terreno è particolarmente sciolto in modo tale da

aumentare la percolazione profonda e la capacità di filtrazione. Questa sistemazione trova un largo impiego nelle aiuole spartitraffico, parcheggi e in tutte quelle aree che presentano lievi depressioni;

- *Pozzi a secco* (dry wells): queste strutture sono costituite solitamente da una buca riempita con materiale sciolto (ad esempio ghiaia e sassi), hanno la funzione di trattenere l'acqua proveniente dai pluviali del tetto. Sono adatti ad aree di piccole e medie dimensioni come parcheggi e aree residenziali, risultano particolarmente utili su pendenze, dove altre strutture non possono essere installate;
- *Fasce filtranti* (filter strips): sono fasce vegetate poste a valle dell'origine di un deflusso superficiale. L'uso di queste sistemazioni è applicabile in aree con pendenze minime del 3-4%, il loro funzionamento è abbastanza semplice, la fitta vegetazione presente riduce la velocità di scorrimento superficiale delle acque favorendo così l'infiltrazione. Sono particolarmente adatte per il trattamento dei deflussi provenienti dalle strade, autostrade, pluviali dei tetti e parcheggi di piccole dimensioni;
- *Fasce tampone* (vegetated buffers): si trovano generalmente tra una fonte d'inquinamento (ad esempio un terreno agricolo) e un corpo idrico, hanno la funzione di trattenere e filtrare i sedimenti, nutrienti e sostanze chimiche trasportate attraverso l'acqua di scorrimento superficiale. Sono caratterizzate dalla presenza di specie erbacee, arbustive ed arboree che oltre a svolgere la funzione di filtro hanno anche il compito di fungere da riparo per la fauna locale. Queste aree controllano le inondazioni, favoriscono la percolazione profonda, il ricarica naturale delle falde acquifere sotterranee e limitano i processi erosivi;
- *Depressioni inerbite* (grassed swales): sono canali tipicamente poco profondi o piccole depressioni inerbite che hanno la funzione di rallentare il ruscellamento dell'acqua superficiale e facilitarne l'infiltrazione. Si trovano generalmente ai lati di superfici impermeabilizzate. L'efficienza di questi impianti dipende dal tipo di terreno utilizzato, dalle dimensioni, dall'inclinazione e dalle condizioni della superficie del suolo. Queste depressioni sono generalmente asciutte e dopo un evento piovoso si svuotano generalmente entro poche ore o al massimo entro due giorni;
- *Trincee d'infiltrazione* (infiltration trenches): sono simili a dei canali di scolo riempiti con materiale sciolto come pietre, sabbia grossa e materiale roccioso; queste strutture sono in grado di accumulare l'acqua durante un evento piovoso e di rilasciarla nel suolo

per infiltrazione. Le loro funzioni oltre a quella sopraindicata sono quelle di eliminare gran parte degli inquinanti mediante l'assorbimento, la precipitazione e la filtrazione. Generalmente le trincee sono utilizzate in serie a dei sistemi di trattamento delle acque in modo tale che elevate concentrazioni di sedimenti, oli e grassi non finiscano per ostruire la canaletta. Sono particolarmente adatte per la gestione delle acque di zone commerciali e residenziali;

- *Separatori idrodinamici* (inlet devices): sono dispositivi interrati che raccolgono l'acqua proveniente da aree pavimentate e attraverso i processi di sedimentazione, separazione permettono l'eliminazione dei sedimenti prima che questi arrivino nel sistema fognario. I separatori possono venir utilizzati singolarmente o in combinazione con altri dispositivi di gestione delle acque piovane. È consigliato l'utilizzo di questi dispositivi in aree in cui vi è scarsa disponibilità di suolo e dove vi siano importanti fenomeni di erosione, il terreno trattenuto da questo sistema può venir raccolto e successivamente riutilizzato.
- *Serbatoi per la pioggia* (rain barrels): tra questi dispositivi si annoverano le botti, piccole strutture situate fuori terra oppure grandi cisterne interrate le quali possono venir allacciate al sistema idrico dell'edificio o anche all'impianto irriguo. Generalmente queste strutture raccolgono le acque provenienti dai pluviali ma non è esclusa la possibilità di convogliare anche le acque provenienti da un sistema di drenaggio. Hanno un costo generalmente contenuto e riducono la quantità d'acqua persa per ruscellamento.
- *Contenitori alberati filtranti* (tree box filter): sono delle strutture contenitive riempite con del substrato poroso sul quale vengono piantati degli alberi generalmente a formare dei filari, sulla superficie di queste strutture vi sono delle grate metalliche o anche in legno su cui è possibile camminare. Si trovano solitamente in aree urbane e hanno la funzione di filtrare le acque meteoriche oltre a trattenere parte di queste acque. Per la realizzazione di questi contenitori oltre ad utilizzare un substrato ad hoc è necessario scegliere delle piante che resistano a periodi siccitosi e a periodi di ristagno idrico, nonché un apparato radicale poco invasivo;
- *Tetti verdi* (vegetated roofs): i tetti verdi sono costituiti da vari elementi come membrane impermeabili e anti-radice, uno strato di materiale drenante, uno di materiale filtrante, un apposito substrato ed in fine la vegetazione. Queste strutture hanno il compito aumentare i tempi di deflusso delle acque meteoriche verso le canalizzazioni, di trattenere le sostanze inquinanti presenti nelle precipitazioni, la vegetazione presente funge da

“volano termico” riscaldandosi e raffreddandosi più lentamente delle strutture murarie, funge da isolante termico e trattiene le polveri sottili oltre a migliorare l'effetto estetico degli edifici ed aumentare le superfici a verde. A seconda della stratigrafia sono in grado di trattenere dal 30 al 90% dell'acqua generata dall'evento meteorico;

- *Lastricati permeabili* (permeable pavers): sono delle superfici lastricate che permettono all'acqua di penetrare attraverso spazi regolarmente intervallati, l'acqua passa attraverso un particolare substrato poroso inerbito e s'infiltra nel terreno sottostante. Queste superfici sono in grado di ridurre o eliminare le tubature sotterranee per il drenaggio, risolvono alcuni problemi relativi al moto superficiale dell'acqua, la ricarica naturale delle falde acquifere e la riduzione dei fenomeni erosivi. Il loro impiego è ottimale per la realizzazione di cortili, piazze, parcheggi e vialetti.
- *Pavimenti permeabili* (permeable pavements): queste strutture vengono realizzate in asfalto o calcestruzzo, l'acqua ha la possibilità di passare attraverso gli interspazi infiltrandosi così nel terreno sottostante. Sono formati da tre strati di cui il primo è in cemento o asfalto ed ha una pendenza uniforme, il secondo da pietre e materiale inerte e in fine l'ultimo strato formato da tessuto geotessile per separare il pietrisco dal terreno sottostante. Queste pavimentazioni hanno la funzione di ridurre il deflusso superficiale, eseguono un'azione filtrante trattenendo gli inquinanti e favoriscono il ricarica delle falde acquifere sotterranee. Sono particolarmente indicate per la realizzazione di parcheggi, passaggi pedonali e nei luoghi in cui sono difficilmente applicabili gli altri metodi di gestione delle acque sopra indicati.

CAPITOLO 2

I BIORETENTION: UN SISTEMA DI GESTIONE SOSTENIBILE

Il bioretention è un sistema biologico adatto a trattenere elementi nutritivi ed inquinanti ed al cui interno avvengono processi come la sedimentazione, l'assorbimento e l'immagazzinamento dell'acqua. Queste sistemazioni sono conosciute anche come rain gardens o giardini pluviali e sono realizzati allo scopo di gestire le acque derivanti da eventi piovosi, di trattenere e di trattare i deflussi superficiali provenienti da aree pavimentate.

Rispetto ai metodi tradizionali di drenaggio questo sistema permette una più efficace gestione delle acque meteoriche nonché di eliminare la gran parte degli inquinanti, presenti nell'acqua. Il miglioramento della qualità dell'acqua raccolta viene garantito dal substrato e dalla vegetazione presente su di esso.



Figura 2 Sezione longitudinale di una struttura bioretention.

I giardini pluviali di norma sono situati in vicinanza della fonte del deflusso e hanno la funzione di rallentare il movimento dei volumi d'acqua provenienti da aree pavimentate, permettendo così a questa di infiltrarsi e di ridurre la sua forza erosiva.

Ad una prima vista ricorda molto un'aiuola di dimensioni più o meno grandi. La particolarità di questa struttura è quella di riuscire a ricreare tutta una serie di processi naturali, che vanno a ridurre gli effetti negativi del ciclo idrologico, come se ci si trovasse all'interno di una foresta.

Un rain garden è quindi un sistema pensato per interrompere il deflusso superficiale nel luogo in cui questo si verifica e dirottarlo in modo tale da favorire la percolazione nel suolo, permettendo l'eliminazione delle sostanze inquinate presenti in essa, attraverso l'assorbimento radicale eseguito dalle piante.

2.1 Come realizzare un rain garden

Per il posizionamento di questa struttura è necessario fare della analisi preliminari del sito in modo tale da poter ottenere il miglior risultato possibile.

L'area di drenaggio da considerare è rappresentata da tutte quelle superfici che convogliano l'acqua piovana in un altro sito come ad esempio i pluviali, vialetti, strade, parcheggi e in generale tutte le aree pavimentate che si trovano all'interno del sito considerato. Un altro parametro, il più importante, è il terreno il quale permette di determinare dove poterlo posizionare per un corretto funzionamento del sistema. Perché un terreno possa venir considerato idoneo è necessario che riesca ad assorbire l'acqua il più velocemente possibile, approssimativamente nel giro di uno o due giorni al fine di non creare ristagni. Generalmente questo problema non si pone in presenza di terreni che contengono una considerevole quantità di sabbia, i quali permettono un buon drenaggio. I problemi sorgono invece quando nella tessitura del terreno è presente una considerevole quantità di argilla, o vi è poco ossigeno e sostanza organica. Per questi tipi di suoli, che non soddisfano i parametri costruttivi del rain garden, è necessario sostituire il terreno del sito con un apposito substrato costituito da una miscela di sabbia (50%), terreno del sito (25%) e sostanza organica (25%).

Un altro parametro importante è la pendenza del sito, in base a questo parametro è possibile determinare la profondità del rain garden, per pendenze superiori al 12% questa struttura non può venir realizzata. Di seguito verranno elencati alcuni valori di pendenza e profondità:

- Con pendenza inferiore a 4% la profondità è compresa tra gli 8 e i 13 cm;
- Con pendenza tra il 5 e il 7% la profondità è compresa tra i 15 e i 18 cm;
- Con pendenza tra l'8 e il 12% la profondità è di circa 20cm.

Una volta determinata la pendenza e quindi la relativa profondità, si può passare alla scelta delle specie vegetali da utilizzare.

Per la sua particolare conformazione il rain garden crea al suo interno delle condizioni di vita molto diverse, questo è dovuto alla diversa presenza dell'acqua all'interno della superficie depressa.

Per semplicità si possono distinguere tre livelli, o zone, in cui sono facilmente individuabili queste condizioni di diversa umidità.

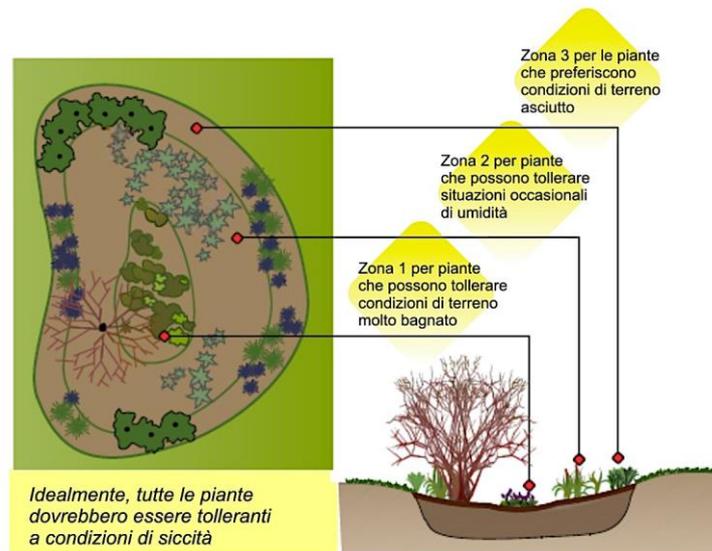


Figura 2.1 Divisione in base all'igrometria del rain garden e tipi di piante da impiegare.

Da quest'immagine (Fig. 2.1) si può facilmente notare la presenza delle tre zone o aree sopracitate, partendo dall'interno e andando verso l'esterno abbiamo:

- Zona 1: parte più interna della struttura che presenta livelli di umidità più elevati, in quest'area sono particolarmente indicate specie igrofile, ovvero che predilige ambienti umidi.
- Zona 2: parte intermedia in cui le condizioni di ristagno sono presenti per un tempo minore, le specie adatte a questa zona devono poter tollerare sia periodi di elevata umidità che di siccità;
- Zona 3: parte distale e più elevata, questa riceverà la minor quantità d'acqua defluita e il substrato presente tenderà a rinsecchire più rapidamente. Le specie adatte a questa fascia marginale sono tendenzialmente mesofile o anche xerofite, ovvero che tollerano di vivere in situazioni con limitata presenza di acqua.

Le piante più adatte a queste condizioni sono quelle autoctone le quali nel tempo hanno sviluppato una particolare resistenza a queste diverse condizioni pedoclimatiche che vengono a crearsi in un giardino pluviale e quindi richiederanno meno cure e manutenzioni.

2.2 Perché realizzare un rain garden

La realizzazione di queste particolari strutture permette di risolvere in parte i problemi legati alla gestione sostenibile delle risorse idriche in ambiente urbano. Questo può avvenire grazie

all'azione filtrante realizzata dalle piante messe a dimora e all'infiltrazione delle acque grazie al particolare substrato molto poroso, tra gli altri vantaggi si possono ricordare:

- riduce i volumi del *runoff* inquinante;
- se adottato su vasta scala, contribuisce significativamente alla riduzione delle inondazioni e allagamenti stradali, risolvendo in parte i problemi di drenaggio;
- riduce i costi di rifornimento e della gestione di infrastrutture idriche;
- richiede poca manutenzione, riducendo il consumo di energia per la gestione del verde, essendo un giardino che si autosostiene per la maggior parte;
- incoraggia la tutela ambientale e l'orgoglio di una comunità;
- crea un habitat per la fauna selvatica grazie alla presenza di specie autoctone;
- aumenta il valore immobiliare di un edificio apportando una qualificazione della struttura dal punto di vista estetico ed ambientale.

CAPITOLO 3

I RAIN GARDEN DI AGRIPOLIS

Questa prova sperimentale si inserisce nell'ambito di un più ampio progetto che è stato avviato a seguito del finanziamento del Progetto di Ateneo intitolato 'Strutture verdi per il controllo dei deflussi in ambiente urbano' e continua tuttora, anche dopo la fine dello stesso. Le attività previste dal progetto sono iniziate ad aprile del 2011 con l'allestimento di un bacino di bioritenzione ed un insieme di due rain garden all'interno del campus di Agripolis, sede della Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria dell'Università degli Studi di Padova.

Nel presente lavoro di tesi si prenderanno in considerazione solamente i rain garden. Per quanto



Figura 3 Campus di Agripolis con i Dipartimenti della Facoltà di Agraria, gli alloggi degli studenti, strutture didattiche, laboratori di ricerca, vari servizi di ristorazione e campi sportivi. Sono presenti anche altre strutture quali la sede della Facoltà di Medicina Veterinaria di Padova, l'Ospedale Veterinario, l'Azienda Agraria Sperimentale Lucio "Toniolo", l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Tre Venezie, e la sede di Veneto Agricoltura. In particolare nel cerchio giallo la Centrale Tecnologica.

riguarda i dettagli progettuali e di realizzazione si rimanda a quanto riportato da Simionato (2011) nel suo lavoro di tesi. In breve, di seguito vengono riportati gli aspetti costruttivi di maggior interesse.

I due rain garden sono situati nello spazio verde posto a nord dell'edificio denominato "Centrale Tecnologica" (Fig. 3), la scelta del loro posizionamento era stata dettata dal fatto che, per la realizzazione di queste due strutture, era necessario che nel sottosuolo non vi fossero tubazioni per il trasporto di servizi (luce, gas, acqua, linee telefoniche).

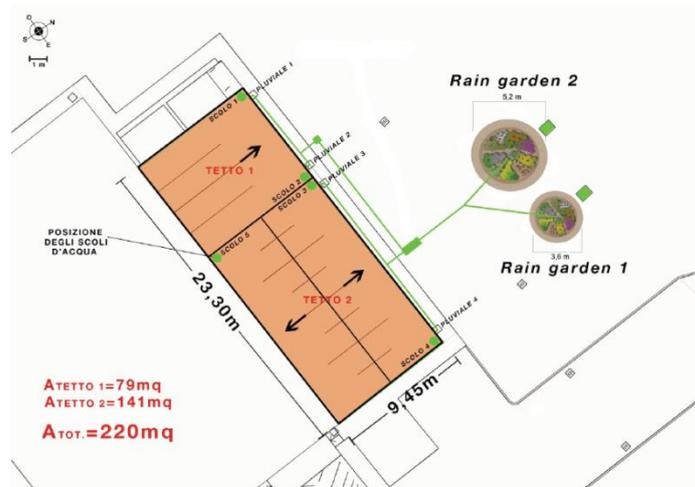


Figura 3.1 Progetto in pianta dell'edificio (Simionato, 2011).



Figura 3.1.1 Prima parte del tetto a falda unica (Simionato, 2011).



Figura 3.1.2 Seconda parte del tetto a doppia falda (Simionato, 2011).

Per il dimensionamento dei giardini pluviali era stato fatto riferimento alla superficie dell'area impermeabile scelta, ossia una parte del tetto della Centrale Tecnologica. Quest'area di tetto di forma rettangolare, ha una superficie complessiva di 220 m^2 . Una prima parte si estende per circa un terzo del totale, con un'area di circa 79 m^2 ed è formata da un'unica falda spiovente con direzione Nord, con due tubi di scolo (Fig. 3.1.1).

Una seconda, invece, è estesa per circa i due terzi della superficie totale, ha un'area di circa 141 m² ed è formata da due falde a spiovente di dimensione leggermente diversa (Fig. 3.1.2). La falda più interna, a ridosso del corpo centrale dell'edificio, ha una larghezza leggermente maggiore rispetto la seconda ed ha un unico tubo di scolo. La falda più esterna invece, di larghezza più ridotta, presenta due tubi di scolo. Il dimensionamento della superficie dei rain garden era stato ottenuto applicando il metodo classico, questo stabilisce che la superficie del rain garden si ottiene moltiplicando l'area di scolo per un coefficiente ottenuto considerando il punto di massima pendenza della zona su cui si vuole costruire il rain garden e il tipo di terreno o substrato impiegato per la realizzazione (Simionato, 2011).

Questi due rain garden sono caratterizzati dal fatto di essere uno il doppio dell'altro; il più piccolo ha un diametro di 3,6 m e una superficie di 10,5 m², mentre il grande ha un diametro di 5,2 m e una superficie di 21 m².

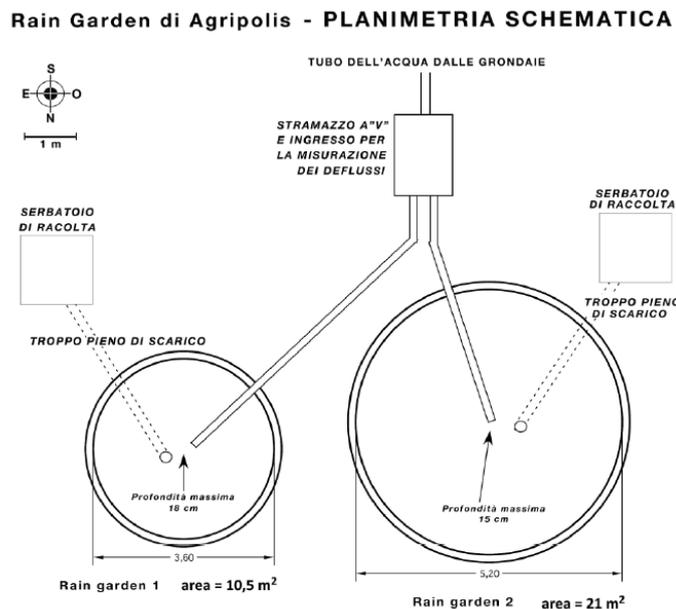


Figura 3.2 Planimetria schematica del sistema per la misurazione dei deflussi (Simionato 2011).

L'acqua generata dagli eventi meteorici viene convogliata attraverso i pluviali fino a raggiungere una vasca in ferro zincato dotata di misuratore di portata a stramazzo, a circa un metro dallo stramazzo è stata posizionata una grata, anch'essa in ferro zincato, la quale ha la funzione di trattenere eventuali impurità presenti sulle falde e trasportate dall'acqua. Subito dopo il misuratore di portata vi è una seconda vasca dotata in prossimità della parte terminale di uno stramazzo "a stracolmo" con setto divisorio che ripartisce equamente la portata tra i due rain garden. Nella vasca con misuratore di portata a stramazzo è stato installato un sistema di misurazione dei deflussi costituito da un data logger (per il salvataggio dei dati) al quale sono

stati collegati un misuratore a galleggiante e un trasduttore piezometrico. Dalla seconda vasca, l'acqua di deflusso viene convogliata verso il centro dei rain garden per mezzo dei tubazioni (Fig. 3.2). Sempre in fase di allestimento dei rain garden, è stato predisposto un tubo di troppo pieno con lo scopo di raccogliere (in un pozzetto) e poter quindi misurare i volumi di deflusso che i rain garden non sono in grado di gestire (Figg. 3.2 e 3.3).

Per la misurazione delle variazioni dei tenori di umidità lungo il profilo del terreno nei due rain garden sono state installate, in fase di allestimento, delle sonde igrometriche e dei data logger; ulteriori particolari verranno spigati nel dettaglio in seguito.



Figura 3.3 Vasca di raccolta dell'acqua e scatola data logger.



Figura 3.4 Seconda vasca a stramazzo con setto divisorio terminale.

Dalle analisi svolte in fase di realizzazione si era determinato che il terreno su cui doveva venir

Tabella 1 Caratteristiche chimico-fisiche del substrato utilizzato nella realizzazione dei rain garden (Simionato, 2011)

<u>Parametro</u>	<u>Unità di misura</u>	<u>Valore</u>
pH		8
Conducibilità elettrica	(mS/cm a 25°C)	1,30
Porosità totale*	% V/V	51,3
Capacità di ritenzione idrica*	% V/V	30,3
Porosità per l'acqua*	% V/V	21
Azoto nitrico	% V/V	13,4
Azoto ammoniacale	% V/V	1,79
Fostati	% V/V	2,51
Potassio	% V/V	108
Calcio	% V/V	17,3
Magnesio	% V/V	4,64
Sodio	% V/V	70,5

realizzato era poco permeabile, così si era deciso di sostituire il terreno fino alla profondità di circa un metro con un substrato appositamente miscelato e costituito dal 50% di sabbia, 25% di compost proveniente dall'Azienda agraria sperimentale e 25% di terreno derivato dallo scavo. Le caratteristiche chimico-fisiche del substrato sono illustrate nella tabella 1.

3.1 Scelta e descrizione delle specie vegetali

La scelta delle specie svolta da Simionato in fase di realizzazione era stata compiuta sia tenendo

Tabella 2 Lista delle specie erbacee perenni di progetto.

