UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea magistrale in Scienze forestali e ambientali

Verifica della funzionalità del giardino pluviale di Agripolis

Relatore
Dott. ssa Lucia Bortolini

Correlatori
Prof. Vincenzo D'Agostino
Dott. Giampaolo Zanin

Laureando
Giorgio Sandonà
Matricola n. 1054659

ANNO ACCADEMICO 2013 – 2014

INDICE

RIASSUNTO 3

ABSTRACT 5

1. INTRODUZIONE 7

1.1 FUNZIONE DEL SUOLO 7

1.2 ALLUVIONI E SICCITA' 9

1.3 CAUSE DI QUESTI FENOMENI 13

1.4 PROBLEMI IN AMBITO URBANO 19

1.5 PROBLEMI IN AMBITO AGRICOLO 21

1.6 SOLUZIONI IN AMBITO AGRICOLO 27

1.7 SOLUZIONI IN AMBITO URBANO – INDUSTRIALE 30

1.8 GIARDINI PLUVIALI 35

2. SCOPO DEL LAVORO 45

3. MATERIALI E METODI 47

3.1 UBICAZIONE DELLA PROVA 47

3.2 SVOLGIMENTO DELLA PROVA 52

3.3 STRUMENTAZIONE PER IL RILEVAMENTO DEI DATI 60

3.4 MODIFICHE APPORTATE 77

3.5 RILIEVI EFFETTUATI 78

4. RISULTATI E DISCUSSIONI 95

4.1 ANDAMENTO CLIMATICO E UMIDITA' DEL SUOLO 95

4.2 TARATURA STRAMAZZO 109

4.3 ANALISI DEI DEFLUSSI E DELL'UMIDITA' DEL SUOLO NEL RAIN GARDEN PICCOLO 113

4.4 ANALISI DELLA COMPONENTE VEGETAZIONALE 146

4.5 RISULTATI PROVE PERMEABILITA' 179

6. CONCLUSIONI..... 183

ALLEGATO 1 187

BIBLIOGRAFIA..... 207

RIASSUNTO

Cementificazione, deforestazione e cambiamenti climatici stanno modificando il ciclo naturale dell'acqua. Soprattutto nelle zone più urbanizzate l'acqua si muove prevalentemente per scorrimento superficiale aumentando il rischio di alluvioni. Solo volumi ridotti riescono ad infiltrarsi nel suolo. Tutto questo sta causando l'abbassamento del livello delle falde.

Per mitigare questi problemi è necessario avviare degli interventi che favoriscano la gestione locale dei deflussi meteorici e l'infiltrazione degli stessi nel terreno.

L'impiego delle Best Management Practice (BMP) rappresenta una soluzione per il perseguimento di tali obiettivi. Tra le soluzioni proposte dalle BMP, i bacini di bioritenzione, ed in particolare i giardini pluviali, rappresentano sicuramente la soluzione ideale per la gestione dei deflussi in ambito urbano. Questi sono definiti come delle strutture vegetate costruite su terra per il controllo della qualità e della quantità delle acque di deflusso meteorico.

All'interno del polo universitario di Agripolis a Legnaro (Pd) nel 2010 è stata avviata una sperimentazione con l'obiettivo di valutare l'impiego dei rain garden per la gestione dei deflussi meteorici provenienti da un tetto.

Dai rilievi condotti tra giugno e novembre 2013 è emerso che un rain garden di circa 10,5 m^2 è in grado di gestire completamente i deflussi provenienti da un'area di 67 m^2 sottraendo dalla rete di drenaggio importanti volumi d'acqua. In particolare si sono infiltrati nel suolo 26230 litri mentre quelli persi per evapotraspirazione sono stati 3930 per un totale di 30160 litri d'acqua gestiti.

I rilievi sulla vegetazione eseguiti a luglio e novembre 2013 hanno mostrato che l'umidità del substrato influisce sullo sviluppo delle specie che si sono adattate in modo differente. *Henerocallis hybrida* 'Glittering Treasure', *Aster novi belgii* 'White Ladies' e *Molinia caerulea* hanno fornito i risultati migliori. *Echinacea purpurea* 'The King' ha mostrato uno sviluppo migliore nella zona del rain garden dove l'umidità ha valori medi. *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' e *Iris pseudacorus* hanno mostrato un buon adattamento alle condizioni di stress idrico presenti nel rain garden. Lo sviluppo di *Lythrum salicaria* 'Robert' è stato compromesso da un patogeno che ne ha ridotto anche il valore estetico. *Saponaria officinalis* si è

sviluppata in modo adeguato in tutte le posizioni mentre *Gazania rigens*, che soffre i ristagni idrici e valori troppo elevati di umidità, è andata incontro a deperimento nel periodo autunnale.

Nel complesso i rilievi hanno confermato che un giardino pluviale può rappresentare una soluzione ideale per la gestione sostenibile dei deflussi meteorici favorendo anche un aumento della biodiversità e del valore estetico ed economico dell'area i cui sono realizzati.

ABSTRACT

Verification of the functionality of the Agripolis' rain garden

Deforestation, overbuilding and climate changes are altering the natural water cycle. Water, especially in most urbanized areas, flows on the surface, and that increases the risk of floods. Moreover, only a small amount of water penetrates into the ground. All these factors are the reason why ground water is getting lower and lower.

In order to begin to solve these problems, it's necessary to start some actions in favour of run-off local management and underground infiltration.

The use of the Best Management Practices (BMP) can be very helpful if we want to reach these goals. Among the BMP suggested practices, bioretention ponds, particularly rain gardens, represent the ideal solution of the problem of run-off in urban areas.

Rain gardens are vegetated structures built on the ground to manage and treat the quantity and quality of stormwater runoff.

In 2010 Agripolis University of Legnaro has started some trials with the aim of assessing the use of raingardens in the management of run-off coming from a roof.

According to the measurements made between June and November 2013, a 10,5 mq raingarden is capable of draining run-offs from a 67 mq area, subtracting great water volumes from the drainage network. In particular 26 230 liters of water has sunk in the ground, whereas 3 930 liters of water have been lost in the air because of evapotranspiration, making a total of 30 160 liters of water.

Observations made on vegetation between July and November 2013 have pointed out that substrate humidity has a great influence on the growth of different plants. *Henerocallis hybrida* 'Glittering Treasure', *Aster novi belgii* 'White Ladies' and *Molinia caerulea* have grown very well.

Echinacea purpurea 'The King' has grown better where raingarden humidity reaches medium levels.

Rudbeckia fulgida 'Goldsturm' and *Iris pseudacorus* have been able to adapt to water stress situations in the rain garden.

The growth of *Lythrum salicaria* 'Robert'.has been compromised by a pathogen which has reduced aesthetic value.

Saponaria officinalis has grown properlyin all areas, whereas *Gazania rigens*, which can't put up with water stagnation and high humidity, has withered in autumn.

All in all, measurements have confirmed the hypothesis that raingardens can be very helpful in a sustainable management of run-off, favoring biodiversity and giving aesthetic and economical value where they are created.

1. INTRODUZIONE

1.1 FUNZIONE DEL SUOLO

Nel libro "The soil resource, origin and behaviour" Hans Jenny scrive:

> "Nell'uso comune, il suolo è lo strato al di sotto della vegetazione e al di sopra della roccia madre, ma si presentano immediatamente eccezioni a questa definizione. Molti suoli sono privi di piante, temporaneamente o permanentemente. Un suolo può essere poco o molto profondo, ma quanto profondo? Può essere sassoso, ma chi rileva i suoli esclude i sassi più grandi. La maggior parte delle analisi è relativa unicamente alle frazioni a granulometria fine dei terreni. Alcuni sostengono che il suolo presente in un vaso di fiori non sia un suolo, ma materiale prelevato da un suolo. È imbarazzante non riuscire a dare una definizione univoca di suolo, ma i pedologi non sono soli in questa situazione, visto che i biologi non possono accordarsi su un'unica definizione di vita e i filosofi su una di filosofia" (Jenny, 1980).

Pur essendo noto a tutti, il suolo è difficile da definire. Le definizioni, che spesso risultano simili, risentono dell'ambito scientifico in cui operano le persone che le hanno proposte.

Il suolo può essere sinteticamente definito come il mezzo in cui avviene la crescita delle piante; è il fattore principale che controlla il destino dell'acqua negli ambienti terrestri; è il sistema di riciclaggio della natura, dove i prodotti di scarto delle piante e animali vengono decomposti e trasformati nei loro elementi costruttivi di base; è infine, un habitat per numerose forme viventi, dai piccoli mammiferi alle più svariate forme di vita microscopica.

In media, il suolo, è composto da:

- 45% sostanza minerale (fase solida);
- 5% sostanza organica (fase solida);

- 50% vani vuoti (fase liquida e gassosa).

La fase solida comprende la sostanza minerale ed organica. Le particelle che la costituiscono differiscono per la tessitura. Essa, in base a questa classificazione, è suddivisa in due categorie a seconda del diametro delle particelle:

- scheletro: comprendente le particelle con diametro superiore ai 2 mm;
- terra fine: comprendente le particelle con diametro inferiore ai 2 mm. Questa è suddivisa in quattro sottogruppi: terra fine, sabbia fine, limo e argilla.

La fase gassosa è rappresentata dai vani vuoti presenti nel terreno. Essa è responsabile di due processi:

- processi di diffusione: dipendono dal fatto che ogni molecola effettua dei movimenti casuali che conducono, se si parte da una distribuzione eterogenea dei componenti, ad una condizione di equilibrio in funzione della pressione. I potenziali della componente gassosa sono funzione dello spazio effettivo dei pori e della loro tortuosità;
- processi di flusso di massa: hanno un'azione intermittente in funzione della pressione atmosferica, del gradiente di temperatura, dei cambiamenti di umidità e dell'azione del vento in superficie.

Il suolo ha diverse funzioni. Esso può essere considerato come supporto fisico per la costruzione d'infrastrutture, come base produttiva per l'ottenimento di buona parte dell'alimentazione umana e animale, di legname e altri materiali utili all'uomo.

Esso rappresenta anche la fonte di materie prime come argilla, ghiaia, sabbia, torba e minerali. Il suolo inoltre è un fattore determinante per la stabilità dei versanti e per la circolazione idrica sotterranea e superficiale.

Il suolo ha anche un'importante funzione naturalistica in quanto è l'habitat di numerose specie animali e vegetali e perché al suo interno si completano cicli fondamentali come quelli dell'azoto, del carbonio, del fosforo e dell'acqua.

Esso è, infine, un importante elemento del paesaggio che ci circonda e fa parte del nostro patrimonio storico e culturale.

Alla luce di quanto detto s'intuisce l'importanza che ricopre il suolo nel sistema terra e nel controllo dei delicati equilibri che sono in atto in essa.

La Carta Europea dei Suoli, redatta dal consiglio d'Europa nel giugno del 1972

dice che:

1. il suolo è uno dei beni più preziosi dell'umanità. Permette la vita dei vegetali, degli animali e dell'uomo sulla superficie della Terra;
2. il suolo è una risorsa limitata che si distrugge facilmente;
3. la società industriale usa i suoli sia a fini agricoli che a fini industriali o d'altra natura. Qualsiasi politica di pianificazione territoriale deve essere concepita in funzione delle proprietà dei suoli e dei bisogni della società di oggi e domani;
4. gli agricoltori e i forestali devono applicare metodi che preservino la qualità dei suoli;
5. i suoli devono essere protetti dall'erosione;
6. i suoli devono essere protetti dall'inquinamento;
7. ogni agglomerato urbano deve essere organizzato in modo tale che siano ridotte al minimo le ripercussioni sfavorevoli sulle zone circostanti;
8. nei progetti d'ingegneria civile si deve tener conto di ogni loro ripercussione sui territori circostanti e, nel costo, devono essere previsti e valutati adeguati provvedimenti di protezione;
9. è indispensabile l'inventario delle risorse del suolo;
10. per realizzare l'utilizzazione razionale e la conservazione dei suoli sono necessari l'incremento della ricerca scientifica e la collaborazione interdisciplinare;
11. la conservazione dei suoli deve essere oggetto d'insegnamento a tutti i livelli e di informazione pubblica sempre maggiore;
12. i governi e le autorità amministrative devono pianificare e gestire razionalmente le risorse rappresentate dal suolo.

1.2 ALLUVIONI E SICCITA'

L'acqua che si trova sulla superficie terrestre e nel sottosuolo è in continuo movimento e in modo ciclico si sposta tra gli oceani, l'atmosfera e le terre emerse. Questo movimento ciclico che porta l'acqua a spostarsi dagli oceani all'atmosfera e dall'atmosfera alla superficie terrestre è definito *ciclo idrogeologico*.