SPECIE	CULTIVAR	COLORE DEL FIORE	N° DI PIANTE	
			Rain Garden piccolo	Rain Garden Grande
<i>Aster novi-belgii</i>	"White Ladies"	Bianco	5	9
<i>Bergenia purpurascens</i>	/	Rosa carminio	8	16
<i>Carex buchananii</i>	/	Poco significativo	6	12
<i>Echinacea purpurea</i>	"The King"	Rosso carminio	5	10
<i>Hemerocallis hybrida</i>	"Glittering Treasure"	Giallo	5	10
<i>Iris pseudacorus</i>	/	Giallo	5	10
<i>Lythrum salicaria</i>	"Robert"	Rosso carminio	9	18
<i>Molinia cerulea</i>	/	Brunate	3	6
<i>Rudbeckia fulgida</i>	"Goldstrum"	Giallo con centro scuro	6	12

in considerazione la bibliografia inerente l'impiego della vegetazione per la realizzazione del rain garden, sia la bibliografia riguardante specie che nelle nostre condizioni pedoclimatiche potrebbero dare buoni risultati. Erano state scelte solamente specie erbacee perenni per la facilità di messa a dimora, le dimensioni più contenute a maturità rispetto ad esempio agli arbusti, i risultati più immediati in termini di accrescimento, la semplicità di gestione e per la spesa contenuta.



Figura 3.5 Immagine del tubo di troppo pieno e disposizione delle piante all'interno del rain garden piccolo (Simionato, 2011).

La scelta finale era ricaduta su nove specie, *Aster novi-belgii* ‘White Ladies’, *Bergenia purpurescens*, *Carex buchananii*, *Echinacea purpurea* ‘The King’, *Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’, *Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria* ‘Robert’, *Molinia caerulea* e *Rudbeckia fulgida* ‘Goldstrum’. Le piante di queste specie sono state posizionate in numero diverso nei due rain garden (Tab. 2). Come si può notare nella figura 3.5, le piante di ciascuna specie sono state, per quanto possibile, poste a diversa distanza dal centro in modo da valutare l’effetto della posizione sul loro accrescimento.

CAPITOLO 4

STRUMENTI E METODI UTILIZZATI PER LE RILEVAZIONI

I dati raccolti in questa prova sperimentale sono stati rilevati durante il periodo Febbraio-Novembre 2012, e si dividono in due tipologie:

- determinazione dell'umidità nel terreno;
- rilievi sull'accrescimento delle piante.

4.1 Determinazione dell'umidità nel terreno

Il sistema per la rilevazione dell'andamento dell'umidità lungo il profilo del terreno è stato installato in campo durante la realizzazione dei due giardini pluviali. Questo sistema si compone di una serie di sonde collegate attraverso cavi elettrici a un registratore di dati (data logger). Le sonde sono state fissate (in numero di 5 o 4), con del nastro adesivo, a un'asticella metallica ad altezze prestabilite, al fine di mantenere le sonde a distanze reciproche fisse.

Successivamente le asticelle metalliche con le sonde fissate sono state poste verticalmente all'interno del profilo del terreno avendo cura che queste fossero posizionate orizzontalmente e i singoli cavi di ogni sonda sono stati collegati ai data logger. Questi ultimi sono stati posti in posizione sopraelevata rispetto al livello del terreno, legati a un paletto di legno conficcato nel perimetro esterno del berm (bordo) dei due rain garden. Per garantire l'impermeabilità dei logger sono stati posti due strati di sacchetti di plastica impermeabilizzante, e come copertura finale un sacchetto di carta bianca per cercare di schermare buona parte della luce solare diretta che potrebbe surriscaldare il sistema di registrazione dei dati.

Le acque di deflusso provenienti dalla vasca con lo stramazzo, transitando per due tubi in PVC nero di diametro 10 cm, arrivano al centro dei due giardini pluviali, nel punto di maggior pendenza. Al loro interno è stato studiato un sistema per la misurazione dell'umidità nel terreno in alcuni punti rappresentativi, allo scopo di poter evidenziare il percorso dell'acqua al interno del profilo del substrato. Questo permette di mostrare come l'acqua si infiltri all'interno del substrato dei rain garden, in funzione della quantità di volumi d'acqua percepita durante un evento piovoso.

Sono stati scelti due punti di misurazione per ogni rain garden: un punto centrale, nel punto più basso, e un punto a circa 20 cm dal bordo. Per quanto invece riguarda l'analisi della componente vegetazionale dei due rain garden sono stati utilizzati del metro a nastro e una riga.

4.1.1 Strumenti utilizzati

Per questo tipo di prova è stato scelto un sistema di strumenti formato da una serie di sensori, o sonde igrometriche, collegati a un data logger, che registra il dato raccolto.

Nel dettaglio la strumentazione utilizzata è composta da:

- Sensore di umidità *EC-5*, Decagon Devices Inc, Pullman City, USA;
- Data logger *Em50*, Decagon Devices Inc, Pullman City, USA.

SENSORE DI UMIDITA' EC-5

Questo sensore funziona determinando il contenuto volumetrico d'acqua (VWC). I dati rilevati sono scaricati in continuo in un data logger tramite un segnale analogico.

I sensori di umidità sono stati divisi in due grandi gruppi, in funzione della loro posizione:

- **GRUPPO 1.** Al centro di ogni rain garden sono stati inseriti 4 sensori di umidità, a profondità rispetto la superficie di 10 cm, 30 cm, 50 cm e 70 cm;
- **GRUPPO 2.** Nella parte periferica dei giardini pluviali sono state messe 5 sonde di umidità, a una profondità dalla superficie rispettivamente di 10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm e 90cm.

Questo perché il profilo del terreno è superiore ai margini, a causa della presenza del berm che delimita il perimetro dei due giardini.



Figura 4 Sonda utilizzata per la rilevazione dell'umidità lungo il profilo del terreno

DATA LOGGER *Em50*

L'*Em50* è un data logger integrato capace di leggere e registrare i dati provenienti da cinque sensori, è dotato di alimentazione esterna composta di cinque pile ed è racchiuso in una scatola plastica a tenuta stagna.

Questo logger è dotato di 5 porte per il collegamento dei sensori e una porta COM, per lo scaricamento dei dati nel computer tramite l'apposito cavo fornito con il dispositivo. Il software che permette l'acquisizione dei dati è *ECH2O*, il quale supporta l'installazione sul sistema operativo Windows. I due logger di ogni rain garden sono stati posizionati nella fascia esterna del berm, rialzati da terra tramite un paletto di legno e coperti con del materiale protettivo.



Figura 4.1 Data logger utilizzato per il salvataggio dei dati

4.2 Raccolta dei dati

La raccolta dei dati ha avuto una cadenza tri settimanale, svolta collegando il logger a un computer tramite l'apposito cavo.

L'interfaccia del software *ECH2O* permette di impostare il salvataggio dei valori direttamente nel foglio elettronico (*Excel*), permettendone così un'agevole e semplice elaborazione.

Tra una registrazione dati e la successiva si è scelto un intervallo di 5 minuti, per avere un data-set completo e funzionale a rappresentare il cambiamento della quantità di umidità nel terreno prima, durante e alla fine dell'evento piovoso.

Ciascuna delle quattro letture riporta data e ora assolute in formato "gg/mm/aa hh:mm:ss" (Es.: 01/02/12 12:40:17) e un valore numerico che esprime il contenuto d'acqua volumetrico (Volumetric Water Content), espresso in m^3/m^3 , rilevato in quel momento, secondo una equazione preimpostata e fittizia di conversione di mV in, appunto, m^3/m^3 . Si hanno così 4 salvataggi ad ogni momento di registrazione dati, della parte interna e della parte esterna, per ogni rain garden.

A questo punto, i dati sono stati convertiti in valori di umidità percentuale, specifici del substrato impiegato, tramite una equazione ottenuta da una calibrazione delle sonde. Questa è stata eseguita in laboratorio inserendo le sonde in cilindri contenenti campioni del substrato in prova e portandoli a contenuti noti di umidità. È stata quindi costruita una retta di regressione tra valori di umidità del substrato e valori restituiti dalla sonda. I valori della retta sono serviti poi per ottenere valori di umidità ignota a partire dai valori rilevati dalle sonde. I dati così ottenuti sono stati raggruppati e valutati in funzione dell'evento piovoso, tracciando una serie di elaborazioni grafiche del tipo a dispersione con linee rette. Questi grafici hanno lo scopo di confrontare, per ogni punto in cui sono stati posti i sensori, i movimenti dell'acqua all'interno del profilo di terreno nell'intervallo di tempo.

4.3 Rilievi sull'accrescimento delle piante

Al fine di poter valutare l'adattabilità delle specie impiegate per la realizzazione dei rain garden, sono stati fatti tre rilievi, in tre momenti molto diversi:

- durante la stagione primaverile, il 12 Maggio 2012, nella fase di maggior rigoglio vegetativo;
- durante la stagione estiva, il 13 Luglio 2012, per analizzare il numero d'infiorescenze;
- durante la stagione autunnale, il 5 Novembre 2012, alla fine del ciclo vegetativo annuale.

Nel rilievo del 12 Maggio si è scelto di analizzare l'altezza delle piante in relazione alla distanza dal margine e, dove possibile, il numero di fusti o il numero di accestimenti (a seconda della specie), dato che per alcune di queste è risultato impossibile distinguere le diverse piante.

Con il rilievo del 13 Luglio invece si è valutato il numero d'infiorescenze di ciascuna pianta, ancora in relazione alla distanza di queste dal margine. Nel rilievo del 5 Novembre si è analizzata la produzione di fitomassa prodotta dalle specie analizzate. L'intera parte aerea di ciascuna pianta è stata tagliata al colletto e quindi posta in stufa ventilata a 105 °C per 48 ore per la determinazione del relativo peso secco.

Per mettere direttamente in relazione l'accrescimento delle piante con l'umidità del terreno i dati delle altezze delle piante presenti entro 50 cm dal bordo del rain garden e quelli entro 1 m dal centro, sono stati mediati e correlati al valore medio di umidità del periodo 15 Marzo 2012 al 12 Giugno 2012. Allo stesso modo, i dati relativi alla fitomassa sono stati correlati all'umidità media registrata tra il 15 Marzo e il 6 Novembre.

4.4 Problemi e cambiamenti effettuati

Dopo un inverno passato in stasi, nell'aprile 2012 è stato ripristinato tutto il sistema di rilevamento dei deflussi del rain garden. Fin dall'inizio si sono riscontrati problemi nell'analisi degli eventi piovosi, soprattutto a causa del notevole quantitativo d'acqua scaricato dall'elettropompa nella vasca di raccolta, provocando improvvisi picchi di portata. In più l'elettropompa presente nel pozzetto, che raccoglieva l'acqua dei tre pluviali, era provvista di galleggiante che si bloccava ad una certa altezza e non liberava totalmente il pozzetto a ogni evento, ma conservava acqua fino a un determinato livello che veniva scaricato all'evento successivo. Le sonde in questo modo non registravano correttamente i dati e si creavano dei picchi di portata che celavano il normale evento piovoso.

Le modifiche apportate però non si sono dimostrate sufficienti infatti, al successivo evento piovoso intenso, si è riscontrata una fuoriuscita che ha alterato l'analisi dei dati. Si è deciso, nei primi giorni di giugno, di modificare completamente l'impianto eliminando il tubo corrugato che portava l'acqua alla vasca di raccolta dei pluviali. Facendo questo piccolo ma significativo intervento si è stravolto completamente il lavoro di sperimentazione in quanto, si sono indirettamente escluse le falde del tetto che raccoglievano l'acqua piovana proveniente dai tre pluviali interni all'edificio. Il dimensionamento dei rain garden quindi risultava errato in quanto la somma delle loro superfici risultava maggiore all'area di tetto considerata.

Dopo svariate consultazioni, si è deciso di tappare il foro d'uscita che dalla vasca di raccolta convogliava l'acqua verso il rain garden grande, facendo di fatto funzionare solamente quello piccolo con l'acqua proveniente dalla porzione di tetto che alimenta i due pluviali di sinistra.

L'area di copertura presa in considerazione a seguito delle modifiche è ora di 67 m². Per verificare quale dei due rain garden possedesse una superficie adatta per la nuova area di tetto si è effettuato il dimensionamento del giardino pluviale:

$$\text{sup. area drenaggio } 67 \text{ m}^2 \times \text{coefficiente } 0,15 = 10,05 \text{ m}^2$$

Utilizzando questa formula per entrambi si è riscontrato che quello adatto è quello piccolo. Per

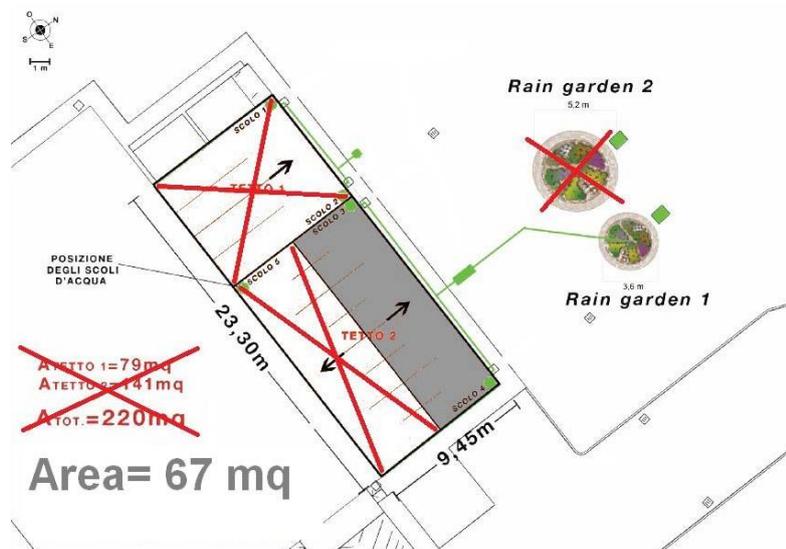


Figura 4.2 Planimetria con nuovo dimensionamento (Brusaferrò, 2012).

quanto riguarda invece il rain garden grande, con area di 21 m², si è deciso di analizzare il comportamento del substrato e della vegetazione in assenza dei deflussi dei pluviali per poter paragonarlo con il vero giardino pluviale.

A partire dal 12 di Giugno si è verificato inoltre un problema con i rilevamenti della sonda di umidità situata nella parte interna del rain garden grande posta a 10 cm di profondità, si pensa che il malfunzionamento sia dovuto al prolungato periodo siccitoso che da Giugno a Settembre 2012 ha colpito la nostra penisola, provocando la perdita di contatto tra il terreno e il sensore, creando dei picchi di umidità ingiustificati in relazione agli eventi piovosi verificatesi.

Si è inoltre provveduto a coprire il substrato dei due giardini con della pacciamatura in pietrisco di due differenti colori; rosato per le parti contenenti le piante e nero sui camminamenti. La presenza di pacciamatura è indispensabile nei rain garden, essa infatti mantiene l'umidità nel suolo e in più impedisce la crescita delle malerbe, protegge il terreno dall'erosione e dall'azione della pioggia battente, evita la formazione della crosta superficiale, diminuisce il compattamento, mantiene la struttura e innalza la temperatura del suolo.

CAPITOLO 5

ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE

Di seguito verranno analizzati i dati raccolti durante il periodo che va dal 20 Febbraio al 6 Novembre 2012. Inizialmente verranno analizzati i dati relativi alla componente idrologica e verranno messi in relazione i dati dei deflussi meteorici interessanti i due rain garden con i dati di umidità del substrato nelle diverse posizioni (centrale ed esterno) e alle diverse profondità (10, 30, 50, 70 e 90 cm). Successivamente si è analizzato l'accrescimento delle piante durante il periodo di riferimento.

5.1 Analisi della componente idrologica

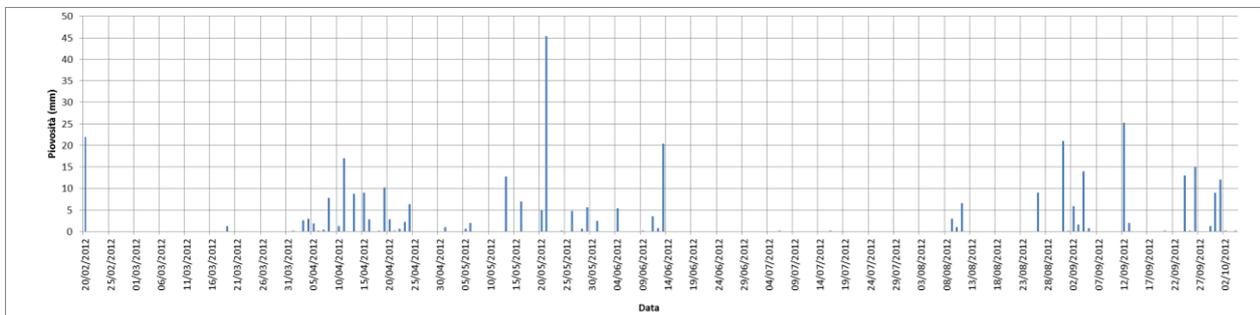


Figura 5 Andamento della pluviometria durante il periodo dal 20 Febbraio al 6 Novembre 2012.

Durante il periodo di analisi, dal 20 Febbraio 2012 al 6 Novembre 2012 sono stati segnalati 48 eventi piovosi (Fig. 5). Questi non sempre hanno dato luogo a cambiamenti di umidità del substrato del rain garden, soprattutto, come ci si attendeva, nelle posizioni più esterne. Infatti le sonde interne del rain garden piccolo hanno rilevato circa 35 variazioni di umidità lungo il profilo del terreno (Figg. 5.1, 5.5, 5.9, 5.13), mentre quelle interne ne hanno rilevati circa 27 (Figg. 5.2, 5.6, 5.10, 5.14).

Per la descrizione dettagliata di quanto è avvenuto dal punto di vista idrologico durante gli eventi di pioggia sono stati scelti ed analizzati quattro eventi significativi ovvero quelli del 4 Aprile, 13 Maggio, 12 Settembre e 26 Ottobre.

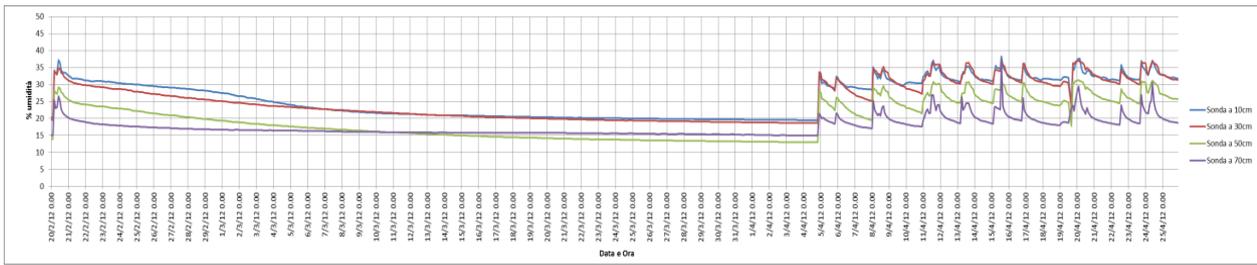


Figura 5.1 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, considerata per il periodo Febbraio – 25 Aprile 2012.

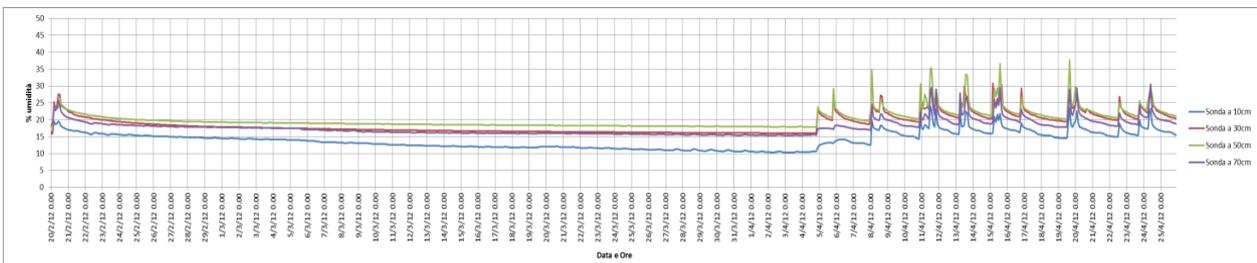


Figura 5.2 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, considerata per il periodo Febbraio – 25 Aprile 2012.

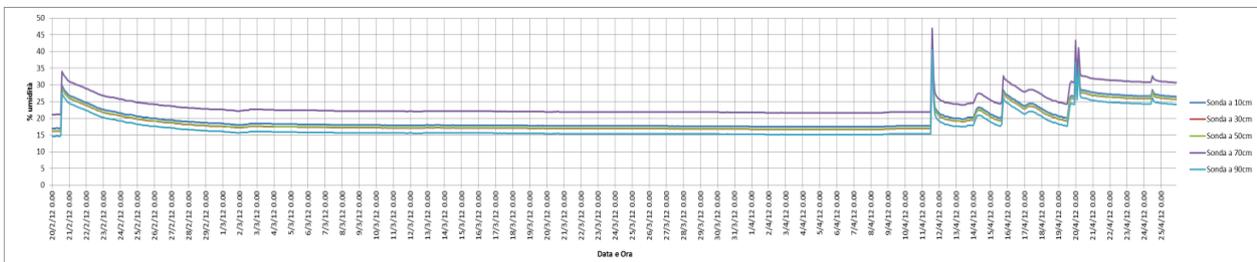


Figura 5.3 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, considerata per il periodo Febbraio – 25 Aprile 2012.

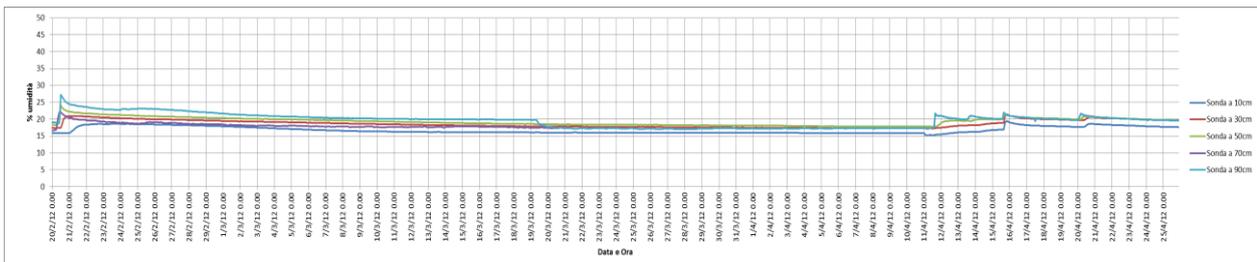


Figura 5.4 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, considerata per il periodo Febbraio – 25 Aprile 2012.

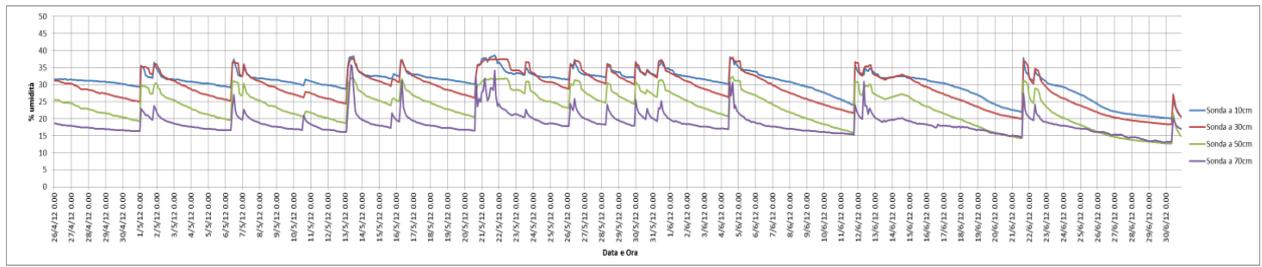


Figura 5.5 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, considerata per il periodo 26 Aprile – 30 Giugno 2012.

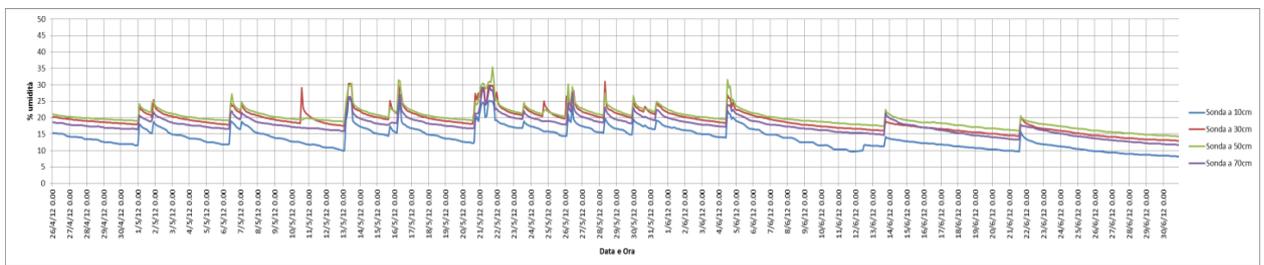


Figura 5.6 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, considerata per il periodo 26 Aprile – 30 Giugno 2012.

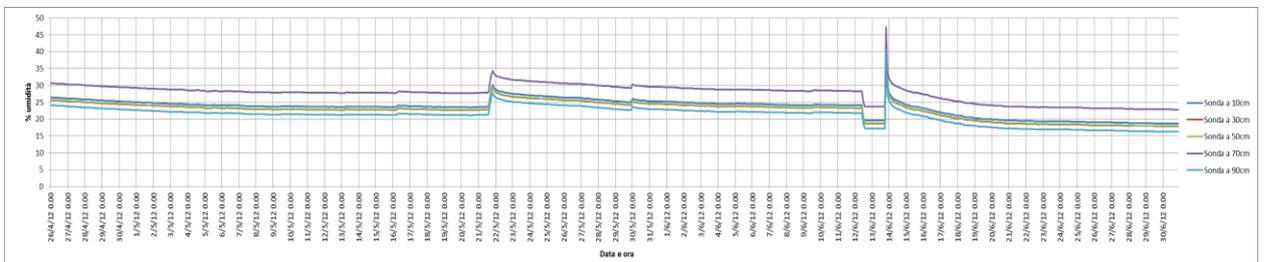


Figura 5.7 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, considerata per il periodo 26 Aprile – 30 Giugno 2012.

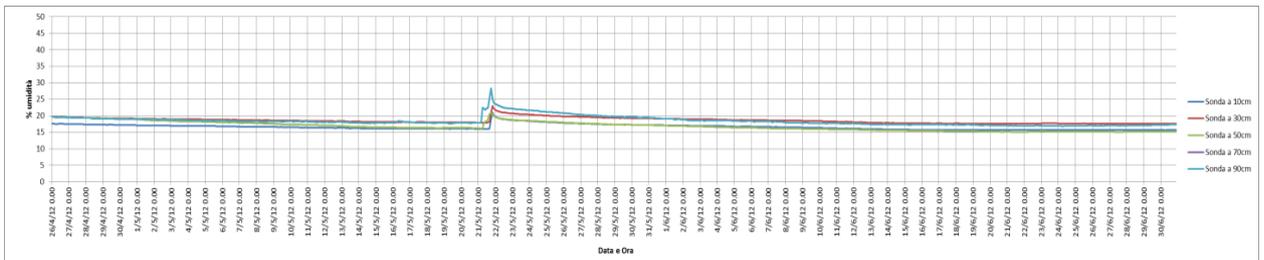


Figura 5.8 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, considerata per il periodo 26 Aprile – 30 Giugno 2012.

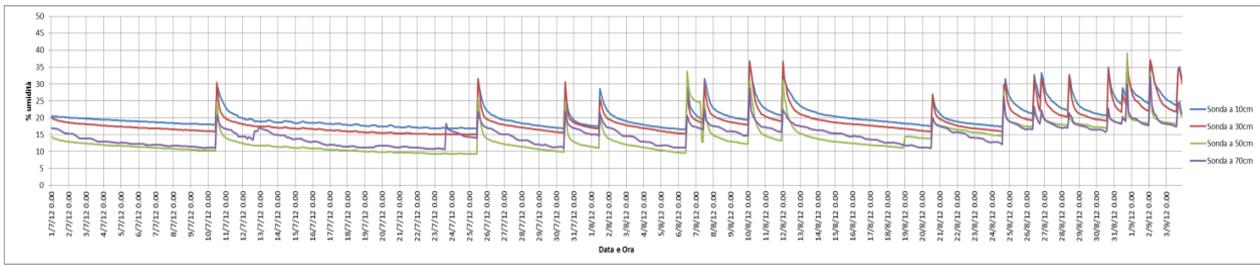


Figura 5.9 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, considerata per il periodo 1 Luglio –4 Settembre 2012.

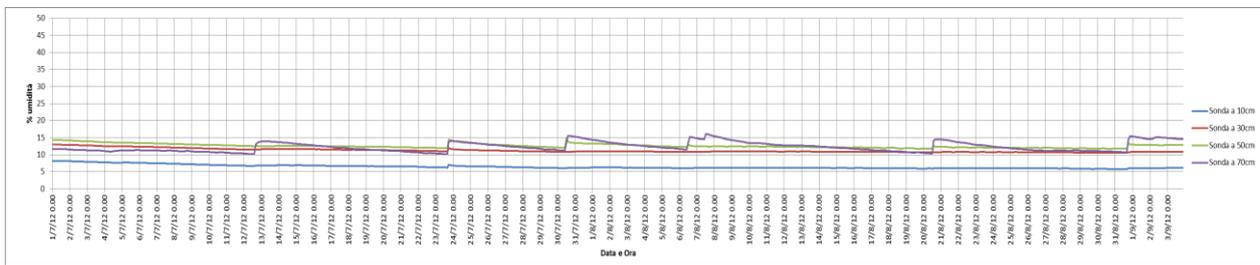


Figura 5.10 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, considerata per il periodo 1 Luglio –4 Settembre 2012.

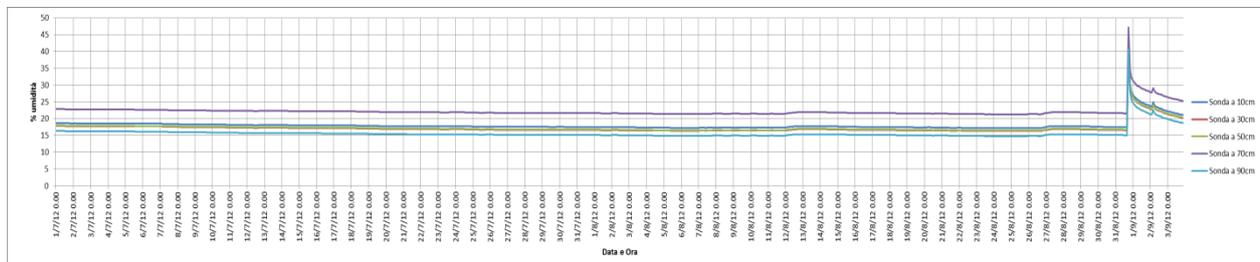


Figura 5.11 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, considerata per il periodo 1 Luglio –4 Settembre 2012.

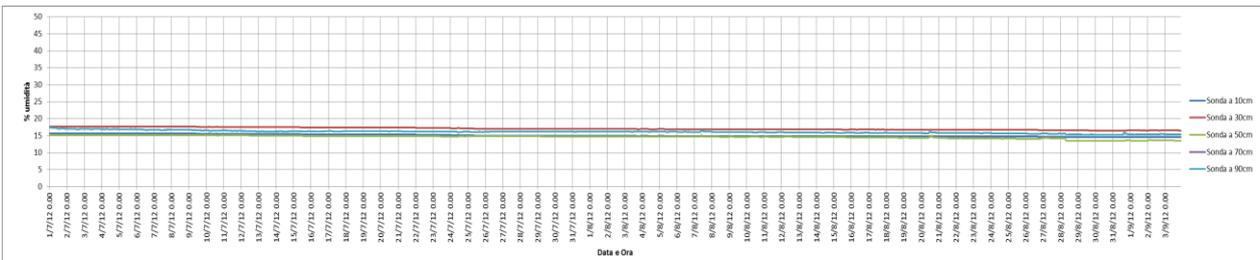


Figura 5.12 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, considerata per il periodo 1 Luglio –4 Settembre 2012.

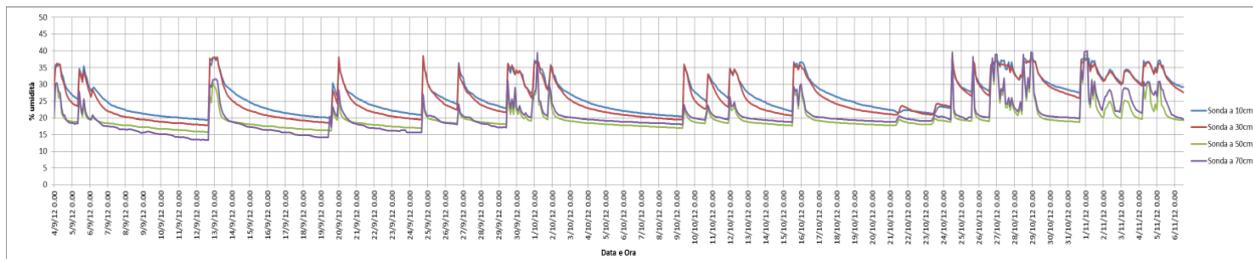


Figura 5.13 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, considerata per il periodo 5 Settembre – 6 Novembre 2012.

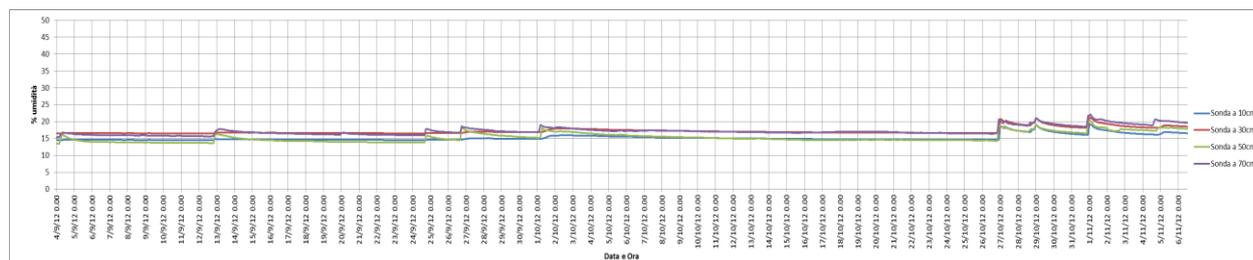


Figura 5.14 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, considerata per il periodo 5 Settembre – 6 Novembre 2012.

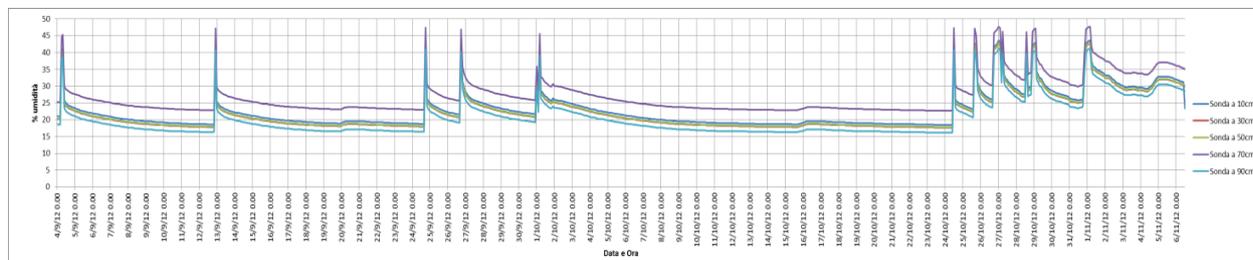


Figura 5.15 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, considerata per il periodo 5 Settembre – 6 Novembre 2012.

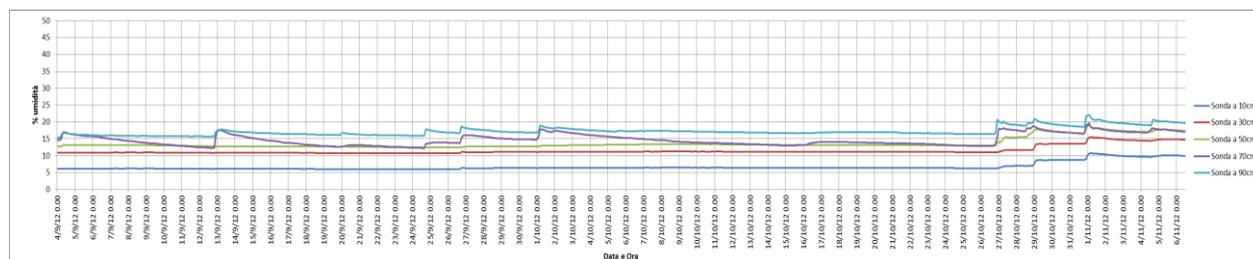


Figura 5.16 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, considerata per il periodo 5 Settembre – 6 Novembre 2012.

4 APRILE

La risistemazione dello stramazzo, avvenuta ad aprile 2012, ha permesso la rilevazione del primo dato di precipitazione il 4 aprile. In corrispondenza di questo evento meteorico l'ARPAV, che ha una stazione meteo nell'azienda agraria dell'Università, ha rilevato 3 mm di pioggia che

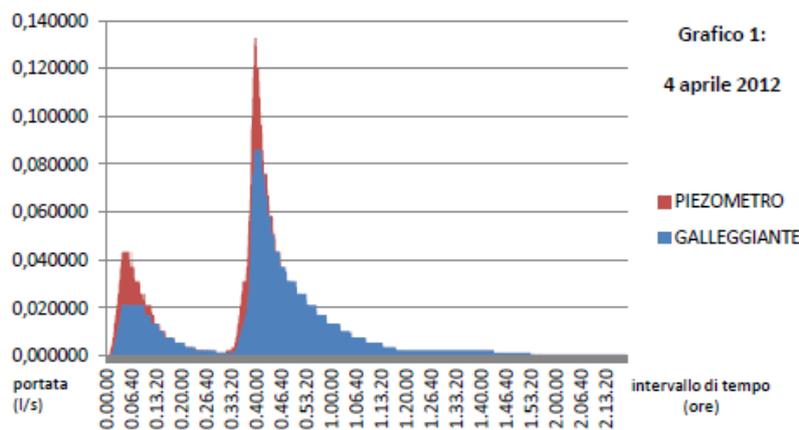


Figura 5.17 Grafico relativo alle portate registrate dagli strumenti durante l'evento del 4 Aprile 2012 (Brusaferro, 2012).

corrispondono teoricamente ad un deflusso di 597 L, mentre il deflusso rilevato dal piezometro e dal galleggiante è stato rispettivamente di 567 L per il primo e di 486 L per il secondo (Brusaferro, 2012). Questo deflusso è stato ripartito tra i due rain garden tramite il setto divisorio, posto nel secondo tramazzo, che suddivide la portata in due quantità uguali (Brusaferro, 2012). Integrati dei volumi di pioggia che hanno interessato direttamente la superficie dei rain garden (3 mm in 10,5 m² e 3 mm in 21 m² pari rispettivamente a 31,5 e 63 L) i deflussi totali intercettati dai due rain garden sono stati di 274,5 L, per il piccolo, e 306 L per il grande.

Se si osservano ora le figure che riportano i valori di umidità delle sonde interne dei due giardini pluviali (Figg. 5.18 e 5.20), si può notare come nel rain garden piccolo sia stata registrata una percentuale di umidità più elevata rispetto a quello grande ma in nessuno dei due casi è stato raggiunto il livello di ponding, ovvero di saturazione del terreno. Infatti, l'umidità massima registrata nella parte centrale del giardino pluviale piccolo (33.7%) ha di poco superato la capacità di ritenzione idrica (=capacità di campo) che è pari a 30.3% (Fig. 3.5), valori ben lontani da quelli di saturazione (51.3%). Spostando ora l'attenzione sulle sonde esterne si può notare come queste non abbiano registrato variazioni di umidità nel profilo del terreno né nel rain garden grande, né in quello piccolo. Questo è da imputare alla particolare conformazione convessa del giardino pluviale le cui parti esterne sono inclinate per cui l'acqua tende a

ruscellare verso il centro senza penetrare in profondità; probabilmente sono necessari eventi piovosi più importanti per avere significative variazioni di umidità.

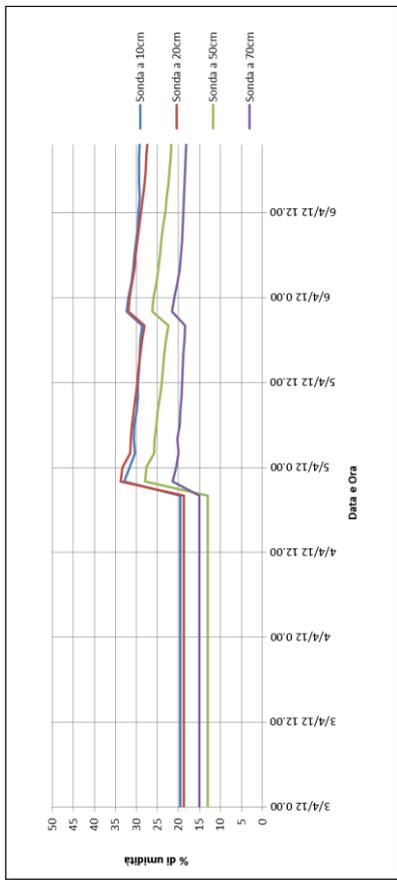


Figura 5.18 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 4 Aprile 2012.

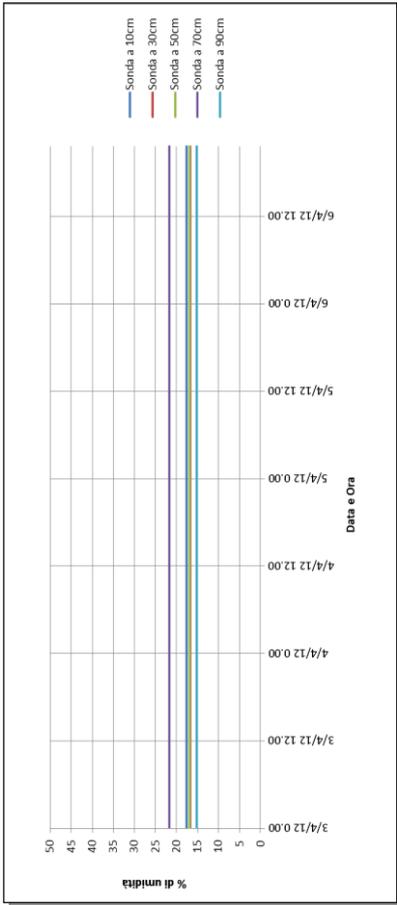


Figura 5.19 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 4 Aprile 2012.

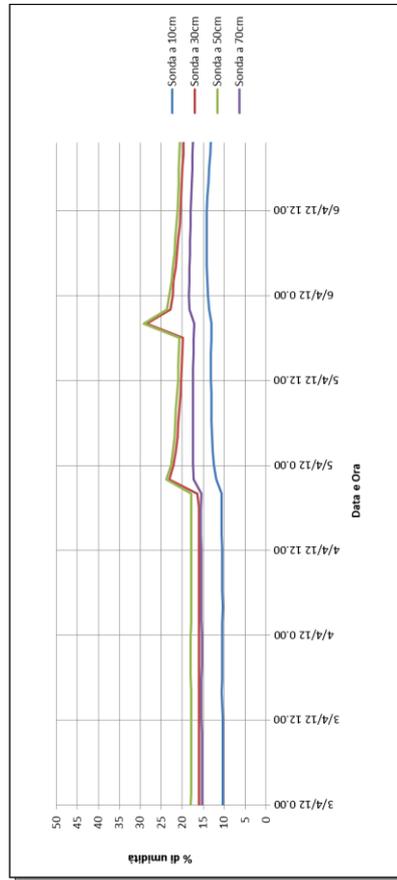


Figura 5.20 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 4 Aprile 2012.

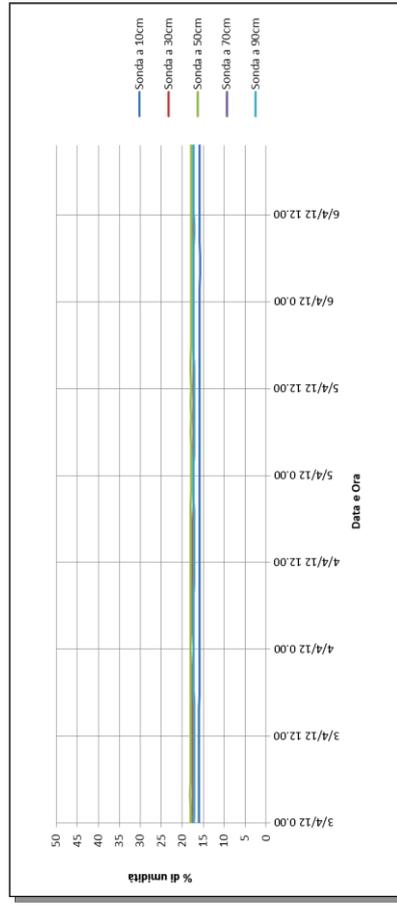


Figura 5.21 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 4 Aprile 2012.

13 MAGGIO

Durante l'evento meteorico avvenuto il 13 Maggio 2012 l'ARPAV ha rilevato una precipitazione di 12,8 mm, che corrispondono teoricamente ad un deflusso di 2546 L, in questo caso il piezometro e il galleggiante hanno rilevato rispettivamente dei deflussi di 4756 L e di 5525 L (Brusaferrò, 2012). Integrando il valore riferito al galleggiante con i volumi di pioggia intercettati dalla superficie stessa dei due rain garden a quello piccolo sono giunti 2896,9 L, mentre a quello grande 3037,7 L. In questo evento intenso si può notare lo svuotamento del pozzetto da parte della pompa, visibile nel picco di portata del grafico che arriva a quasi 2,5 litri al secondo.

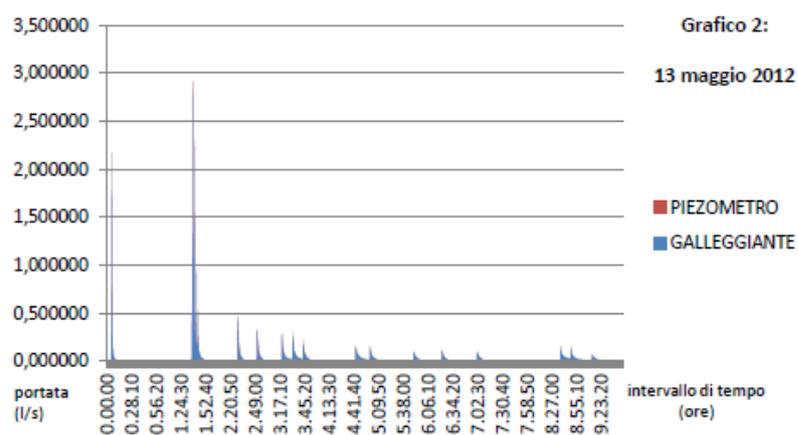


Figura 5.22 Grafico relativo alle portate registrate dagli strumenti durante l'evento del 13 Maggio 2012 (Brusaferrò, 2012).