Il motore principale che consente il movimento tra i tre serbatoi è rappresentato dalla radiazione solare che fornisce l'energia per l'evaporazione dell'acqua.
Il ciclo ha inizio con le precipitazioni che possono essere di varia forma. Una parte dell'acqua cade direttamente sul suolo e sui corpi d'acqua mentre un'altra parte viene intercettata dalla vegetazione, dalla sostanza organica morta del suolo, dalle strade e dalle strutture urbane. A causa dell'intercettazione una parte consistente di quest'acqua non raggiunge mai il suolo ma torna direttamente in atmosfera per evaporazione.
Il volume di precipitazione che raggiunge il terreno, invece, si muove attraverso il suolo per infiltrazione. Il tasso di quest'ultima dipende dal tipo e dall'uso del suolo, dalla pendenza, dalla vegetazione e dall'intensità di precipitazione.
Durante gli eventi di forte intensità e quando il suolo è saturo d'acqua, quella in eccesso scorre sulla superficie del terreno ed è definita acqua di ruscellamento. Questo fenomeno è molto diffuso all'interno dei centri urbani, dove si stima che l'acqua allontanata per scorrimento superficiale possa arrivare ad essere uguale all'85 % di quella caduta al suolo con le precipitazioni.
La gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano rappresenta un problema molto rilevante. In queste aree il CN[1] medio rilevato è molto elevato e in genere è superiore ad 80. Questo è dovuto all'impermeabilizzazione di estese superfici di terreno attraverso la costruzione di edifici o strade.
L'acqua che non s'infiltra in quelle aree viene canalizzata verso fiumi e laghi e si allontana per deflusso superficiale.
I volumi d'acqua quindi non s'infiltrano lentamente nel sottosuolo ma si muovono in superficie a velocità molto elevate raggiungendo in breve tempo la rete idrografica principale che spesso non è in grado di sopportare dei carichi così elevati ed improvvisi.
Si stima che un ettaro di suolo non urbanizzato possa trattenere, in media, da uno a tre milioni di litri d'acqua (Fig. 1). Questo ci permette di intuire il ruolo che

[1] Il CN (Curve Number) è un parametro che esprime la tendenza di un suolo a produrre deflusso diretto. Questo è direttamente proporzionale al Curve Number. Il CN varia da 0 (superficie totalmente permeabile) a 100 (superficie totalmente impermeabile) e dipende dalla tipologia litologica del terreno, dall'uso del suolo, dall'umidità del suolo prima dell'evento meteorico e dalla stagione vegetativa.

riveste il suolo nella gestione dei deflussi ed i problemi che possono generarsi nei centri urbani.

L'Europa è uno dei continenti più urbanizzati. Circa il 75% della sua popolazione vive in aree urbane; entro il 2020 questa percentuale salirà a 80% (EEA, 2011). Di conseguenza, la domanda di terreno nelle città e attorno ad esse si sta facendo pressante; la proliferazione urbana sta rimodellando i paesaggi e incidendo sulla qualità della vita delle persone e sull'ambiente come mai prima.

Bisogna considerare, poi, che le città interagiscono con le zone circostanti, influenzandole e producendo effetti sull'ambiente che ricadono su un'area molto più ampia.

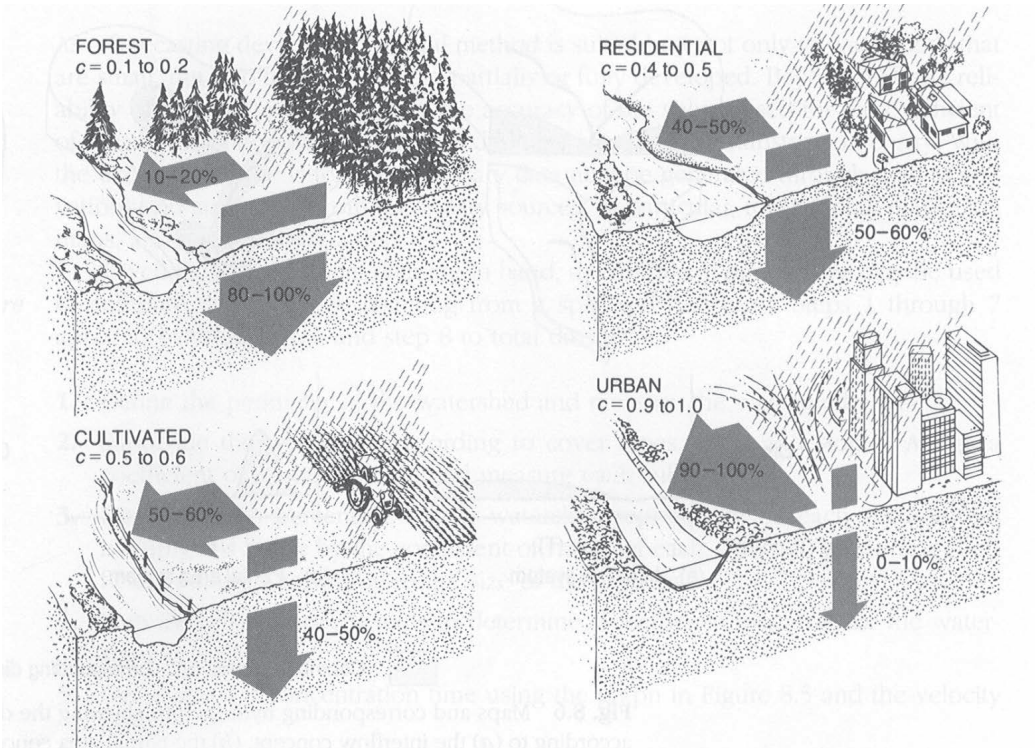


Figura 1: percentuale di acqua infiltrata nel suolo a seconda del suo diverso uso.

Sempre più spesso eventi meteorici di forte intensità determinano allagamenti che non sono limitati solamente ai centri urbani ma si estendono anche alle campagne limitrofe.

Tra il 1998 e il 2009, in Europa si sono verificate 213 gravi inondazioni, tra le quali quelle catastrofiche del Danubio e dell'Elba nell'estate del 2002. Tra il 1998 e il 2009, le alluvioni in Europa hanno causato 1126 morti, l'evacuazione di circa mezzo milione di persone e almeno 52 miliardi di Euro di perdite di beni

assicurati (EEA, 2009).

Inondazioni catastrofiche mettono quindi a repentaglio vite umane e causano pesanti perdite economiche.

Un problema di matrice totalmente opposta è rappresentato invece dalla siccità. Sembra un controsenso parlare di alluvioni e siccità insieme ma questi fenomeni si stanno ripetendo sempre più frequentemente e stanno interessando le medesime aree.