Le portate create dallo scarico del tubo proveniente dell'elettropompa, avevano causato l'alterazione del reale evento che le sonde avrebbero dovuto rilevare, con risultati estremamente divergenti da quelli reali.

Guardando le figure sull'umidità dei profili dei rain garden si nota che, nella parte centrale di entrambi i rain garden (Figg. 5.23, 5.25), le curve di umidità mostrano un plateau successivo al rapido aumento dei valori che, nel caso di quello piccolo, si è aggirato su valori di circa il 38%. Questo indica che durante questo evento è stato raggiunto il livello di ponding (saturazione). Il livello di umidità a cui si è avuta saturazione è risultato ben più bassa dal 51.3% teorico (Tab. 1), e questo può essere imputabile al compattamento del substrato dovuto all'assestamento delle particelle del substrato nel tempo, anche a seguito dell'azione battente della stessa acqua di pioggia. Ne è derivato una modificazione delle caratteristiche idrologiche del substrato tra cui anche la porosità totale. Inoltre, come è logico aspettarsi, dalla figura riguardante il settore centrale del rain garden piccolo, appare chiaro che l'aumento di umidità viene rilevato

inizialmente dagli strati più superficiale e, a seguito dell'infiltrazione, via via da quelli sottostanti.

Per quanto riguarda invece le sonde esterne dei due rain garden (Figg. 5.24, 5.26), si può notare che, nonostante i ben maggiori volumi di acqua piovana intercettata rispetto all'evento precedente, solamente nel rain garden piccolo sono state osservate delle variazioni di umidità che, per altro, sono state molto contenute.

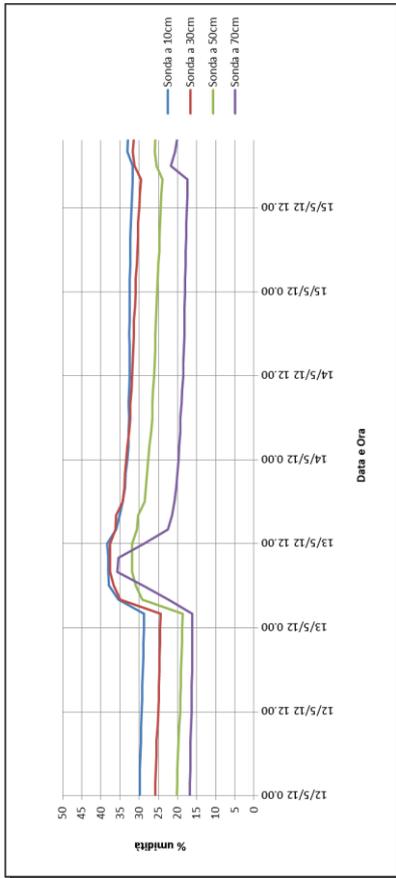


Figura 5.23 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 13 Maggio 2012.

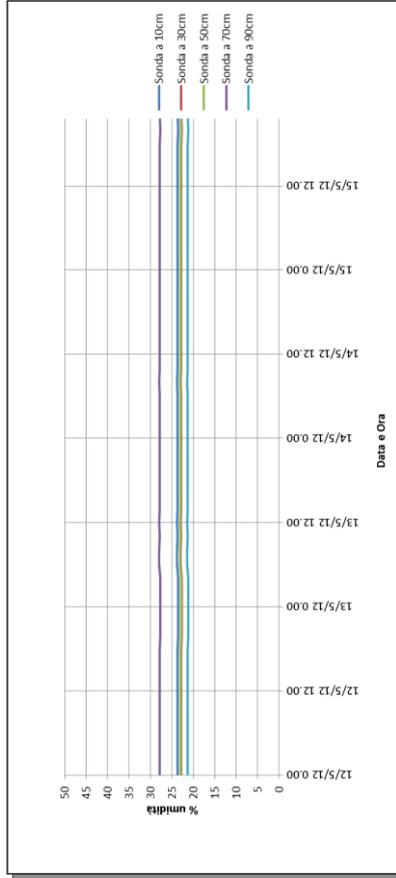


Figura 5.24 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 13 Maggio 2012.

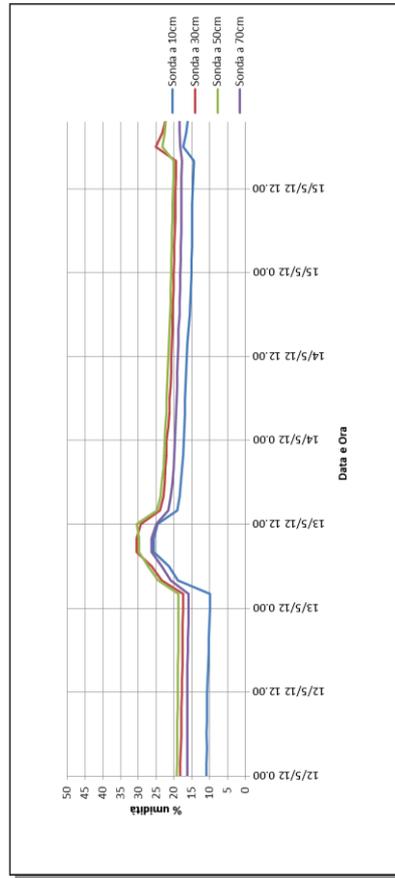


Figura 5.25 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 13 Maggio 2012.

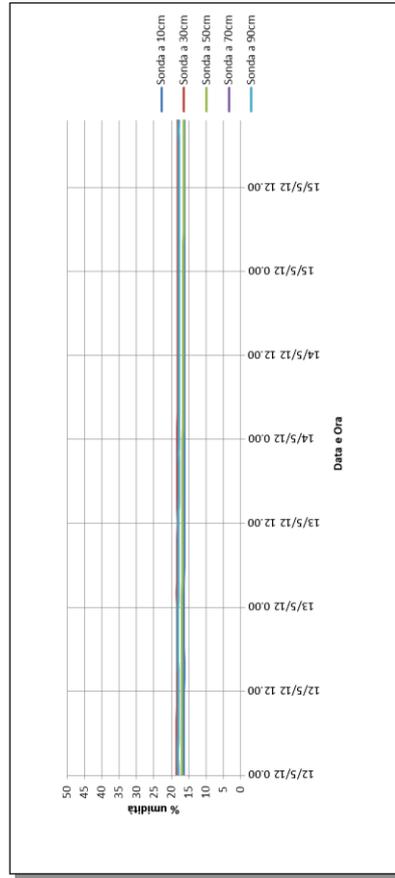


Figura 5.26 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 13 Maggio 2012.

12 SETTEMBRE

Nel mese di Giugno 2012 sono state apportate delle modifiche al sistema di convogliamento dei deflussi, tra cui l'eliminazione del tubo proveniente dal pozzetto di scarico e la chiusura dello scolo verso il rain garden grande con la sua conseguente trasformazione in semplice aiuola. Durante il periodo estivo non si sono verificati eventi meteorologici degni di nota a causa dei numerosi anticicloni che si sono succeduti ed hanno determinato un lungo periodo di alta pressione. Con l'avvicinarsi della fine dell'estate il primo evento meteorologico degno di nota si è avuto il 12 Settembre, in corrispondenza di questo evento la stazione meteo dell'ARPAV ha rilevato 25,2 mm di pioggia che teoricamente corrispondono a 1554,5 L, in questo caso il piezometro e il galleggiante hanno rilevato rispettivamente 1525 L e 1574 L di deflusso. L'area del tetto presa in considerazione in questo evento non è più stata di 220 m² ma con il nuovo dimensionamento è risulta di 67 m² (+1 m² della superficie del misuratore). Visto che le modifiche apportate all'impianto hanno riguardato anche il convogliamento di tutte le acque

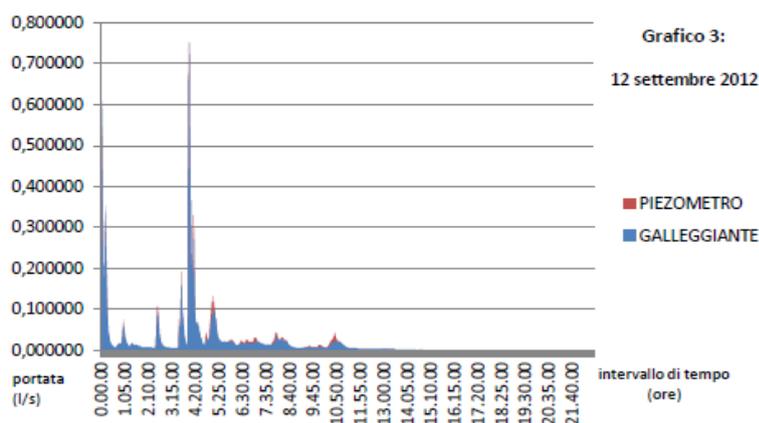


Figura 5.27 Grafico relativo alle portate registrate dagli strumenti durante l'evento del 12 Settembre 2012 (Brusaferrò, 2012).

raccolte dal tetto al rain garden piccolo, quest'ultimo sono arrivati 1840,7 L mentre a quello grande solamente 533,4 L.

In corrispondenza di questo evento le sonde interne ed esterne dei due rain garden hanno evidenziato delle notevoli differenze di umidità nel profilo del terreno. Nel caso del giardino pluviale piccolo in figura 5.28 si nota come anche in questo caso si sia raggiunta la saturazione (ponding), mentre, proprio per i volumi d'acqua intercettata molto diversi, in quello grande le variazioni di umidità sono state più ridotte. I maggiori valori di umidità raggiunti a saturazione dagli strati inferiori di substrato rispetto a quelli degli strati superficiali sono, nuovamente, dovuti

al loro minor compattamento. Per quanto riguarda le sonde esterne dei due rain garden (Figg. 5.29, 5.31) si può notare come in quello piccolo sia stata raggiunta la saturazione anche nella parte esterna, mentre in quello grande le variazioni di umidità più marcate sono state registrate dalle sonde poste a 50, 79 e 90 cm. Quelle poste a 10 e 30 cm, invece, hanno registrato una variazione molto lieve.

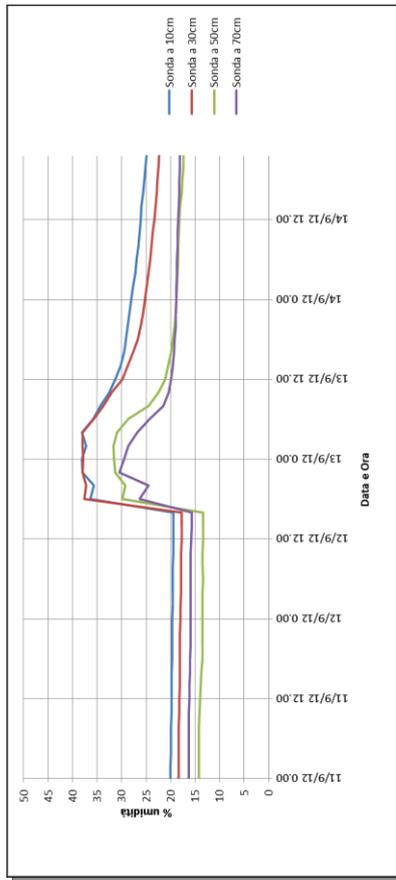


Figura 5.28 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 12 Settembre 2012.

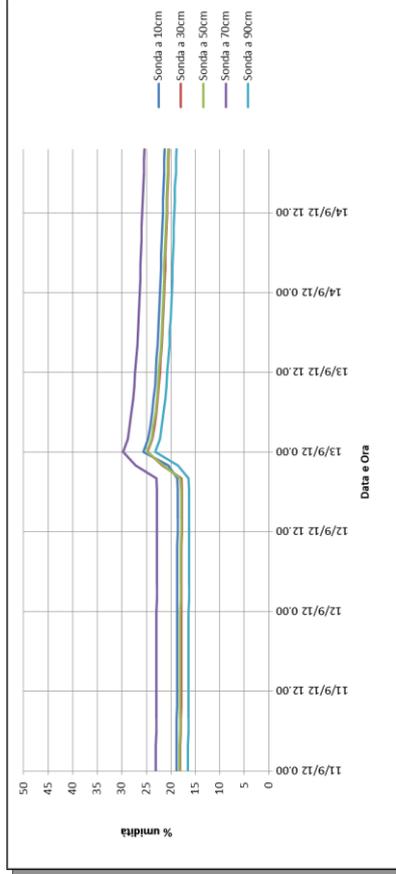


Figura 5.29 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 12 Settembre 2012.

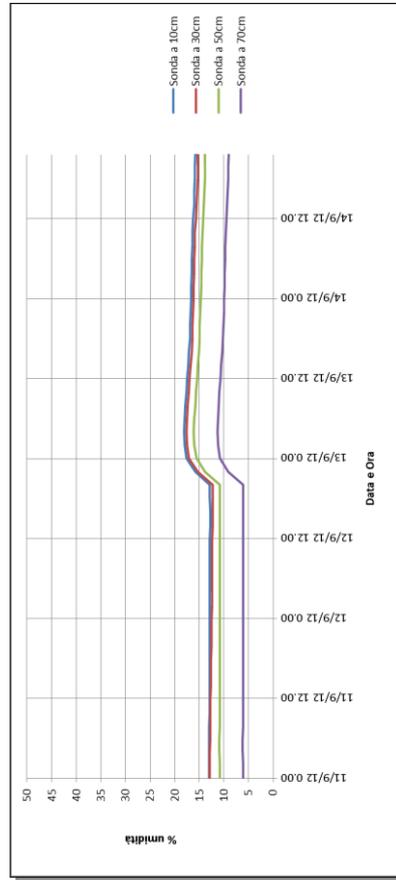


Figura 5.30 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 12 Settembre 2012.

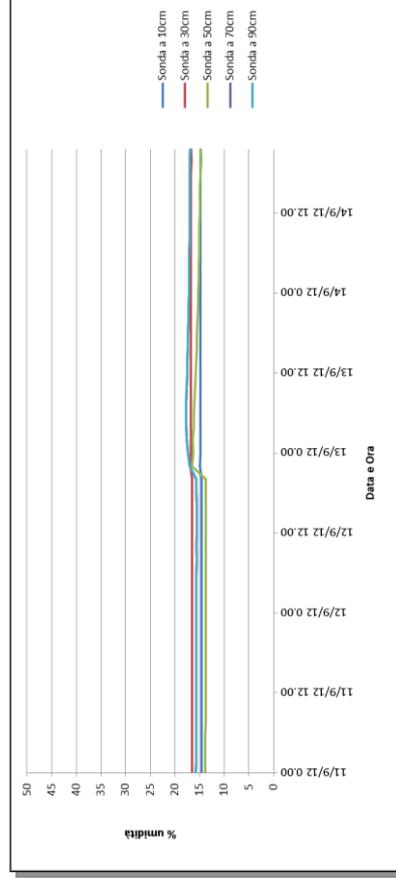


Figura 5.31 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 12 Settembre 2012.

26 OTTOBRE

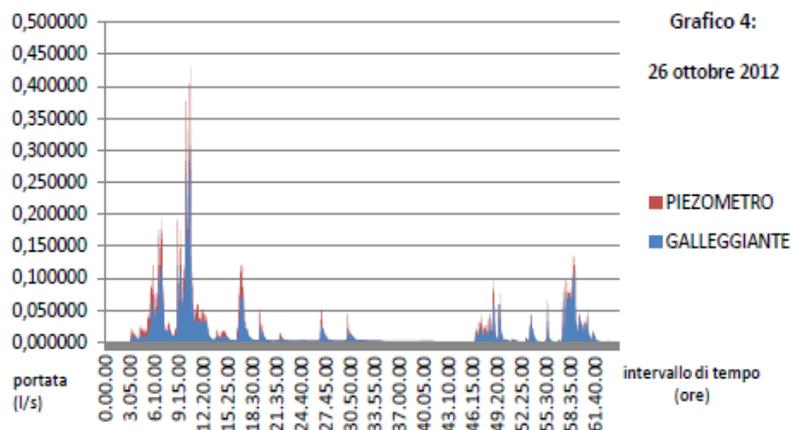


Figura 5.32 Grafico relativo alle portate registrate dagli strumenti durante l'evento del 26 Ottobre 2012 (Brusaferro, 2012).

Un evento particolarmente interessante è risultato quello del 26 Ottobre 2012 in cui la stazione di rilevamento dell'ARPAV ha rilevato una precipitazione di 72 mm, il volume di deflusso calcolato teoricamente è quindi di 4406 L, mentre quelli rilevati dal piezometro e dal galleggiante sono rispettivamente di 4051 L e di 3197 L (Brusaferro, 2012). In figura 35 sono indicate le portate rilevate dai due strumenti. In questo caso come già detto in precedenza l'unico a ricevere i deflussi provenienti dalla falda è stato il rain garden piccolo e sul quale sono arrivati 3953 L mentre in quello grande sono arrivati 1512 L. Come si può notare dalle figure, questo evento è iniziato nel primo pomeriggio del 26 Ottobre e si è protratto fino a metà mattinata del giorno successivo. In questo caso, osservando le sonde interne dei due rain garden (Figg. 5.33, 5.35), si nota come, a causa di evento piovoso così importante, forti variazioni di umidità siano state registrate anche nel rain garden grande che ha ricevuto solamente la pioggia intercettata dalla sua stessa superficie. Inoltre, sempre nel rain garden piccolo, si può osservare come le due sonde più vicine alla superficie (10 e 30 cm) abbiano presentato minori variazioni dell'umidità rispetto a quelle più in profondità e questo è ovviamente dovuto ai valori iniziali di umidità che erano già elevati. Per quanto riguarda le sonde esterne del rain garden grande risulta chiaro che questo evento è stato rilevato maggiormente dalle sonde poste in profondità (30, 50 e 70 cm) mentre quelle più superficiali hanno risentito dell'evento solo marginalmente. Questo comportamento, osservato anche nell'evento piovoso precedentemente descritto, è probabilmente dovuto ai movimenti dell'acqua lungo il profilo per capillarità che, sommati a quelli per gravità, danno origine a un bulbo umido allargato con la classica forma *a cipolla*. Considerando invece le figure relative alle sonde esterne dei due rain garden (Figg. 5.34, 5.36) si

osserva come l'umidità del terreno sia stata poco interessata dall'evento piovoso, anche se importante. Da questo punto di vista maggiori sono state le variazioni di umidità osservate nel rain garden grande e questo è dovuto ai valori di umidità iniziale che erano, soprattutto negli strati più superficiali, particolarmente bassi (addirittura inferiori al 10% nel caso dei primi 10 cm). Nel rain garden piccolo si sono notati valori di umidità più elevati rispetto a quello grande poiché quest'ultimo ha ricevuto solamente le acque intercettate direttamente dall'evento meteorico.

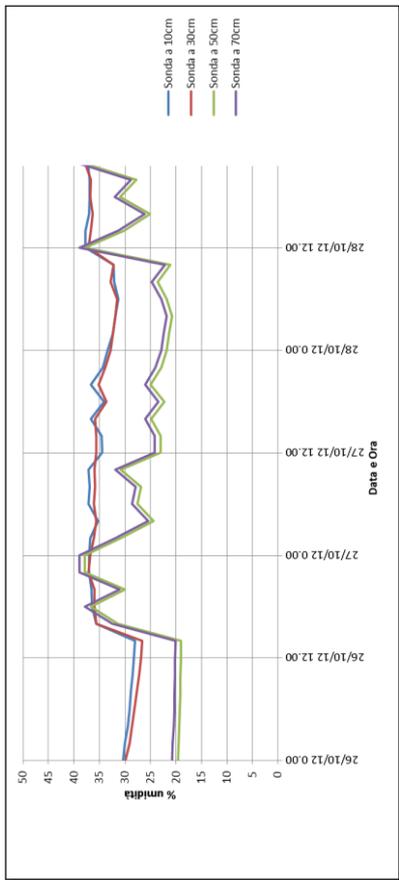


Figura 5.33 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 26 Ottobre 2012.

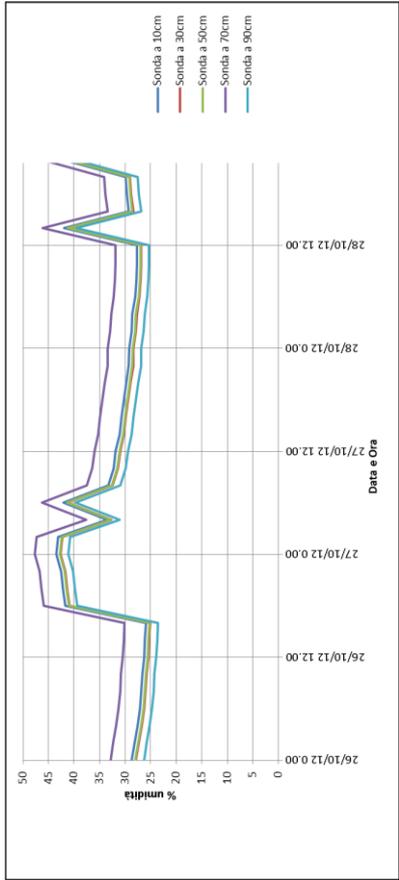


Figura 5.34 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden piccolo, in relazione alla profondità, durante l'evento del 26 Ottobre 2012.

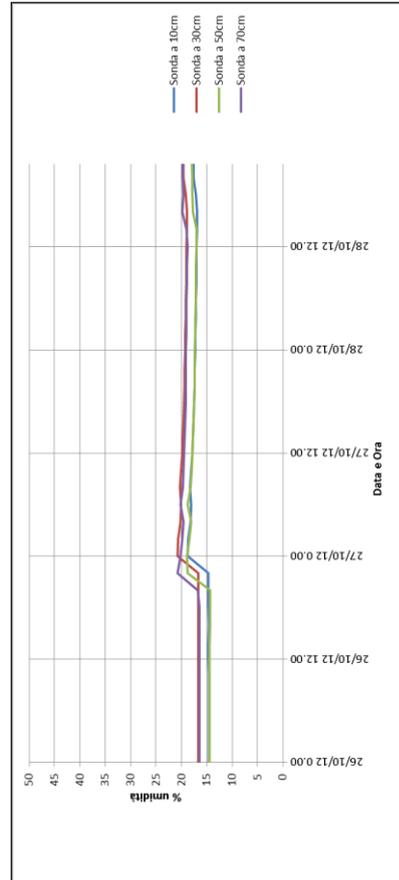


Figura 5.35 Percentuale di umidità del terreno nella parte interna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 26 Ottobre 2012.

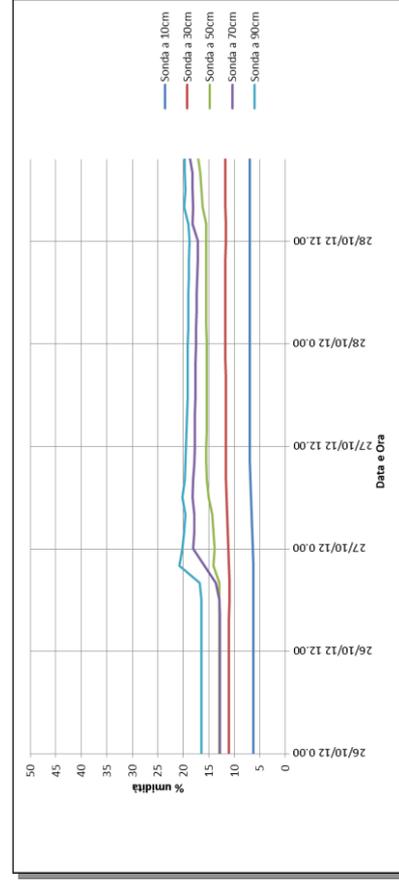


Figura 5.36 Percentuale di umidità del terreno nella parte esterna del rain garden grande, in relazione alla profondità, durante l'evento del 26 Ottobre 2012.

5.2 Osservazioni sulle piante

Rilievi del 12 Maggio 2012

Aster novi-belgii 'White Ladies'

Per questa specie si descrive l'andamento delle altezze delle piante in relazione della distanza dal margine.

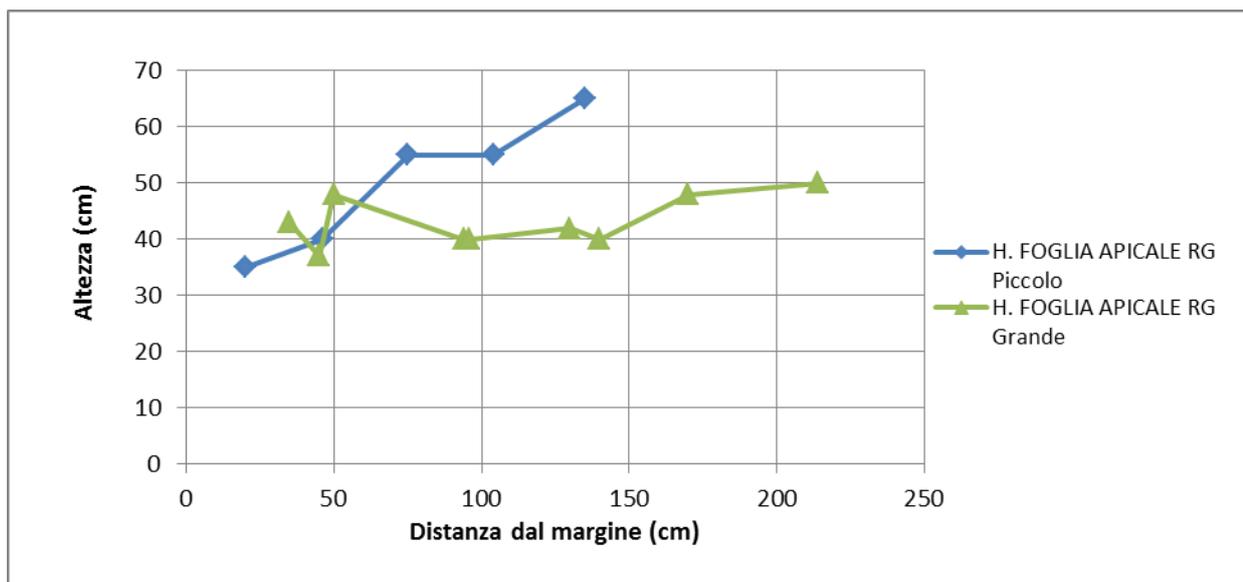


Figura 5.37 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Aster novi-belgii* 'White Ladies'.

Come si può osservare nella figura 5.37 per questa specie, nel rain garden piccolo, si sono registrati valori via via crescenti di altezza man mano che ci si allontana dal margine, ovvero man mano che l'umidità del terreno risultava più elevata. Nel caso del rain garden grande i valori osservati sono stati mediamente più bassi rispetto a quelli delle piante del rain garden piccolo e la relazione tra altezza e posizione della pianta è parsa meno evidente. Questo è probabilmente dovuto alle minori differenze di umidità riscontrate tra interno ed esterno del rain garden grande rispetto a quello piccolo, dato che questa specie predilige ambienti umidi come rive di corsi d'acqua, stagni e paludi.

Echinacea purpurea 'The King'

Analizzando la figura 5.38 si può notare come, a partire dal margine e procedendo verso

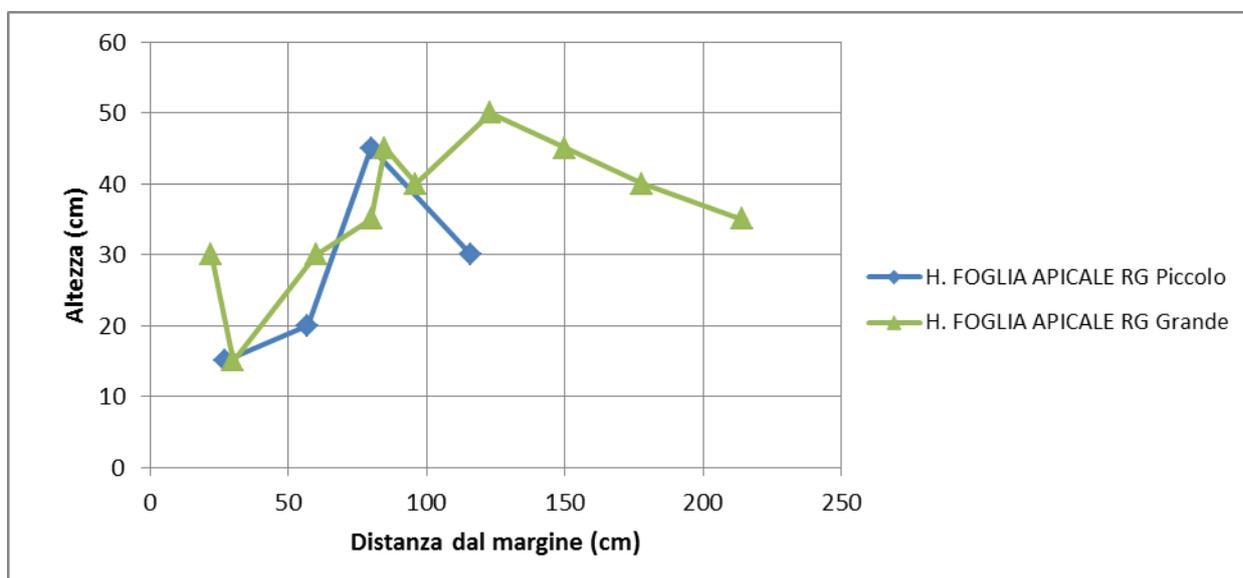


Figura 5.38 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Echinacea purpurea* 'The King'.

l'interno di entrambi i rain garden, i valori di altezza aumentino fino a raggiungere circa i 45 cm nel piccolo e i 50 cm nel grande per poi decrescere in prossimità del centro. Osservando ora la figura 5.39 si può notare come, nei due rain garden, il numero di fusti prodotti da ciascuna pianta abbia avuto un andamento simile a quello delle altezze. I valori sono inizialmente aumentati fino

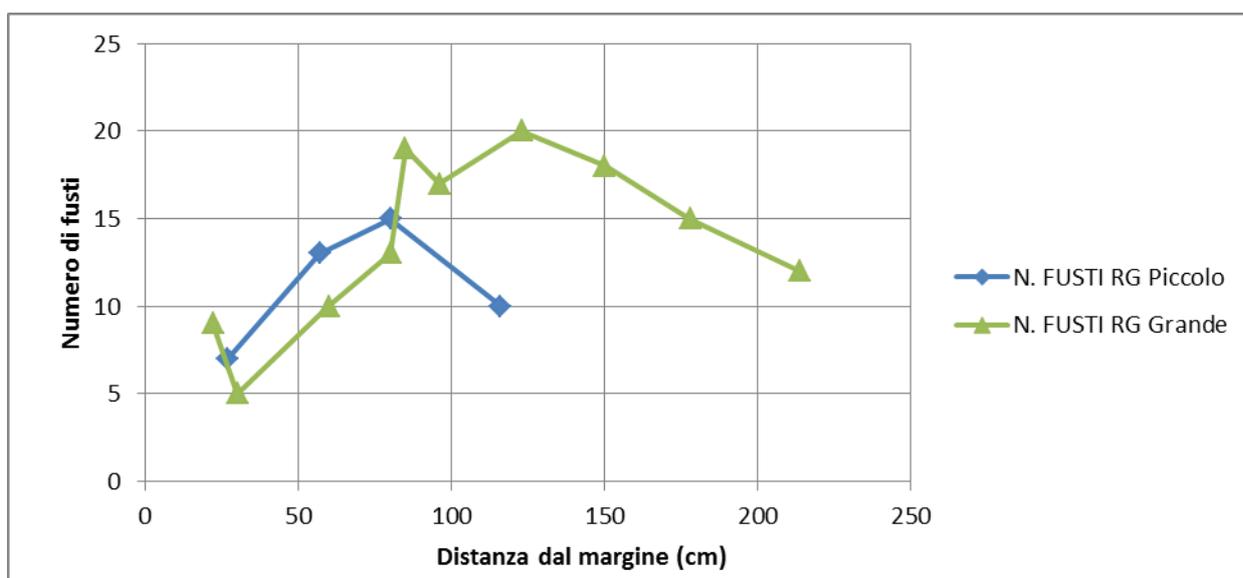


Figura 5.39 Numero di fusti in relazione alla distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Echinacea purpurea* 'The King'.

ad un massimo di circa 15 fusti nel rain garden piccolo e circa 20 in quello grande per poi

decreocere nella parte centrale dei due rain garden. Questo andamento potrebbe essere imputabile al fatto che questa specie non tollera il secco delle zone più esterne dei rain garden così come gli eccessivi tenori di umidità presenti nella parte centrale degli stessi.

***Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’**

In *Hemerocallis hybrida* sono stati considerati come parametri morfologici l’altezza delle foglie e il numero di accestimenti. Come si può notare nelle figure 5.40 e 5.41, in entrambi i rain

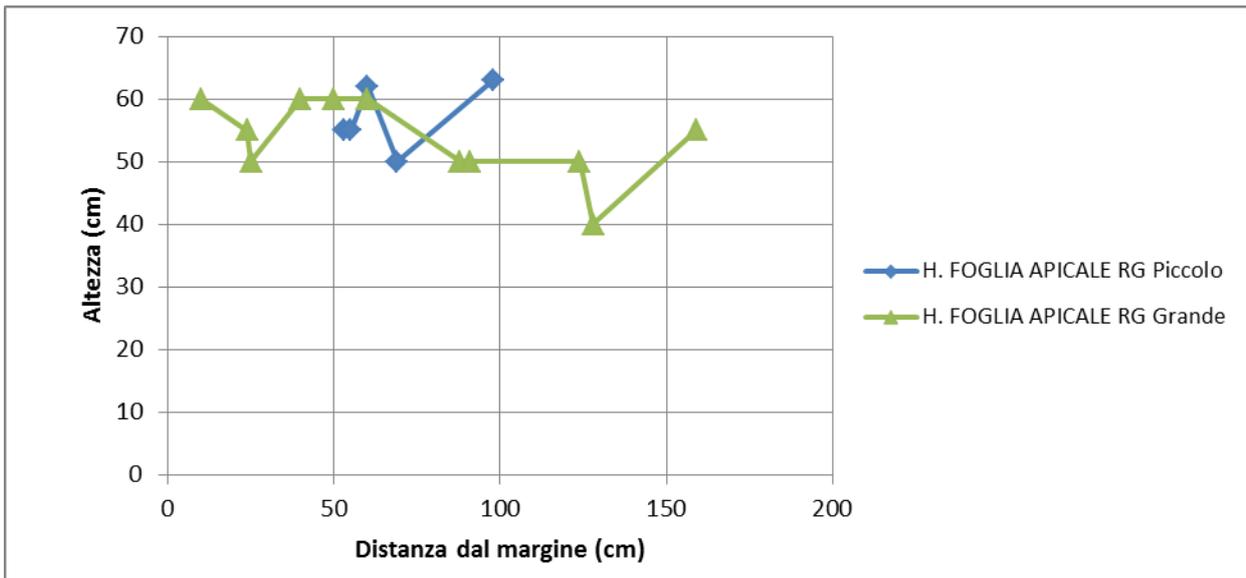


Figura 5.40 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’.

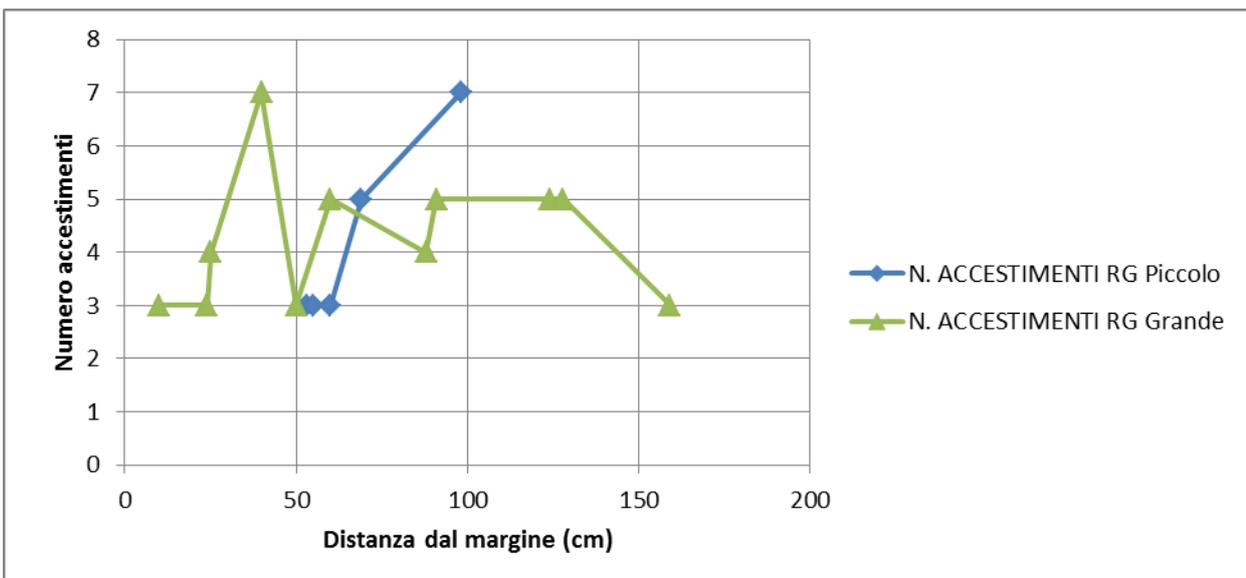


Figura 5.41 Numero di accestimenti in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’.

garden questa specie ha manifestato un accrescimento pressoché indipendente dalla posizione della pianta. Questa specie predilige i terreni con elevati tenori di umidità, ma non presenta problemi neanche durante periodi siccitosi grazie ad un apparato radicale di tipo tuberoso che è in grado di trattenere elevate quantità d'acqua.

Iris pseudacorus

Come per *Hemerocallis*, anche in *Iris pseudacorus* sono stati scelti come parametri valutativi l'altezza e il numero di accestimenti.

Osservando ora figura 5.42 si può notare come nel rain garden piccolo, le piante non abbiano

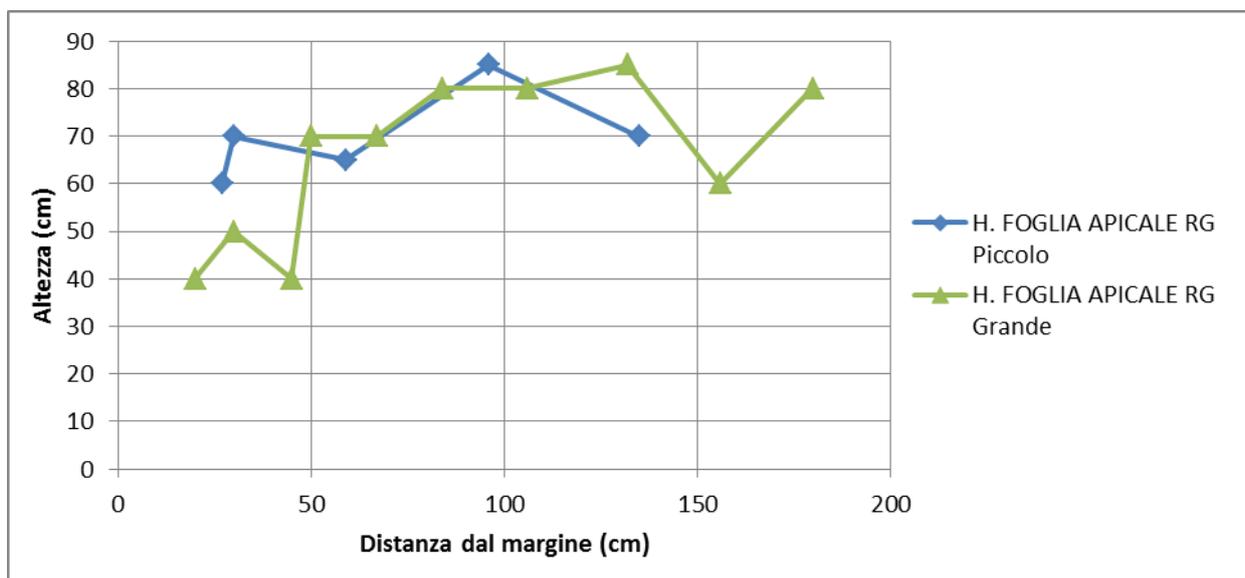


Figura 5.42 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Iris pseudacorus*.

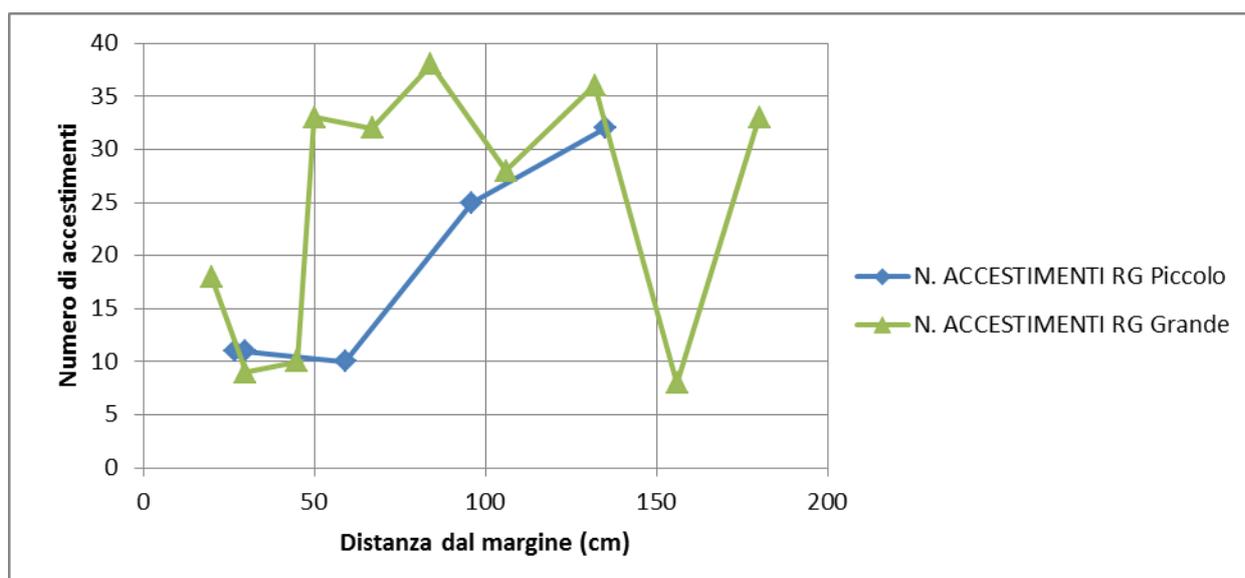


Figura 5.43 Numero di accestimenti in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio, in *Iris pseudacorus*.

mostrato grandi differenze nel loro accrescimento. Relativamente al grande, le uniche differenze di rilievo si notano tra le tre piante più vicine al cordolo, che sono risultate più piccole, e le rimanenti che hanno mostrato accrescimenti simili a quelle del rain garden piccolo.

Per quel che riguarda invece il numero di accostamenti rilevato in entrambi i rain garden (Fig. 5.43) si può osservare come nella parte esterna di entrambi si sia riscontrato un numero minore di accostamenti mentre maggiori sono i valori riscontrati al centro dei due rain garden.

Questa specie si trova spesso in ambienti umidi, argini di fiumi e fossi, dove tollera bene anche l'immersione, per cui le condizioni igrometriche riscontrate durante i rilevamenti hanno consentito all'iris di affrancarsi molto bene in entrambi i rain garden presentando però, in corrispondenza del margine, delle difficoltà di accrescimento.

***Lythrum salicaria* 'Robert'**

I parametri considerati per questa specie all'interno dei rilievi sulle piante sono stati l'altezza della foglia apicale e il numero di fusti.

La figura 5.44 mostra l'andamento delle altezze in relazione alla distanza dal margine. Si nota come, nel caso del rain garden piccolo, le piante poste al margine presentino valori, per questo

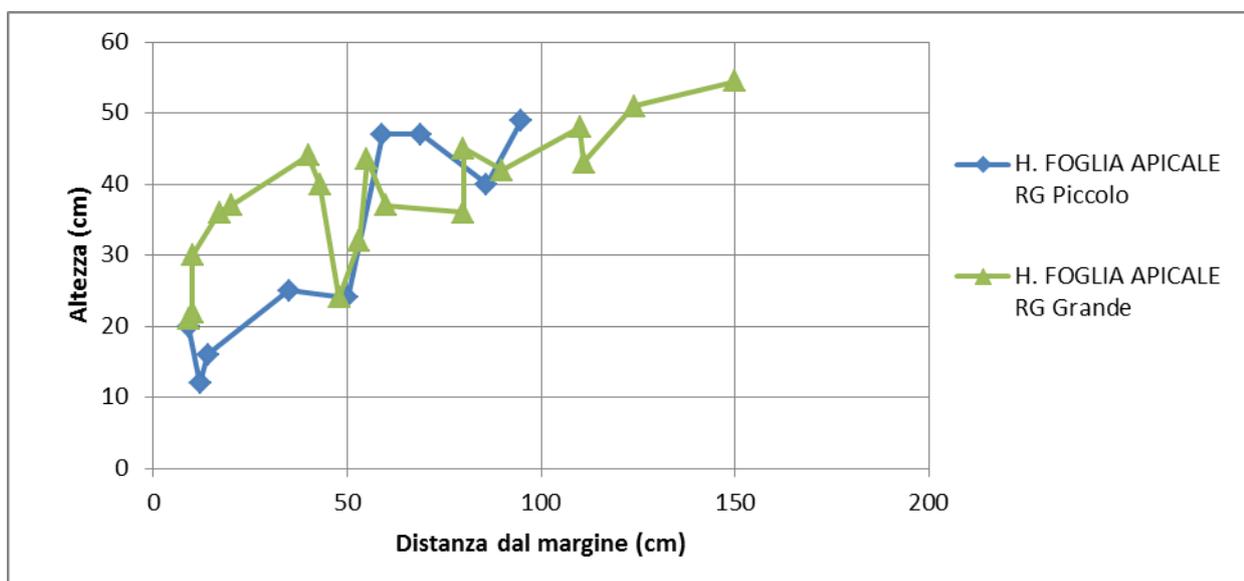


Figura 5.44 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Lythrum salicaria* 'Robert'.

parametro, inferiori rispetto a quelle poste nella parte interna, anche se nel complesso questa specie risulta avere un accrescimento costante a mano a mano che ci si avvicina al centro. Anche nel rain garden grande si può notare un accrescimento pressoché progressivo man mano che ci si avvicina al centro fino ad arrivare ad un'altezza massima di circa 54,5 cm.

In figura 5.45 è riportato l'andamento del numero di steli in relazione alla distanza dal margine; Diversamente da quanto osservato per le altezze, il numero di accestimenti non sembra essere influenzato dalla posizione.

Questa specie è tipica degli ambienti umidi come sulle rive di laghetti, piccoli stagni e nei pressi di corsi d'acqua, per cui le condizioni riscontrate nella parte centrale di entrambi i rain garden hanno permesso a questa specie di affrancarsi bene in entrambi i rain garden. Va segnalato che, nel corso della prova, tutte le piante hanno manifestato problemi di ordine patologico, per cui questa specie non si è dimostrata interessante soprattutto dal punto di vista estetico.