Per siccità si intende una temporanea riduzione delle disponibilità idriche, ad esempio in assenza di piogge per un lungo periodo.

L'Europa non è un continente arido ma le fonti di approvvigionamento idrico rappresentano attualmente un fattore di preoccupazione per almeno metà della popolazione dell'Unione Europea. La carenza idrica e la siccità sono fenomeni sempre più frequenti e diffusi (Fig. 2).

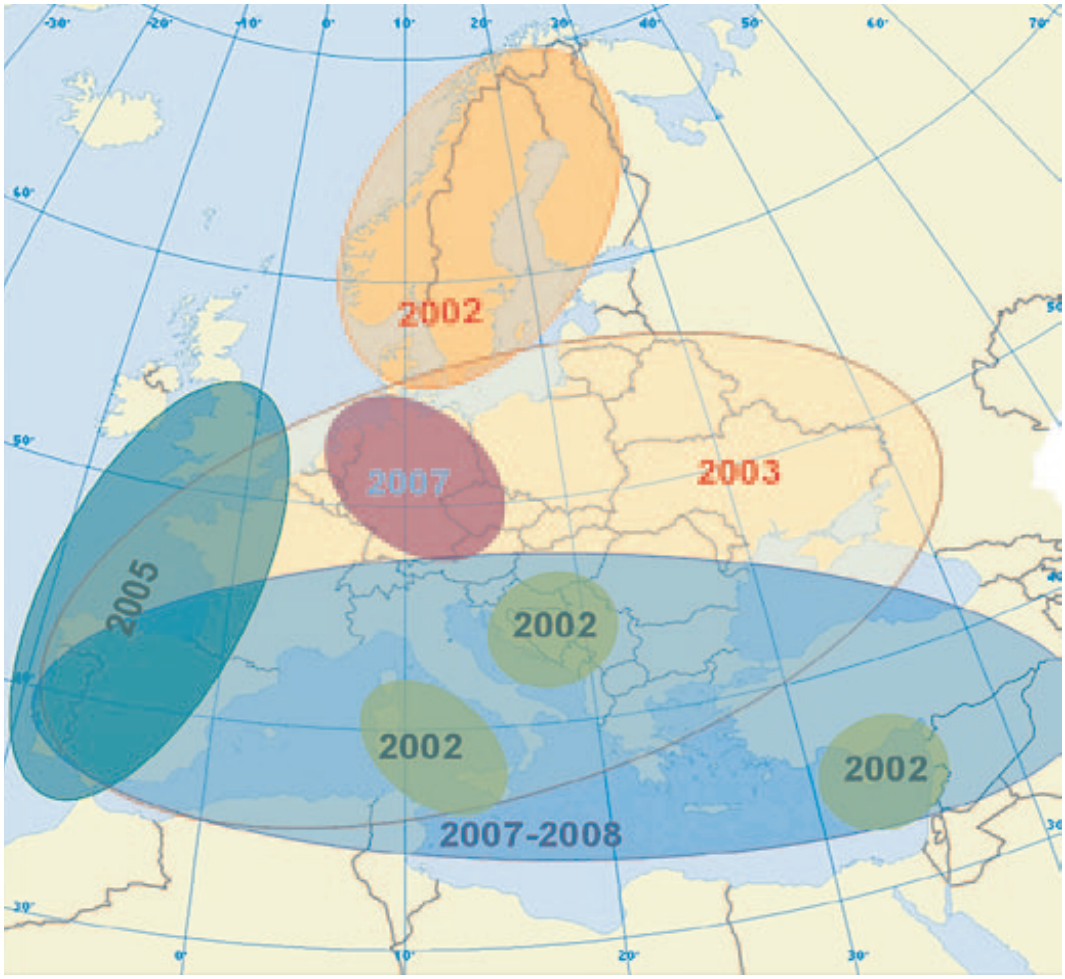


Figura 2: principali episodi di siccità che hanno interessato l'Europa negli ultimi anni.

Principali episodi di siccità in Europa

Dal 1980, è stato registrato un aumento del numero di casi di siccità in Europa che hanno comportato costi stimati in 100 miliardi di Euro (EEA, 2009). Uno dei peggiori periodi di siccità si è verificato nel 2003 e ha coinvolto un terzo del territorio dell'UE e oltre 100 milioni di persone. Tra il 1976 e il 2006, inoltre, il numero delle aree e degli abitanti colpiti da siccità è salito all'incirca del 2% e il costo medio annuale è quadruplicato.

Il quadro che emerge sembra piuttosto chiaro. Eventi climatici estremi sono sempre più frequenti e diffusi. Alluvioni e siccità non possono quindi essere analizzate in modo separato e possono essere considerate come due facce della stessa medaglia.

La domanda di acqua è in continua crescita in tutta Europa e spesso non si riesce a coprire tale fabbisogno.

Le riserve idriche presenti nelle falde del sottosuolo sono in diminuzione a causa della forte pressione esercitata su di esse. Bisogna considerare che l'acqua presente in questi serbatoi deriva dall'infiltrazione dei volumi che giungono sul terreno durante gli eventi meteorici. Se questa non percola nel terreno ma si muove per via superficiale in breve tempo raggiunge la rete idrografica e quindi giunge al mare.

In questo modo c'è una diminuzione dello stock d'acqua dolce in favore di quella salata. Tutto questo va a determinare una serie di problemi a catena che vanno dalla scomparsa di habitat umidi, dovuti all'abbassamento del livello delle falde, alla necessità di reperire fondi per l'esecuzione di interventi di potabilizzazione di acque marine o inquinate.

1.3 CAUSE DI QUESTI FENOMENI

Gli episodi di siccità sono in crescente aumento e si presentano sempre con maggior frequenza. Questi fenomeni riguardano almeno l'11% della popolazione europea e il 17% del territorio dell'UE.

Durante questi periodi le temperature sono solitamente molto elevate creando problemi di diversi tipi primo fra tutti un aumento del fabbisogno d'acqua.

Le cause che stanno determinando l'aumento delle temperature a livello globale e degli episodi di siccità sono molteplici. Sicuramente, però, cementificazione selvaggia, deforestazione e cambiamenti climatici possono essere considerati i fattori più importanti. Questi tre elementi non devono essere analizzati in modo separato perché sono tutti legati fra loro.

E' ormai noto che nel nostro pianeta sono in atto dei cambiamenti climatici. In particolare, emerge il significativo aumento delle temperature a livello globale negli ultimi 20 anni (Fig. 3).