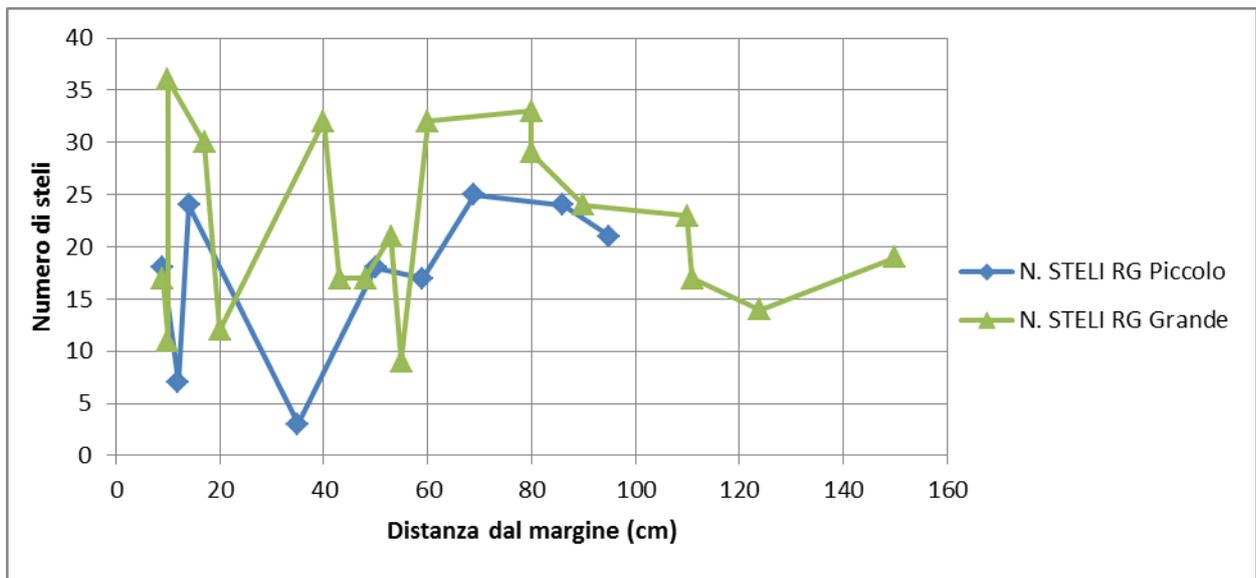


Figura 5.45 Numero di steli in relazione alla distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Lythrum salicaria* 'Robert'.

Molinia caerulea

Osservando la figura 5.46 si può notare come in entrambi i rain garden l'altezza delle piante di *Molinia* tenda ad aumentare con avvicina al centro. Come si può vedere questa specie è stata posta in vicinanza del margine poiché trattandosi di una graminacea riesce a tollerare terreni con scarsi tenori di umidità.

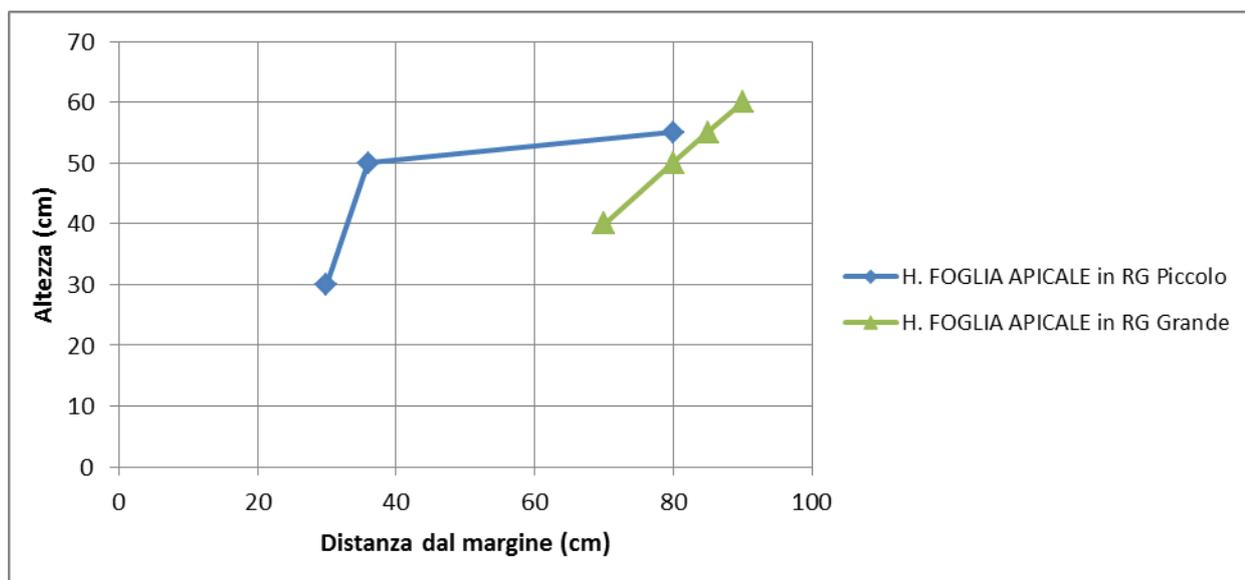


Figura 5.46 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Molinia caerulea*.

Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'

In figura 5.47 si può osservare come l'altezza della pianta, rilevata nel punto più alto dell'apparato fogliare, sia stato molto simile in entrambi i rain garden e sia via via aumentato

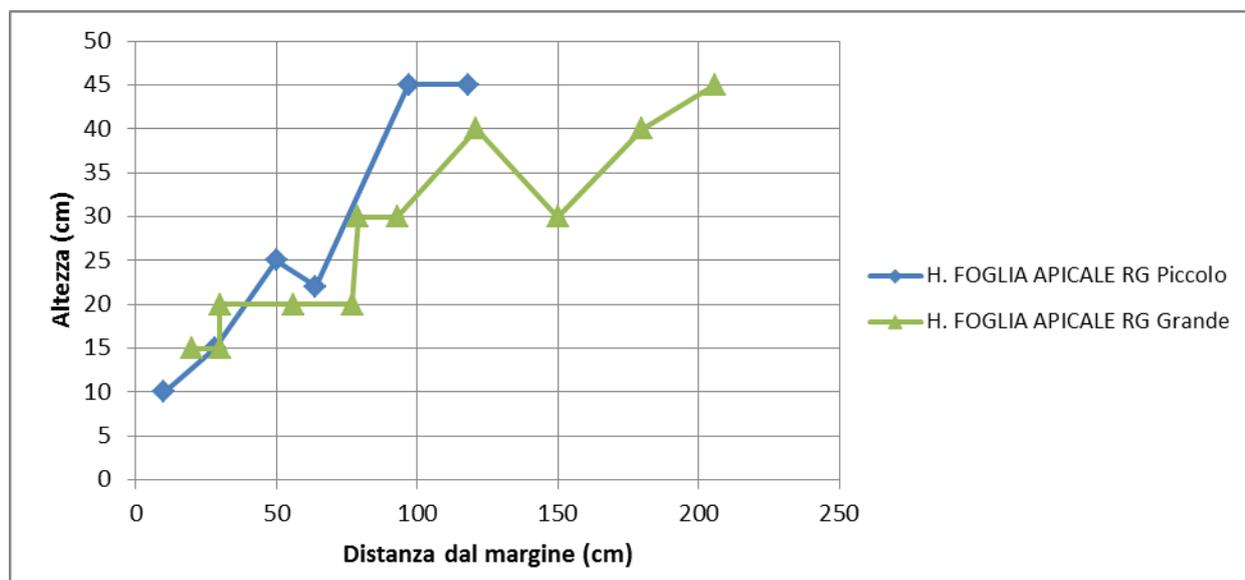


Figura 5.47 Altezza delle foglie in funzione della distanza dal margine nei rain garden, rilevata il 12 Maggio 2012, in *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm'.

procedendo verso l'interno. Questa specie è tipica delle zone umide, per cui l'andamento di questo parametro riscontrato nei due rain garden pone l'attenzione sul fatto che *Rudbeckia* sia poco adatta alla zona marginale dei rain garden mentre risulti particolarmente adatta alla zona centrale dove si rilevano tenori di umidità più elevati.

Rilievo del 13 Luglio 2012

Aster novi-belgii 'White Ladies'

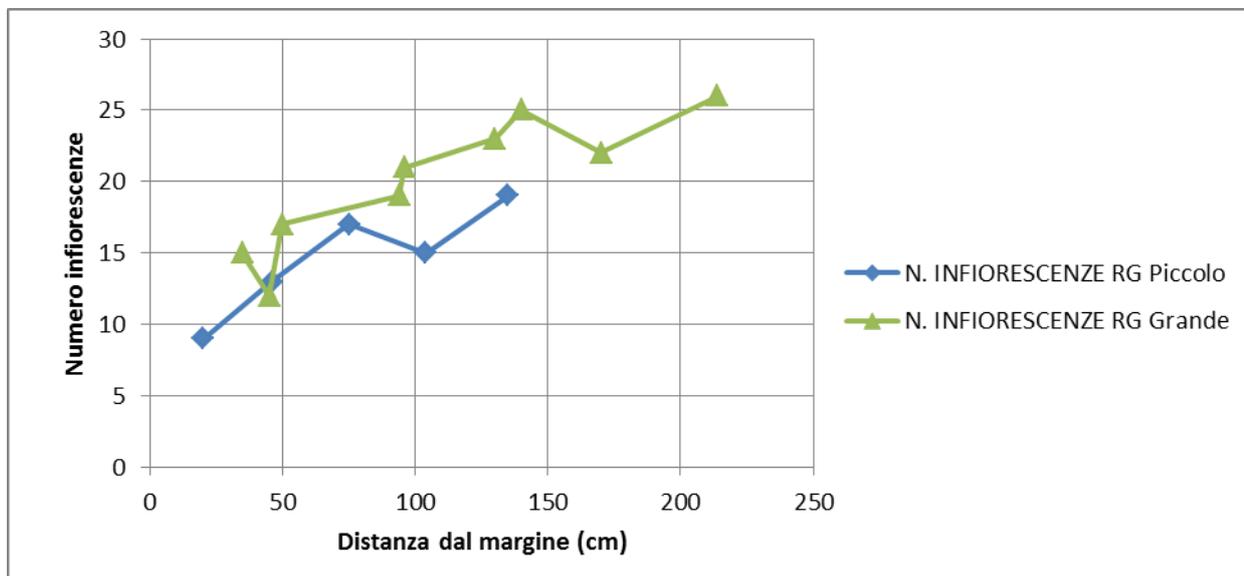


Figura 5.48 Numero d'infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012, in *Aster novi-belgii* 'White Ladies'.

Come si può osservare in figura 5.48 il numero di infiorescenze è andato aumentando, in entrambi i rain garden, procedendo verso l'interno. Nel caso del rain garden grande si può osservare come questa specie abbia presentato un numero di infiorescenze tendenzialmente maggiore rispetto al rain garden piccolo.

Echinacea purpurea 'The King'

Come si può osservare in figura 5.49 nel rain garden piccolo questa specie ha mostrato un

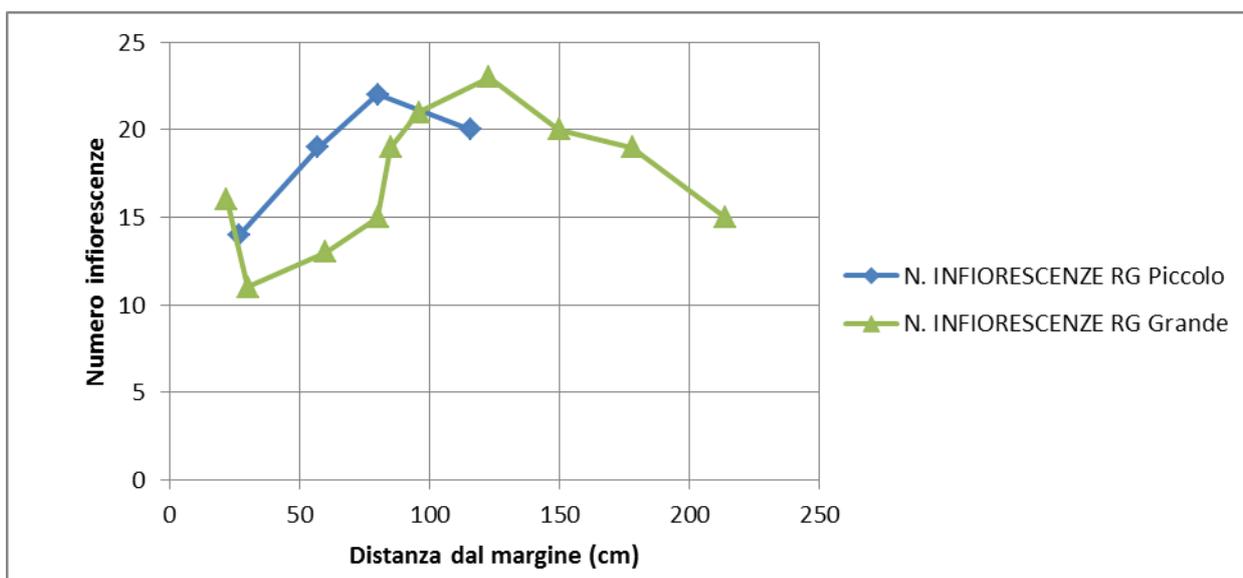


Figura 5.49 Numero d'infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012, in *Echinacea purpurea* 'The King'.

numero maggiore di infiorescenze nella intermedia dei due rain garden, mentre al bordo o al centro, i valori siano stati inferiori.

***Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’**

In figura 5.50 si può osservare come nel rain garden grande il numero di infiorescenze non sia stato influenzato dalla posizione. Diversamente, sembra che, in quello piccolo, questo valore aumenti molto bruscamente procedendo verso il centro del rain garden. Visto però che le

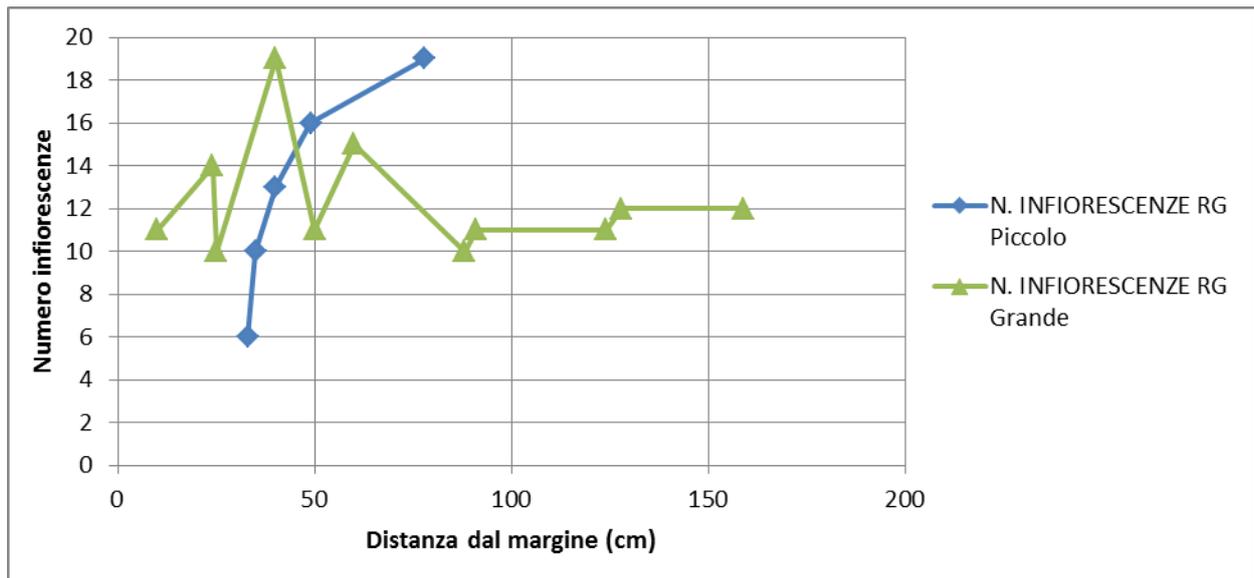


Figura 5.50 Numero d’infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012 per *Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’.

variazioni si sono osservate in così pochi centimetri è probabile che questo andamento sia frutto di un caso. Come già detto per i parametri analizzati nel rilievo del 12 Maggio, questa specie manifesta anche attraverso la copiosità delle fioriture la sua particolare propensione all’impiego nei rain garden.

Iris pseudacorus

Osservando la figura 5.51 si può notare come la fioritura non sia stata influenzata dalla posizione della pianta nei due rain garden per cui questa specie può essere considerata adatta all'impiego considerato.

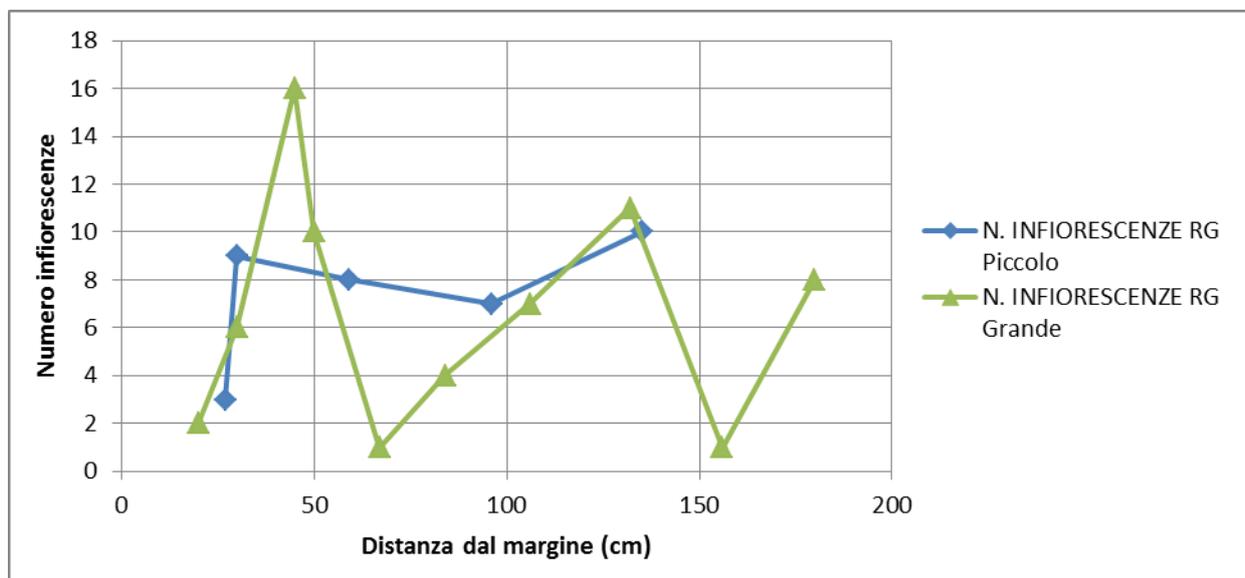


Figura 5.51 Numero d'infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012, in *Iris pseudacorus*.

Lythrum salicaria 'Robert'

In figura 5.52 si può osservare come il numero di infiorescenze non abbia mostrato un legame diretto con la posizione della pianta così come visto per *Iris*.

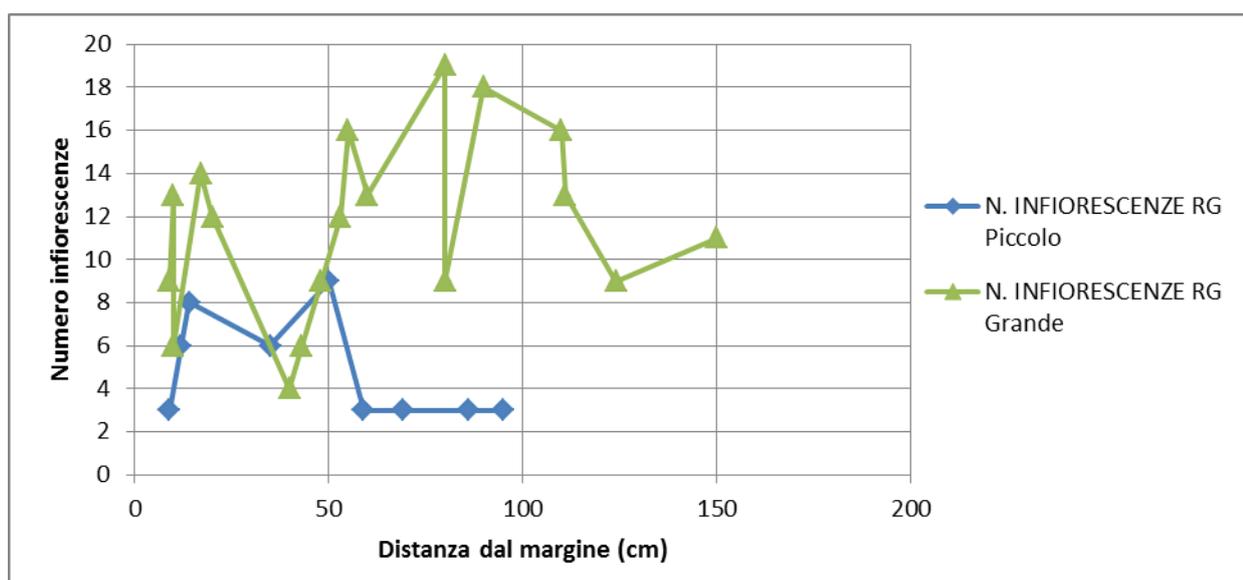


Figura 5.52 Numero d'infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012, in *Lythrum salicaria 'Robert'*.

Molinia caerulea

Osservando la figura 5.53 si può notare come in entrambi i rain garden il numero di infiorescenze tenda ad aumentare man mano che ci si avvicina al centro. Come si può notare nel rain garden piccolo è stato rilevato un numero di infiorescenze maggiori rispetto a quello grande. Questo è probabilmente dovuto alle diverse condizioni idriche che si sono registrate nei due rain garden.

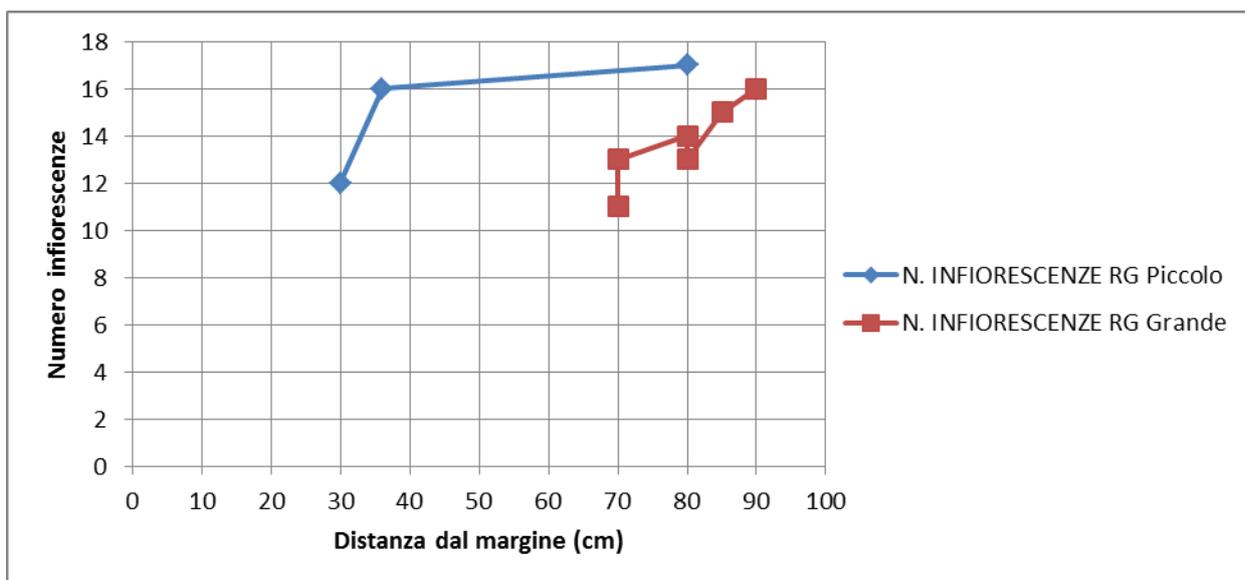


Figura 5.53 Numero d'infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012, in *Molinia caerulea*.

Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'

Come si può osservare in figura 5.54, in entrambi i rain garden si nota come all'aumentare della distanza dal margine tenda ad aumentare anche il numero d'infiorescenze rilevato. Questo

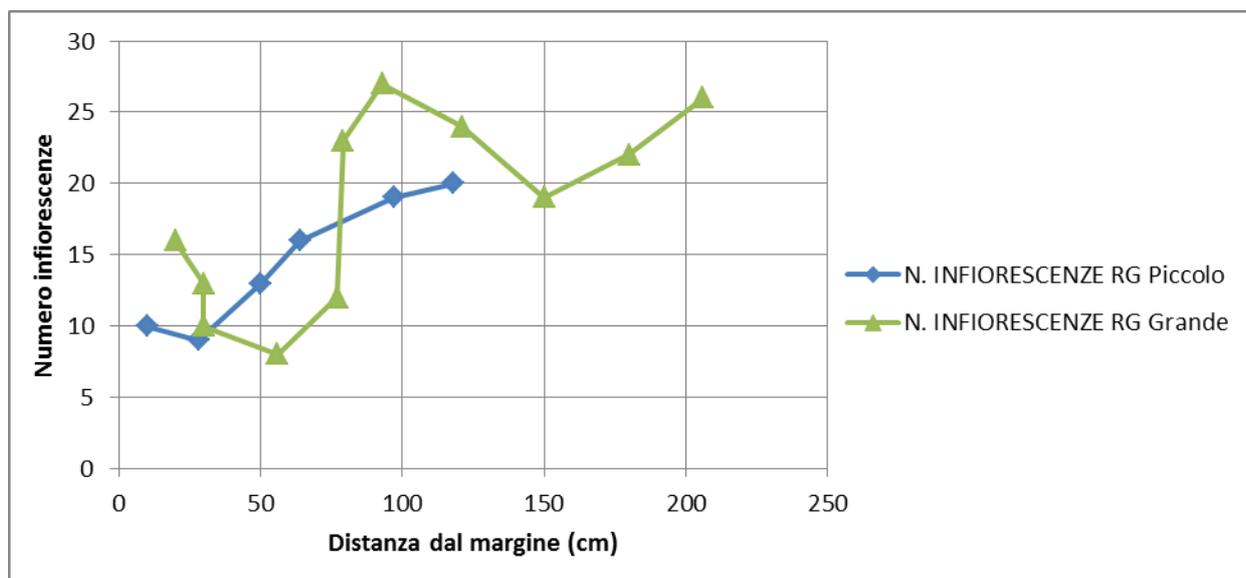


Figura 5.54 Numero d'infiorescenze in funzione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 13 Luglio 2012, in *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm'.

andamento è giustificabile poiché questa specie predilige i substrati con elevati tenori di umidità. Come già osservato per i parametri analizzati in precedenza, le piante poste al margine hanno presentato valori minori rispetto agli esemplari posti nel centro.

Rilievo del 5 Novembre 2012

Aster novi-belgii 'White Ladies'

Osservando la figura 5.55 si può notare come nel rain garden piccolo questo parametro non sia stato particolarmente influenzato dalla posizione della pianta. Diversamente, nel rain garden grande questo parametro è progressivamente aumentato procedendo verso il centro (872 g per la pianta centrale). Da questo rilevamento si può evincere come questa specie esprima le maggiori potenzialità quando posta nelle posizioni centrali. Va comunque sottolineato che, anche se gli accrescimenti delle piante più esterne, sono stati minori le piante sono sempre apparse fresche e con buon aspetto estetico.

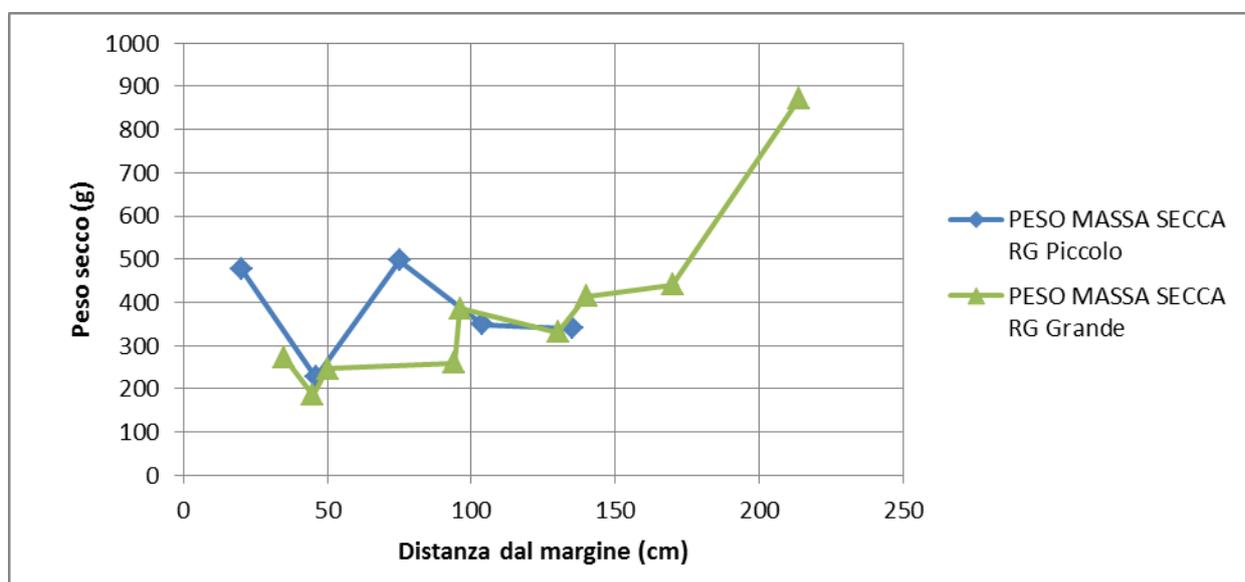


Figura 5.55 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Aster novi-belgii* 'White Ladies'.

Echinacea purpurea 'The King'

Come si può notare in figura 5.56 nel rain garden piccolo si rilevano valori più elevati rispetto al rain garden grande. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che nel rain garden piccolo il tenore di umidità è maggiore rispetto al rain garden grande.

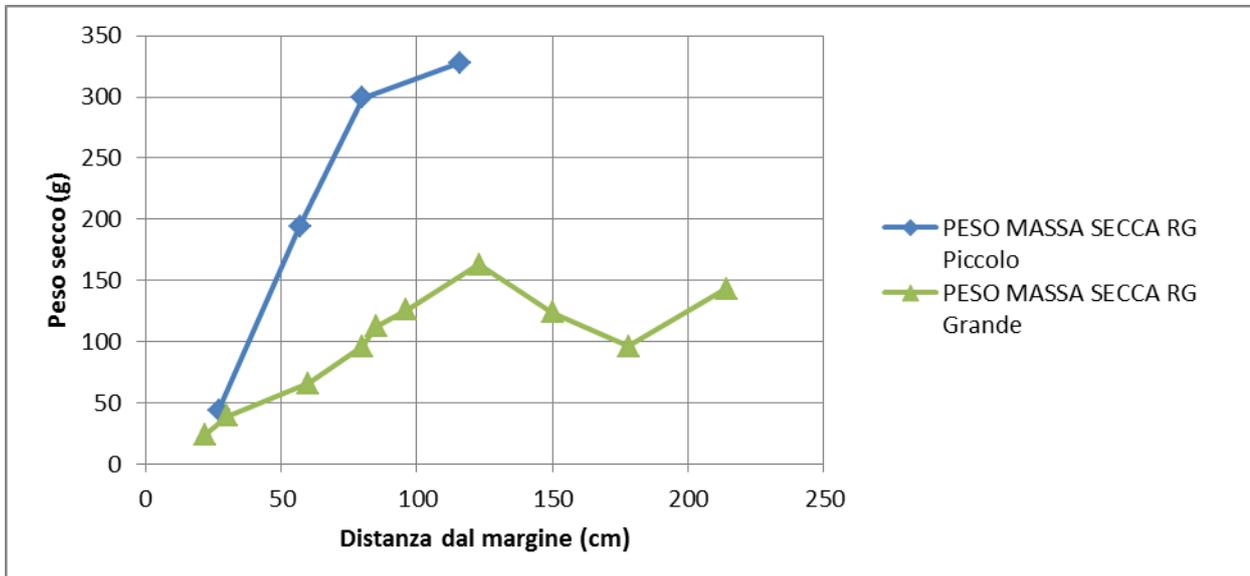


Figura 5.56 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Echinacea purpurea* 'The King'.

Hemerocallis hybrida 'Glittering Treasure'

Dalla figura 5.57 appare più chiaro, rispetto a quanto visto in precedenza, che anche questa specie risulta avvantaggiata da un substrato più umido. Questo fatto non sminuisce comunque in

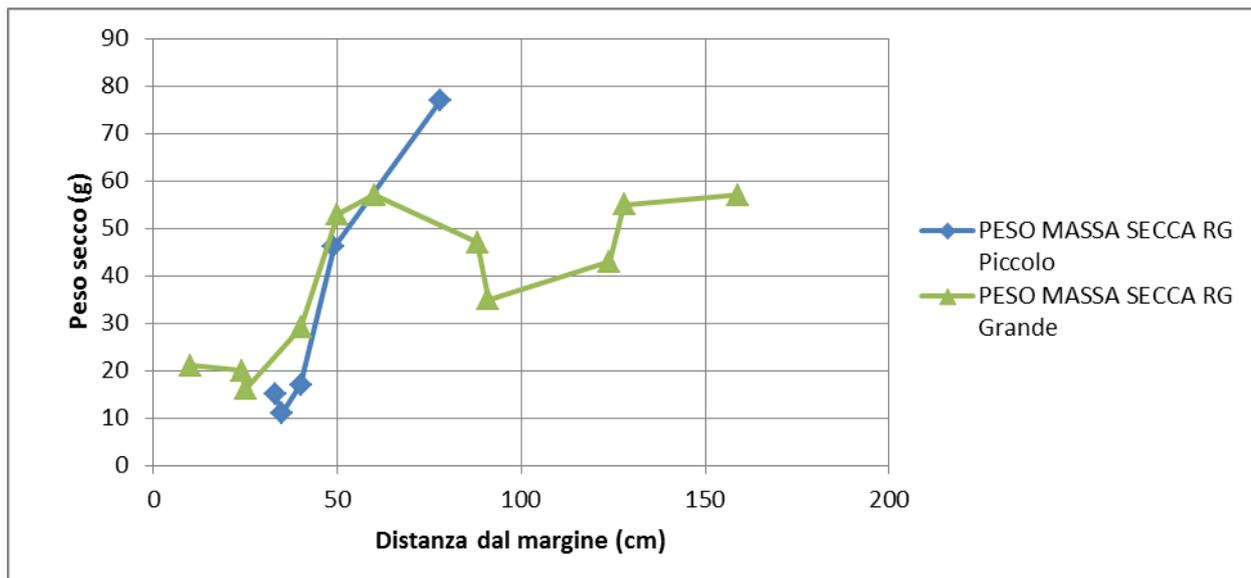


Figura 5.57 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure'.

valore di questa specie che è apparsa una delle più interessanti per l'impiego nei rain garden.

Iris pseudacorus

Questa specie, come già evidenziato in precedenza, non risponde in modo netto alla posizione della pianta nel rain garden e, quindi, all'umidità del substrato.

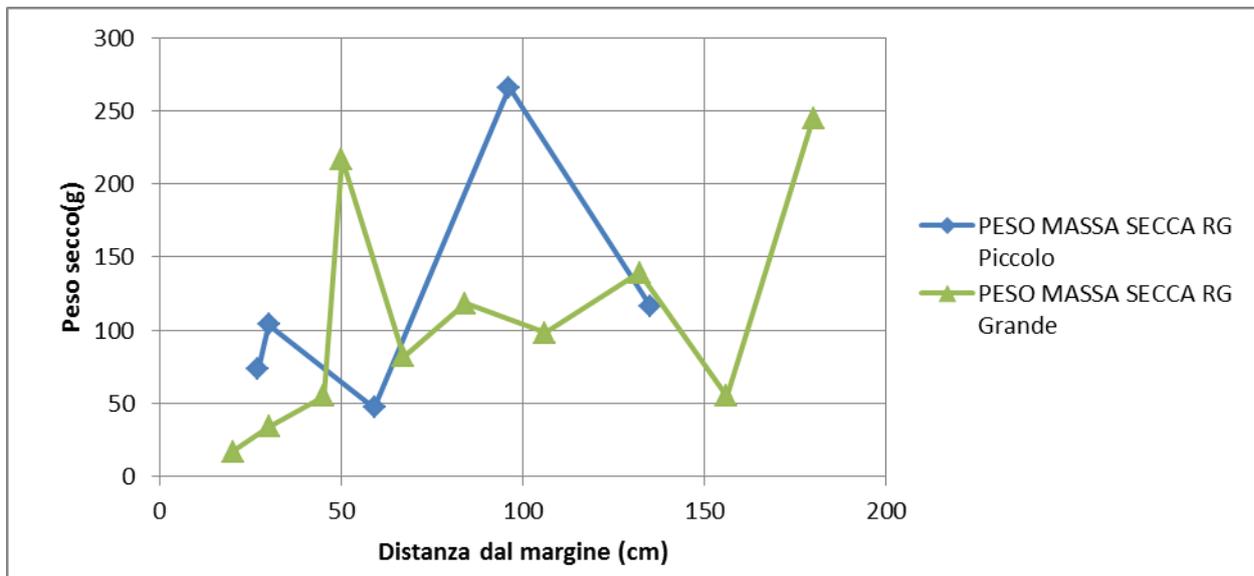


Figura 5.58 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Iris pseudacorus*.

Lythrum salicaria 'Robert'

Come si può notare in figura 5.59, in entrambi i rain garden sembra che la maggiore biomassa venga espressa dalle piante poste in prossimità del centro, raggiungendo il valore massimo con circa 71 g nel caso del rain garden piccolo. Per questo parametro quindi, più che per gli altri

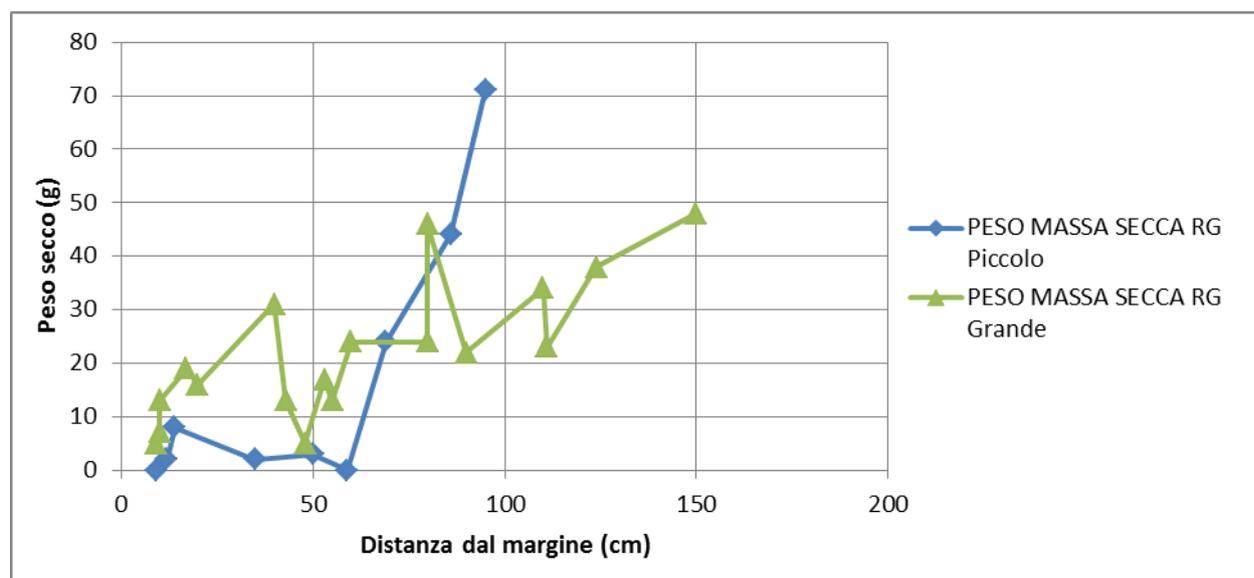


Figura 5.59 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Lythrum salicaria* 'Robert'.

rilevati, sembra che questa specie prediliga terreni che presentano elevati tenori di umidità.

Molinia caerulea

Analogamente a quanto visto per l'altezza della pianta o il numero di accestimenti, in entrambi i

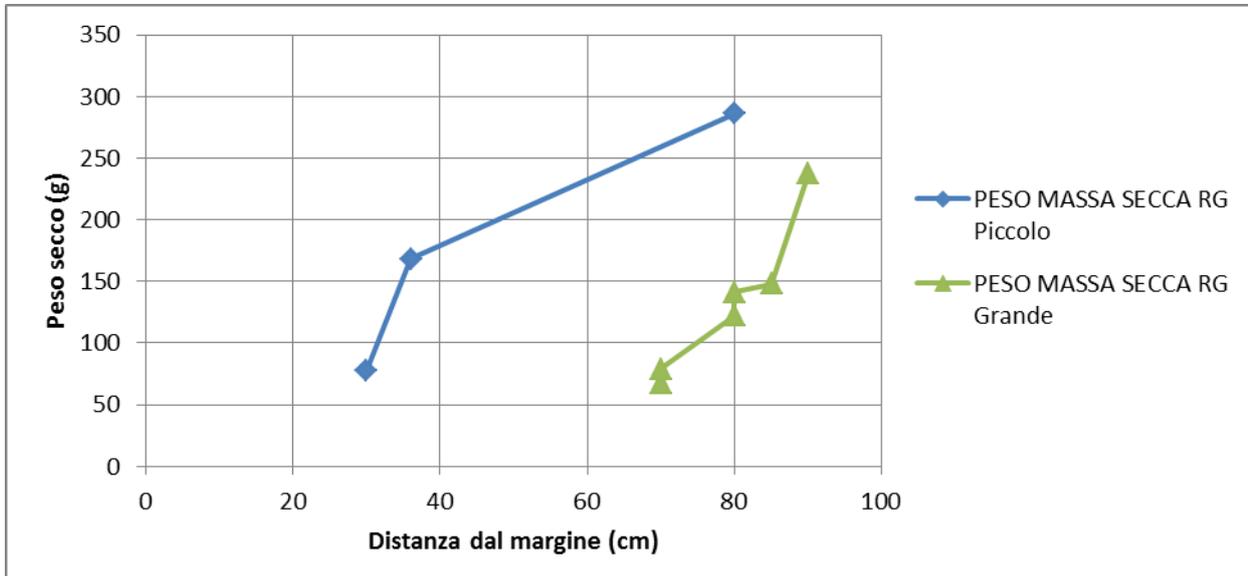


Figura 5.60 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Molinia caerulea*.

rain garden si può osservare un andamento crescente dei valori di biomassa, via via che ci si avvicina al centro dei rain garden.

***Rudbeckia fulgida* ‘Goldsturm’**

Osservando la figura 5.61 si può notare come in entrambi i rain garden la biomassa delle piante sia progressivamente aumentata procedendo verso il centro del rain garden. Un così netto e

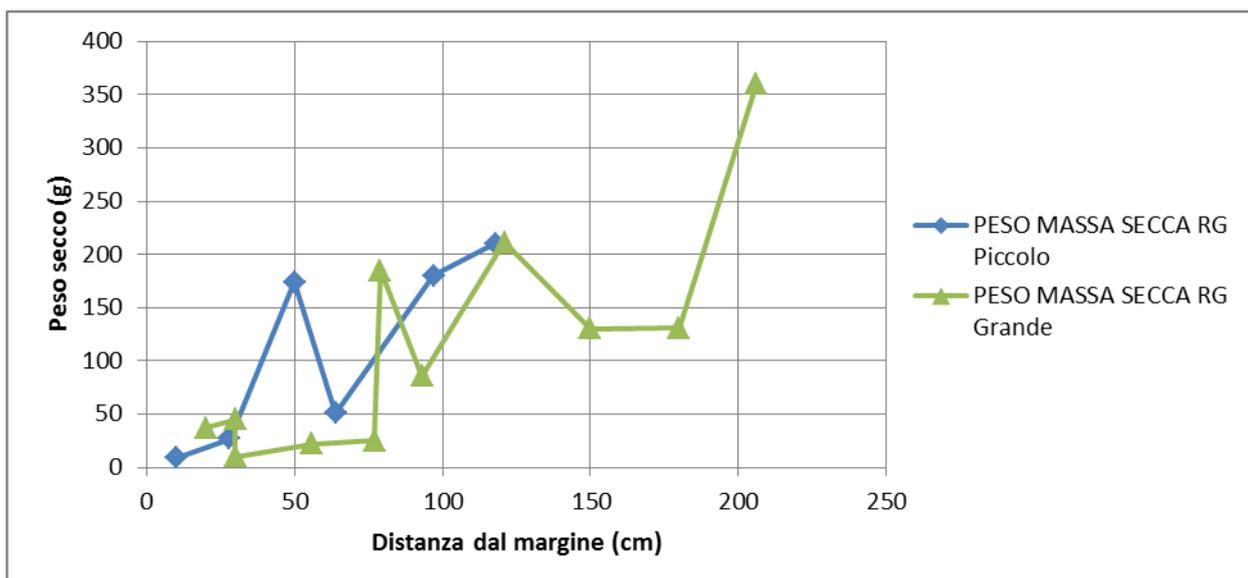


Figura 5.61 Peso della necromassa in relazione della distanza dal margine nei due rain garden, rilevato il 5 Novembre 2012, in *Rudbeckia fulgida* ‘Goldsturm’.

positivo effetto dell'umidità sull'accrescimento di questa specie era stato osservato anche dagli altri parametri considerati. D'altro canto, la scarsa tolleranza della specie a condizioni di siccità è stata anche evidenziata dal più precoce manifestazione di appassimenti fogliari, in condizioni di scarsa piovosità, rispetto alle altre specie.

Accrescimento delle piante e umidità del substrato

Nonostante il numero esiguo di dati disponibili per eseguire questo tipo di valutazione, la loro analisi ha evidenziato, a giugno, una correlazione positiva tra altezza della pianta e il tenore medio di umidità del terreno nel caso di *Aster novi-belgii* 'White Ladies', *Molinia caerulea* e *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm'.

Come si nota nelle figure sottostanti, le relazioni più strette sono state osservate con l'umidità delle sonde poste più in superficie (10 e 30 cm). La relazione non è più risultata significativa nel momento in cui si sono considerate umidità a profondità di 50 cm (*Rudbeckia*) o 70 cm (*Aster* e *Molinia*) e superiori. Ovviamente anche la relazione tra altezza delle piante e umidità media nei primi 30 cm (valore medio delle sonde a 10 e a 30 cm) e 50 cm (valore medio delle sonde a 10, 30 e 50 cm), è risultata significativa. Questi risultati evidenziano come la maggior parte dell'apparato radicale si disponga proprio nei primi 30 – 50 cm di terreno.