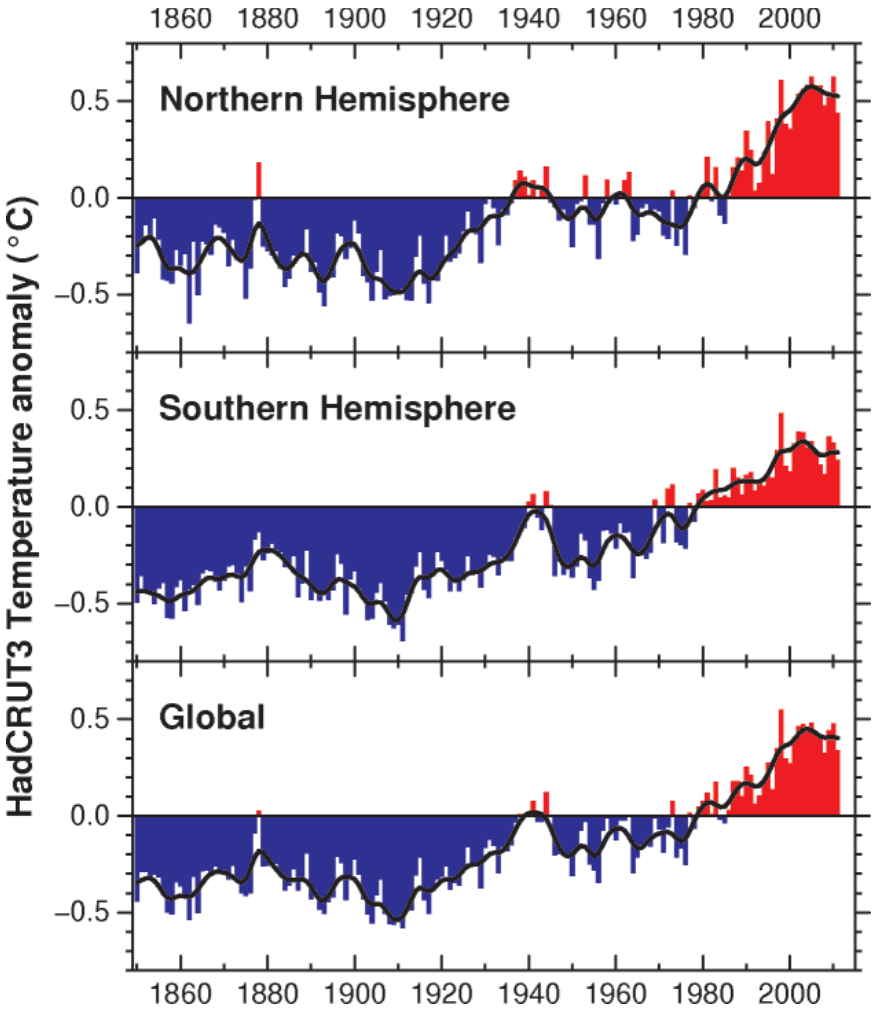


Figura 3: andamento delle temperature dal 1850 al 2011.

L'ente intergovernativo sui cambiamenti climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) nel suo rapporto del 2007 ha dichiarato che il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile. Questa tesi è supportata da innumerevoli osservazioni oggettive quali l'aumento medio della temperatura

globale dell'aria, l'anticipata e/o aumentata fusione diffusa di neve e ghiaccio e dall'innalzamento globale del livello medio del mare.

Tutto questo va ad influenzare anche il tempo meteorologico determinando un cambiamento nel movimento delle masse d'aria a livello planetario e quindi anche dei cicloni e degli anticicloni.

Cambiamenti climatici e aumento delle temperature sono dovuti principalmente all'emissione di gas serra e all'aumento delle loro concentrazioni nell'atmosfera. L'IPCC, nei suoi rapporti, ha mostrato dati sempre più inequivocabili sostenendo che la maggior parte delle responsabilità sono da imputarsi all'uomo. La concentrazione dei gas serra anidride carbonica, metano, ozono e perossido di azoto è in aumento a causa dell'uso dei combustibili fossili e della combustione delle biomasse. Il livello di anidride carbonica è salito dalla percentuale di 280 parti per milione dell'epoca preindustriale a quella attuale di circa 395 parti per milione. Dai rilevamenti sulle carote di ghiaccio si deduce che gli attuali livelli di CO_2 superano tutti quelli che si sono avuti sul pianeta da almeno 650000 anni.

Si stima che negli ultimi trent'anni il tasso di cementificazione sia più che raddoppiato. Questo fenomeno è sicuramente da attribuire in primo luogo all'aumento della popolazione, al benessere e alla globalizzazione che hanno portato alla costruzione di edifici, strade e grandi metropoli. Tutto questo necessità di una adeguata fornitura di risorse. Prima fra tutte l'acqua.

L'acqua prelevata in Europa è utilizzata per:

- 18% approvvigionamento idrico pubblico;
- 30% agricoltura;
- 14% industria;
- 38% energia (energia idraulica, acqua di raffreddamento) e usi vari non definiti.

In numerosi paesi l'acqua presente nel sottosuolo rappresenta la principale fonte di approvvigionamento idrico pubblico. Questo avviene perché ha un costo relativamente basso di prelievo e trattamento.

La maggior parte dell'acqua che è prelevata poi è reintrodotta nel ciclo idrogeologico in quanto non viene consumata. Il problema è che essa può essere reintrodotta in punti differenti del bacino idrografico da cui era stata prelevata o addirittura in bacini differenti. Questo fa si che ci siano degli impatti significativi

in corrispondenza dei punti di prelievo come l'abbassamento del livello della falda, il prosciugamento di fiumi o la perdita di zone umide. A causa dell'eccessivo sfruttamento delle acque sotterranee circa il 50% delle più importanti zone umide in Europa è considerato a rischio (AA. VV., 2011a).

Nelle città, a causa della cementificazione, durante qualsiasi evento meteorico solo una limitata quantità d'acqua che giunge al suolo riesce ad infiltrarsi. La maggior parte viene raccolta dalla rete fognaria e portata al di fuori dei confini della città stessa. In questo modo il bilancio idrico risulta squilibrato dato che i volumi infiltrati sono inferiori a quelli prelevati. Questa è una delle cause che sta determinando l'abbassamento del livello delle falde che si fa sentire in modo più marcato durante i periodi di siccità.