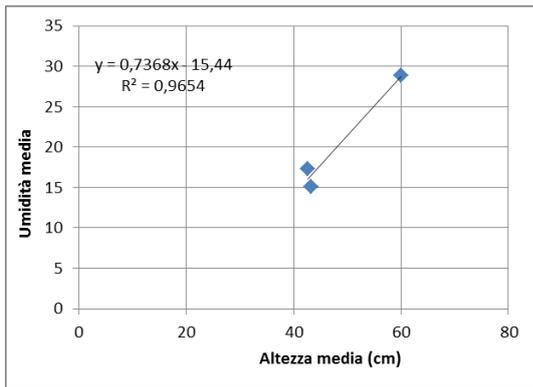


Figura 5.62 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 10 cm di profondità, per Aster novi-belgii 'White Ladies'.

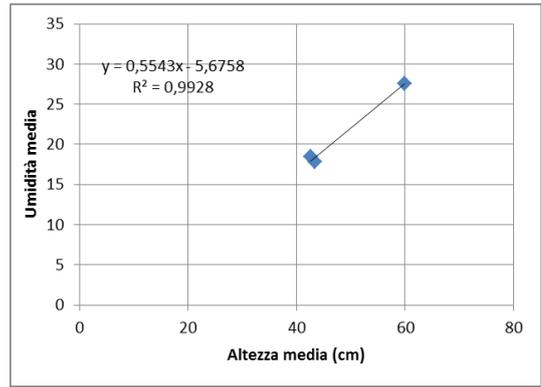


Figura 5.63 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 30 cm di profondità, per Aster novi-belgii 'White Ladies'.

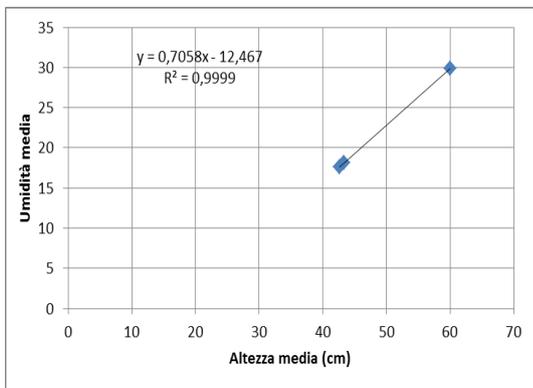


Figura 5.64 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 50 cm di profondità, per Aster novi-belgii 'White Ladies'.

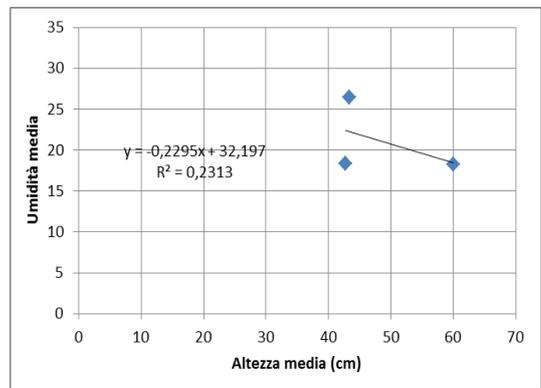


Figura 5.65 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 70 cm di profondità, per Aster novi-belgii 'White Ladies'.

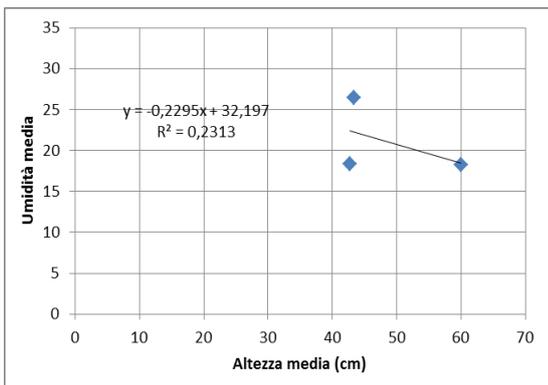


Figura 5.66 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalle sonde poste a 10-30 cm di profondità, per Aster novi-belgii 'White Ladies'.

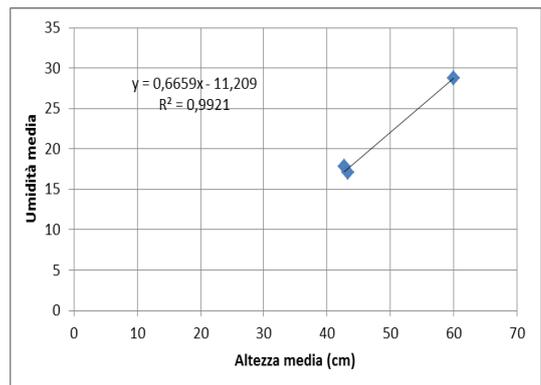


Figura 5.67 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalle sonde poste a 10-30-50 cm di profondità, per Aster novi-belgii 'White Ladies'.

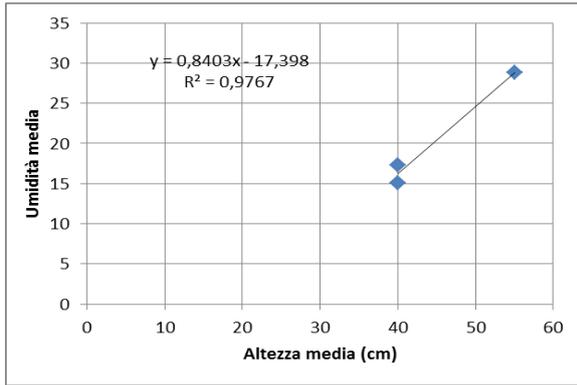


Figura 5.68 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 10 cm di profondità, Molinia caerulea.

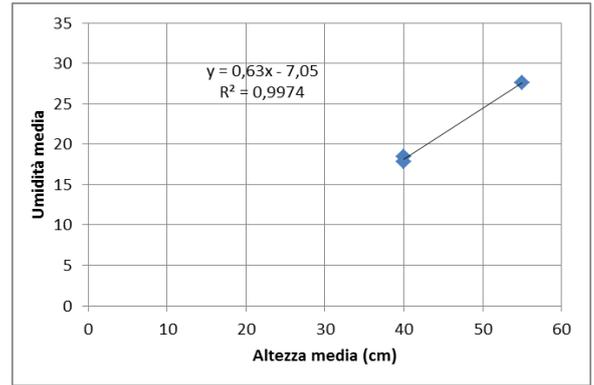


Figura 5.69 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 30 cm di profondità, per Molinia caerulea.

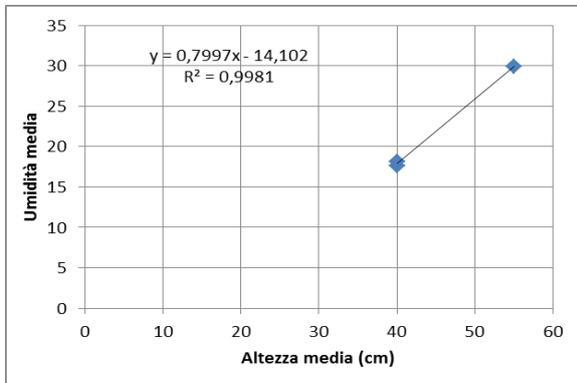


Figura 5.70 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 50 cm di profondità, per Molinia caerulea.

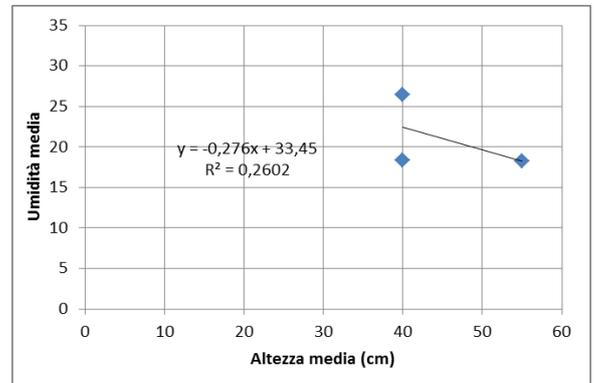


Figura 5.71 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 70 cm di profondità, per Molinia caerulea.

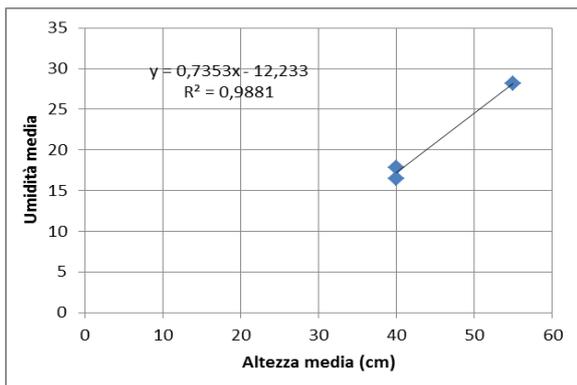


Figura 5.72 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalle sonde poste a 10-30 cm di profondità, per Molinia caerulea.

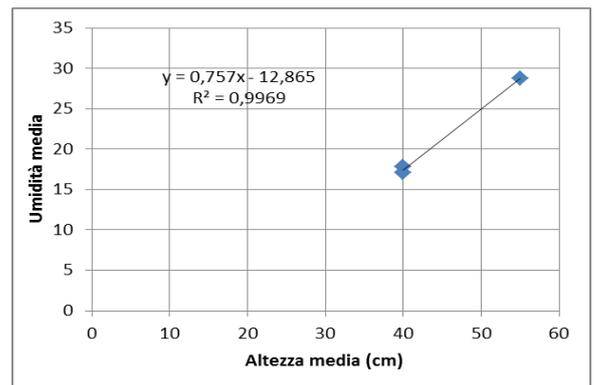


Figura 5.73 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalle sonde poste a 10-30-50 cm di profondità, per Molinia caerulea.

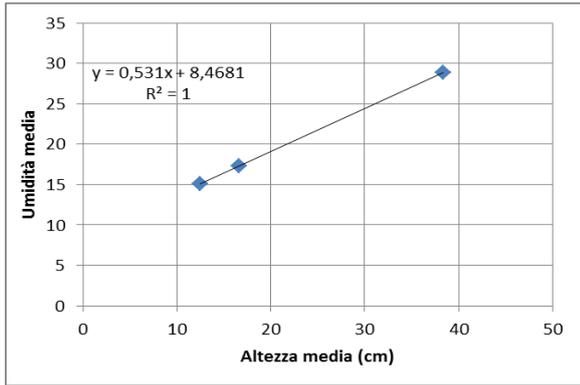


Figura 5.74 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 10 cm di profondità, Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'.

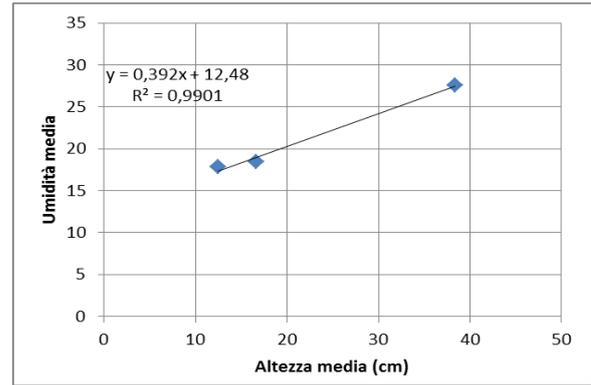


Figura 5.75 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 30 cm di profondità, per Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'.

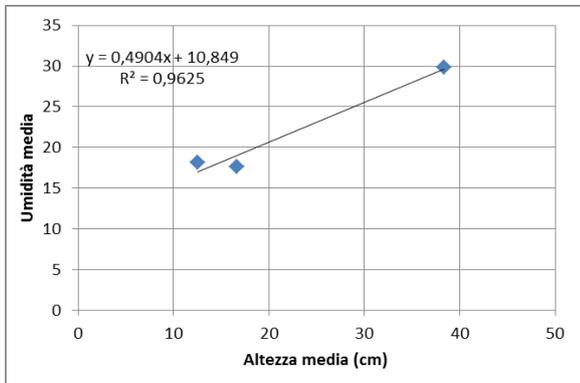


Figura 5.76 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 50 cm di profondità, per Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'.

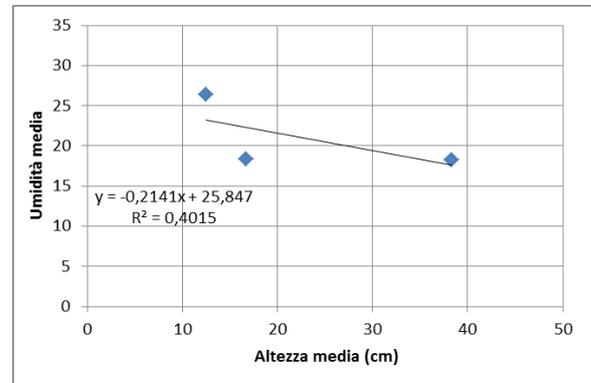


Figura 5.77 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalla sonda posta a 70 cm di profondità, per Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'.

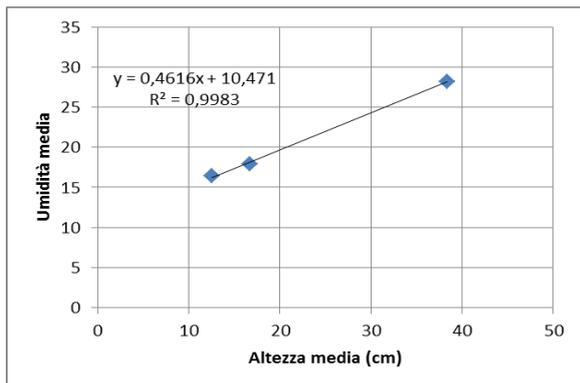


Figura 5.78 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalle sonde poste a 10-30 cm di profondità, per Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'.

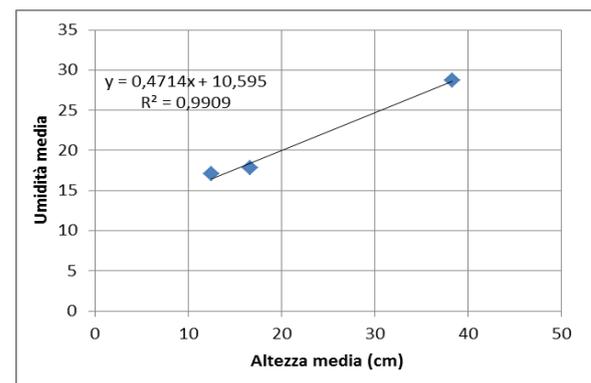


Figura 5.79 Analisi dell'altezza media in relazione all'umidità registrata nei due rain garden, dalle sonde poste a 10-30-50 cm di profondità, per Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'.

Le analisi di regressioni eseguite con i dati di biomassa raccolti a novembre e i valori medi di umidità di tutto il periodo (marzo-novembre) ha evidenziato una relazione molto scarsa anche per le specie che, nella precedente analisi, erano state osservate regressioni significative. La spiegazione di ciò è riconducibile al fatto che i maggiori accrescimenti si esprimono in primavera e sono quindi le condizioni pedoclimatiche che si realizzano in questo periodo ad essere particolarmente importanti e, infatti, per le sopra citate specie la relazione era risultata significativa. Considerando invece tutto il periodo di accrescimento, le variazioni di umidità che si sono realizzate da giugno a novembre hanno contribuito molto a determinare il valore medio di umidità ma non sono state altrettanto importanti nel condizionare il successivo accrescimento delle piante che, da giugno in poi, è stato molto più contenuto.

5.3 Considerazioni sul comportamento delle specie

Dai dati ottenuti nei tre rilevamenti svolti per ogni specie presente nei due rain garden si sono potute fare delle considerazioni sulla possibilità e modalità di impiego delle stesse nella realizzazione dei rain garden.

Volendo esprimere un giudizio complessivo per ciascuna specie si può affermare che *Aster novi-belgii* ‘White Ladies’ e *Molinia caerulea* hanno manifestato un accrescimento apparentemente influenzato dal tenore di umidità. Ciononostante, gli accrescimenti in altezza, il numero di fusti o accostamento, il numero di infiorescenze e la biomassa delle piante poste in prossimità del bordo sono stati comunque buoni. Questo, unitamente al fatto che l’aspetto estetico di queste piante non è stato sostanzialmente penalizzato dalle difficili condizioni che qui si sono realizzate, fa ritenere che queste due specie possano vantaggiosamente essere impiegate nei rain garden in qualsiasi posizione.

Per quanto riguarda invece *Echinacea purpurea* ‘The King’ le migliori performance espresse dalle piante nelle posizioni intermedie fanno ritenere che questa specie non tolleri substrati con elevati tenori di umidità come pure situazioni di stress idrico. Complessivamente questa specie ha manifestato una buona propensione all’impiego nei rain garden anche se i dati avrebbero bisogno di conferma per potere esprimere un giudizio più circostanziato.

Le due specie che hanno mostrato il comportamento più interessante sono state *Hemerocallis hybrida* ‘Glittering Treasure’ e *Iris pseudacorus*. Queste specie oltre a manifestare un accrescimento simile nei due rain garden e indipendente dalla distanza dal margine hanno evidenziato una copiosa fioritura e una buona produzione di fitomassa per cui si può sostenere

che queste due specie possono venir impiegate molto proficuamente nella realizzazione di rain garden senza vincoli di posizione.

Lythrum salicaria 'Robert' ha manifestato un maggiore accrescimento nella parte centrale dei rain garden questo perché questa specie sembra prediligere terreni con elevati tenori di umidità. Nella presente prova, comunque, problemi di ordine patologico, imputabili all'attacco del coleottero crisomelide *Galerucella californiensis* sembrano non garantire la funzionalità di questa pianta solamente per motivi estetici; una possibile soluzione potrebbe derivare dalla lotta biologica. Ulteriori ricerche dovrebbero essere condotte per verificare se altre varietà di questa specie siano più tolleranti nei riguardi di questa problematica.

Rudbeckia fulgida 'Goldsturm', infine, è risultata la specie che maggiormente è influenzata dal tenore di umidità del terreno e questo è stato manifestato anche da frequenti appassimenti che si sono verificati nel periodo estivo nelle piante più vicine al bordo, ovvero nelle posizioni più prone a carenza idrica. L'impiego di questa pianta, quindi, pare ipotizzabile solamente nelle parti centrali del rain garden dove i tenori di umidità sono mediamente più elevati.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

Dai dati rilevati attraverso le sonde igrometriche si è visto come quelle poste nella parte più esterna dei giardini comincino a registrare un aumento del contenuto di acqua nel profilo del terreno a partire da consistenti volumi di deflusso, generati da eventi maggiori a 25 mm di pioggia. La parte centrale di ogni rain garden, invece, ha presentato generalmente condizioni di umidità più elevate dopo gli eventi piovosi più rilevanti, in cui si era raggiunta la saturazione idrica, ma comunque con livelli mai tali da compromettere la sopravvivenza della vegetazione presente. Inoltre, si è visto che la elevata permeabilità del substrato di coltivazione usato, permette una rapida infiltrazione dell'acqua verso gli strati più profondi, che lo rende quindi adatto a questo tipo di allestimenti.

I tre rilievi vegetazionali eseguiti sulle specie impiegate hanno individuato in *Aster novi-belgi* 'White Ladies' e *Molinia caerulea* le specie che, in questa seconda stagione, hanno manifestato un generale buon accrescimento in entrambi i rain garden in qualsiasi posizione (dalla centrale a quelle più esterne) per cui queste due specie, pur essendo sensibili alle variazioni di umidità, possono essere inserite senza problemi in queste strutture. Per quanto riguarda invece *Echinacea purpurea* 'The King', questa specie ha manifestato un maggiore sviluppo nella parte intermedia dei due rain garden caratterizzata da condizioni idriche né troppo secche né troppo umide. Per questa specie, però, sarà necessario svolgere ulteriori indagini. Le due specie che in questo periodo di analisi hanno manifestato un comportamento più interessante sono state, *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' e *Iris pseudacorus*, le quali hanno evidenziato anch'esse un generale buon sviluppo che ne permette l'inserimento in qualsiasi zona del rain garden come per Aster e Molinia ma, a differenza di queste, esse non sono neanche particolarmente influenzate dal tenore di umidità che tende a variare a mano a mano che ci si allontana dal centro dei rain garden.

Lythrum salicaria 'Robert' e *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' in questo periodo di analisi hanno dimostrato di essere specie il cui sviluppo è strettamente legato al tenore di umidità: Lythrum ha manifestato un maggiore sviluppo nella parte centrale e problemi patologici che sembrano non garantire la funzionalità di questa pianta solamente per motivi estetici; Rudbeckia, invece, è risultata la specie che maggiormente è influenzata dal tenore di umidità del terreno tanto da manifestare anche da frequenti appassimenti nel periodo estivo, soprattutto nelle piante più vicine al bordo, ovvero nelle posizioni più prone a carenza idrica.

BIBLIOGRAFIA

Articoli:

CIRIA (2007)

The SUDS manual

Water Research (2008)

Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems.

Washington State University

Rain garden handbook.

Audrey Roy-Poirier, Pascale Champagne and Yves Filion

Review of Bioretention System Research and Design: Past, Present, and Future

Peter T. Weiss, John S. Gulliver, and Andrew J. Erickson

Cost and Pollutant Removal of Storm-Water Treatment Practices

Michael E. Dietz e John C. Clausen

A field evaluation of Rain Garden flowand pollutant treatment practices

Provincia Autonoma di Bolzano

Linee guida per la gestione sostenibile delle acque meteoriche.

Bob Bray, Dusty Gedge, Gary Grant & Lani Leuthvilay

Rain Garden Guide

Roger Bannerman and Ellen Considine

Rain Gardens: A how-to manual for homeowners

Altro:

Bortolini Lucia

dispense del corso "Irrigazione e drenaggio"

Tesi di laurea:

Davide Simonato (2011)

"Progettazione, realizzazione e prime valutazioni idrologico-vegetazionali del Rain garden di Agripolis"

Relatore Bortolini L., Correlatore Zanin G.

Scienze forestali, facoltà di Agraria Padova

Davide Brusaferrò (2012)

“Analisi dei deflussi d’acqua piovana nel giardino pluviale di Agripolis”

Relatore Bortolini L., Correlatore D’Agostino V.

Tutela del territorio e riassetto del paesaggio, facoltà di Agraria di Padova

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare Lucia Bortolini per avermi dato modo di poter partecipare a questa tesi sperimentale e per essere stata disponibile per ogni problema. Ringrazio anche Paolo Zanin per le parti relative alla componente idrologica e vegetazionale, per la sua disponibilità costante dall'inizio alla fine del periodo di tesi. Un ringraziamento anche a tutti i tecnici di Agripolis che hanno partecipato a ogni modifica apportata all'impianto del Rain garden.

Ai miei compagni di corso con i quali ho passato davvero dei bei momenti, non è facile riuscire a creare un clima simile in ambito universitario.

Un grazie di cuore va ad Alberto Scarpis e ai miei amici del Collegio Universitario 'Gregorianum' di Padova con i quali ho trascorso due anni fantastici, in modo particolare volevo ringraziare Francesco Messina, Cosimo Maceria, Nicolò Arena, Francesco Magliozzi, Fabio Peruzzo, Davide Zago, Federico Rizzo, Michele Toffolon, Alessandro Boaro, Matteo Todeschini.

Un ringraziamento particolare inoltre va ai miei genitori i quali mi hanno supportato nel raggiungimento di questo importante traguardo e a tutti i miei parenti più cari con cui voglio condividere questa giornata.