Nelle città, poi, sempre a causa della cementificazione si verifica il fenomeno delle così dette "Isole di calore" (Urban heat island – UHI). I centri abitati sono sempre caratterizzati da temperature più elevate rispetto alle zone rurali circostanti e hanno anche temperature più elevate rispetto al passato. La causa di questo è da ricercare nei materiali con cui le città stesse sono costruite e dalla maggiore attività antropica che è condotta al loro interno. Questo fenomeno è anche particolarmente dannoso per la salute umana nella stagione estiva soprattutto quando ci sono ondate di calore e periodi di siccità. La temperatura, oltre a raggiungere valori più elevati rispetto alle campagne circostanti nelle ore diurne, in quelle notturne si mantiene più elevata causando situazioni di rischio per la salute delle persone. Il problema dell'UHI estiva è in crescente aumento in quanto l'uso di condizionatori dovuto alle temperature elevate contribuisce ad innalzare la temperatura dell'aria stessa.

Le aree verdi contribuiscono a mitigare l'effetto delle isole di calore. Esse, oltre a contenere elevate concentrazioni d'acqua, hanno valori di albedo e d'inerzia termica[2] differenti rispetto a quelli dei materiali con i quali sono realizzati edifici e strade.

Avendo un albedo maggiore (le aree verdi hanno valori di albedo del 20-30% mentre nelle città può raggiungere valori del 5%) le aree verdi immagazzinano meno energia rispetto agli edifici e gran parte di questa viene usata dalle piante

[2] Per inerzia termica s'intende la capacità di un materiale di variare più o meno lentamente la propria temperatura in funzione alle variazioni di temperatura esterna.

stesse per i propri processi vitali riducendo ulteriormente la parte di radiazione che viene riemessa.

Le reti fognarie e un basso numero di aree verdi o alberature, nelle aree cementificate, comporta poi una diminuzione dell'acqua disponibile per l'evaporazione e la traspirazione. In estate, la presenza di vegetazione è molto importante perché contribuisce ad abbassare la temperatura dell'aria.

La vegetazione arborea, in città, ha anche una funzione ombreggiante ed impedisce alla radiazione solare di riversarsi direttamente sulle strutture artificiali consentendo a queste di riscaldarsi meno.

Come detto in precedenza, i cambiamenti climatici, la deforestazione e la cementificazione hanno agito in modo armonico favorendo l'aumento delle temperature. La siccità è solo uno degli effetti derivanti da questo.

È rilevante sottolineare però, che nel corso degli ultimi anni l'incidenza, l'intensità e la durata di periodi di siccità sono in continuo aumento. Inoltre stanno aumentando le difficoltà per l'approvvigionamento idrico a causa delle crescente domanda e all'abbassamento del livello delle falde e degli stock di acqua potabile disponibile nel sottosuolo.

Le alluvioni rappresentano una delle manifestazioni più tipiche del dissesto idrogeologico. Queste si generano quando le acque di un fiume fuoriescono dall'alveo e vanno ad inondare le zone circostanti causando danni ad edifici, vie di comunicazione, insediamenti industriali o zone agricole. Questi fenomeni possono causare inoltre la morte di persone.

L'istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR ha segnalato che le vittime causate da frane e inondazioni avvenute in Italia nel periodo 1960 – 2012 sono oltre 4000 mentre gli sfollati e i senzatetto per le sole inondazioni superano rispettivamente i 200 mila e i 45 mila.

Le più importanti sono state quelle dell'Arno nel 1966 e del Po nel 1994 e 2000. In Italia, poi, sono molto frequenti alluvioni che interessano bacini idrografici di piccole dimensioni in cui i tempi di sviluppo delle piene sono nell'ordine di qualche ora.

Le alluvioni sono fenomeni naturali. Negli ultimi anni la loro frequenza è in netto aumento. Tra le cause ci sono senza dubbio l'elevata antropizzazione e la diffusa impermeabilizzazione del territorio, la mancata gestione e pulizia delle rete idrografica e, anche in questo caso, i cambiamenti climatici che sono in atto.

Per quanto concerne questi ultimi, non sono disponibili ancora studi certi che indicano che la frequenza e l'incidenza delle alluvioni è aumentata, negli ultimi anni, anche per causa loro. Sicuramente si sono ridotti il numero di giorni piovosi e sono aumentati gli eventi di pioggia intensa. Ciò non toglie però che c'è stata una forte mutazione nell'uso dei suoli con l'aumento delle superfici artificiali. Di conseguenza si è ridotta anche la capacità d'infiltrazione dell'acqua in queste zone favorendo quindi il deflusso superficiale lungo la rete idrografica.

L'attività dell'uomo ha favorito e sta tuttora contribuendo all'aumento di questi fenomeni. Questo si evidenzia soprattutto nei centri urbani dove l'acqua ha minori possibilità di infiltrarsi nel suolo.

Oltre alla cementificazione poi bisogna ricordare che in molte città, per recuperare superfici edificabili, sono stati chiusi o tombinati canali e rogge.

L'acqua quindi ha ancora minori possibilità d'infiltrarsi. All'interno delle tubazioni, anzi, scorre ad elevata velocità giungendo in breve tempo alla rete idrografica. Nel caso di un evento di piena il problema è consistente perché si va ad aggravare situazioni che sono già delicate.

In genere la sezione delle tubazioni impiegate per la tombinatura non è sufficiente a raccogliere le precipitazioni durante gli eventi intensi.

La chiusura di questi canali provoca quindi problemi sia a livello locale che di bacino idrografico.

In aggiunta a questo è doveroso ricordare che spesso non viene eseguita alcuna manutenzione di queste opere che obiettivamente è molto complicata e costosa. Un problema diffuso è il deposito di materiale che nel breve – medio periodo può provocare la chiusura completa della sezione. Questo provoca allagamenti di quartieri o addirittura di intere città. Il costo dei danni derivanti da tali eventi, però, è solitamente superiore a quello che l'ente gestore avrebbe dovuto affrontare per gli interventi periodici di manutenzione.

Lo sviluppo che c'è stato attorno alle città negli ultimi 20-30 anni è avvenuto poi senza eseguire alcun tipo di pianificazione. Si è proceduto semplicemente ad ampliare aree industriali e quartieri residenziali senza considerare le peculiarità del territorio.

La rete fognaria che raccoglie le acque meteoriche, poi, non è più adeguata per i volumi che deve assorbire attualmente. Quando si eseguono ampliamenti, infatti, non si va quasi mai ad aumentare le dimensioni delle condotte vecchie ma

semplicemente si uniscono queste con quelle nuove.
La mancanza di pianificazione ha permesso la realizzazione di quartieri nei quali le aree verdi erano ridotte al minimo o addirittura non previste.
Gli effetti derivanti dall'essenza di questi spazi sono importanti. Per prima cosa la vegetazione è in grado di intercettare una parte della precipitazione che non giunge nemmeno al suolo e torna direttamente nell'atmosfera per evaporazione. La vegetazione determina poi un'ulteriore perdita d'acqua dal suolo. Attraverso le radici, infatti, le piante assumono acqua dal terreno per perderla attraverso le foglie e altri organi con il processo di traspirazione.
Il CN, proprio per la mancanza di aree verdi, è molto elevato e l'infiltrazione dell'acqua non è per niente favorita.
Passando dai problemi presenti a livello locale all'analisi di quelli che ci sono a livello di bacino idrografico possiamo affermare che la mancanza di una corretta manutenzione e gestione è alla base di molti episodi alluvionali.
I problemi maggiori, in questo caso, si registrano quando c'è un cedimento dell'argine con il conseguente allagamento di estesi territori oppure quando del materiale, che può essere legname che si deposita nell'alveo o rifiuti scaricati dall'uomo, ostruisce la sezione del fiume causando strozzature o sbarramenti.
Alla luce di quanto detto possiamo affermare che le cause che determinano alluvioni e periodi siccitosi sono circa le stesse.
La perdita di aree verdi, l'antropizzazione e impermeabilizzazione del territorio ed i cambiamenti climatici stanno alla base, seppur con peso diverso, di questi fenomeni.
I problemi che siccità ed alluvioni vanno a causare sono differenti a seconda che ci si trovi in ambito urbano o agricolo. In entrambi i casi i costi che la collettività deve sostenere per far fronte ai danni causati da questi fenomeni sono ingenti.

1.4 PROBLEMI IN AMBITO URBANO

18 novembre 2013: esondazione di fiumi, torrenti e canali di smaltimento per le acque piovane, favorita dall'accumulo di detriti, nei comuni di Olbia, Nuoro e Uras. 18 morti.

12 novembre 2012: nubifragio investe la città di Grosseto ed i territori meridionali della Maremma. 6 morti.

4 novembre 2011: a Genova esondazione dei fiumi Bisagno, Fereggiano, Sturla e Scrivia dovuta alle intense precipitazioni e alla mancanza di manutenzione degli alvei che corrono in città (la maggior parte sono tombinati). 6 morti.

In ambito urbano il fenomeno delle alluvioni riveste sicuramente un peso maggiore. Questo si denota analizzando i problemi che esso crea quando si manifesta nelle aree densamente abitate.

I danni causati da un'alluvione interessano molti settori. Questi possono essere di tipo economico, sociale o ambientale.

Il solo comune di Vicenza in seguito all'alluvione che ha colpito la città nel novembre del 2010 ha stimato che l'ammontare economico per il ripristino di monumenti, strade e strutture pubbliche era pari a 6,5 milioni di Euro (Comune di Vicenza, 2010). A questi devono essere aggiunti poi i danni che hanno interessato i privati cittadini e le aziende.

Cifre analoghe, se non più alte, vengono calcolate dopo ogni alluvione. Nei centri d'interesse turistico ci possono essere anche perdite dovute al calo delle presenze dopo gli eventi o danni ad opere d'arte. Queste sono difficili da quantificare ma nelle zone dove l'economia è basata sul turismo sono sicuramente ingenti.

A causa di queste calamità, poi, si registrano spesso decessi o feriti tra la popolazione. Inoltre bisogna considerare che l'intera popolazione è colpita da forme di stress post traumatico ma anche disagi psicologici.

Oltre a tutto questo, dopo un'alluvione, bisogna affrontare molti problemi di tipo ecologico ed ambientale. In primo luogo è necessario bonificare il territorio dai materiali che l'acqua ha movimentato durante l'evento. Questi poi devono essere smaltiti in modo adeguato aggravando il conto economico dei danni. Altro problema di tipo ecologico può verificarsi quando l'acqua invade i terreni di discariche o depositi chimici. L'acqua, infatti, si mescola con i percolati ed i prodotti chimici generando una serie di danni ad habitat naturali, ad animali e alle falde sotterranee.

Anche durante un normale evento meteorico l'acqua è soggetta a fenomeni di inquinamento. Durante le piogge, infatti, finiscono nei collettori stradali anche metalli pesanti come Piombo, Nichel e Cadmio che derivano dai gas emessi dalle

auto o dalle fabbriche. Questi sono naturalmente presenti in natura ma il problema nasce quando le loro concentrazioni superano determinati valori. L'acqua raccolta dalle caditoie stradali viene convogliata direttamente alla rete idrografica senza che questa subisca alcun tipo di trattamento. Nei punti di scarico quindi le concentrazioni di tali sostanze aumentano causando danni all'ambiente e poi anche all'uomo.

I costi per il ripristino dei danni sono sempre molto elevati e comunque superiori a quelli che sarebbe necessario sostenere per la prevenzione di tali eventi. Purtroppo non c'è la volontà a livello politico e istituzionale d'investire in sicurezza e forse non c'è ancora la percezione reale del rischio a cui siamo esposti.

1.5 PROBLEMI IN AMBITO AGRICOLO

Nelle zone rurali, dal punto di vista economico, i danni causati da alluvioni e periodi siccitosi sono per lo più simili. Le zone di campagna sono generalmente deputate alla produzione agro-alimentare. Questo settore, che è fondamentale per il sostegno alimentare alla popolazione, risente di questi eventi in modo marcato.

L'alluvione che ha colpito recentemente i territori della Sardegna (18 novembre 2013) ha causato la perdita dei raccolti invernali, la distruzione di vigneti e frutteti ma anche la morte di intere mandrie di bestiame. La Coldiretti, in un rapporto del 3 dicembre 2013, ha stimato che il conto dei danni e delle perdite provocato dall'andamento climatico anomalo del 2013 ha superato il miliardo di Euro. La stessa associazione ha poi sottolineato che negli ultimi 20 anni sono spariti 2,15 milioni di ettari di terra coltivata e il 15% delle campagne.

I problemi causati dalla siccità sono per lo più simili e sono rappresentati da una riduzione della produzione o perdita dei raccolti.

Considerando un arco di tempo superiore a quello stagionale possiamo individuare problemi ben più seri causati da questi fenomeni. Questi sono l'erosione del suolo e la desertificazione. Le responsabilità in questo caso sono da ricercare anche tra gli agricoltori stessi che nell'ottica di massimizzare la produzione non hanno adottato metodi adeguati per preservare il territorio.

L'erosione è una delle principali cause di degrado del suolo ed è in aumento in molte zone d'Europa (Ernstsen *et al*., 1995; Blum, 1990). La diffusione dell'agricoltura intensiva negli ultimi 50 anni ha influito fortemente sull'espansione del fenomeno, in particolare nell'Europa occidentale. La crescente meccanizzazione, l'aratura di terreni in pendenza, l'abbandono della rotazione delle colture in alcuni sistemi agricoli, l'eccesso di pascolo e il drenaggio del terreno sono tra i maggiori fattori di pressione, così come l'eliminazione di siepi, muretti e steccati per lasciare spazio a campi più estesi e a tecniche agricole più efficienti.

Tutto questo va sicuramente ad influire sulla riduzione della resistenza e della resilienza dei territori a siccità ed alluvioni. Questi eventi, anzi, vanno ad aumentare le dimensioni del problema.

Tutti i paesi europei sono interessati in qualche misura dal fenomeno (Van Lynden, 1995): all'incirca 115 milioni di ettari, pari al 12% del totale della superficie europea, sono esposti all'erosione idrica (Oldeman *et al*., 1991). Nella Federazione russa, compresa la parte asiatica, il 15% di tutti i terreni irrigati e il 16% delle terre drenate sono gravemente degradati (saturazione d'acqua, salinizzazione, erosione) a causa della gestione inadeguata delle risorse idriche (ministero per la Protezione della Natura della Federazione russa, 1996).

Nella regione del Mediterraneo, l'erosione idrica può provocare la perdita di 20-40 tonnellate/ettaro di suolo in un singolo nubifragio e oltre 100 tonnellate/ettaro in casi estremi (Morgan, 1992). Il fenomeno è aggravato da una serie di caratteristiche della regione, tra cui:

- presenza di pendii ripidi;
- frequenti precipitazioni torrenziali;
- riduzione della copertura vegetale a causa dell'agricoltura intensiva, di tecniche non sostenibili di selvicoltura, incendi e altri fattori (ad esempio lo sviluppo industriale e urbano);
- abbondanza di suoli poveri, altamente soggetti all'erosione;
- periodi piovosi non corrispondenti ai periodi di maggior copertura vegetale;
- riduzione dell'agricoltura estensiva e sostenibile;
- abbandono delle campagne a seguito di cambiamenti socioeconomici.

A causa delle fragili condizioni del suolo, in alcune zone del Mediterraneo l'erosione idrica è ormai irreversibile (Sanroque, 1987; Rubio, 1987; Van Lynden, 1995).

In base alla definizione concordata a Rio nel 1992 e adottata dalla convenzione ONU sulla lotta alla desertificazione, per processo di desertificazione s'intende "Il degrado del terreno in zone aride, semiaride e subumide, derivante da vari fattori, tra cui le variazioni climatiche e le attività umane" (Segretariato provvisorio UNCCD, 1997). Questa graduale e progressiva diminuzione della capacità del terreno di sostenere comunità vegetali e animali, attività agricole e forestali, minaccia diverse zone dell'Europa meridionale, che comprendono Spagna, Grecia, Portogallo, Italia, Francia (Corsica), Malta e Cipro. Generalmente nelle zone interessate la disponibilità di acqua dolce è limitata e le precipitazioni variano fortemente in termini spaziali e temporali, con frequenti e ricorrenti periodi di siccità.

In queste aree, ampie zone coltivate da lungo tempo hanno subito un degrado talmente grave da non essere più in grado di sostenere nessun tipo di coltivazione redditizia; le conseguenze sono l'abbandono della terra e lo spopolamento delle campagne.

Le principali conseguenze della desertificazione nell'Europa meridionale e sudorientale sono:

- riduzione della resistenza dei suoli alle pressioni naturali e umane;
- riduzione della crescita di vegetazione;
- depauperamento delle risorse idriche superficiali e sotterranee, a causa del ruscellamento superficiale accelerato, e aumento dell'esposizione ai processi di degrado (contaminazione, acidificazione, salinizzazione);
- deterioramento della qualità del paesaggio;
- perdita di biodiversità.

Inoltre, la desertificazione può esercitare effetti indiretti sul clima regionale e sulla migrazione degli uccelli.

Le cause della desertificazione nell'Europa meridionale e sudorientale per molti aspetti sono analoghe ai fattori che provocano l'erosione del suolo (AA. VV., 2011b).

Un altro fattore determinante per la desertificazione è la forte domanda di acqua

per una serie di attività socioeconomiche. Questi prelievi provocano un notevole abbassamento del livello della falda, l'aumento del costo dell'irrigazione del terreno agricolo, l'abbandono dell'attività agricola nei casi in cui diventa antieconomica, e la creazione di condizioni favorevoli all'infiltrazione di acqua di mare, con la conseguente ulteriore diminuzione della fertilità del suolo. Condizioni di questo tipo si sono create nella regione dell'ex lago Karla (Tessaglia, Grecia) e in prossimità della costa orientale e sudorientale della Spagna, dove l'ipersfruttamento degli acquiferi ha fatto scendere il livello della falda al di sotto del livello del mare, permettendo l'infiltrazione di acqua salata.

Tutti questi effetti derivanti da desertificazione, alluvioni e siccità stanno causando forti problemi anche agli habitat naturali mettendo a forte rischio la vita di numerose specie animali e vegetali.

L'IPCC nel suo ultimo rapporto del 2013 ha affermato nuovamente che nell'arco del secolo il cambiamento climatico influenzerà in maniera crescente il ciclo dell'acqua a scala globale, sebbene con alcune differenze a scala regionale.

Sulle zone equatoriali e alle alte latitudini ci sarà, probabilmente una crescita delle precipitazioni, con l'intensificazione dei fenomeni estremi e delle conseguenti piene fluviali. Le zone tropicali aride saranno invece soggette a precipitazioni sempre minori.

Alla luce anche di queste considerazioni è importante attuare una serie di pratiche atte a favorire la gestione e la salvaguardia della risorsa idrica. Il risultato di queste azioni potrebbe portare effetti positivi anche alla qualità del suolo e al mantenimento degli habitat naturali.

L'Unione Europea, nel 2000, in riferimento a questo tema ha emanato la Direttiva Europea 2000/60/CE denominata "Water Framework Directive" (WFD). Questa definisce una serie di azioni comunitarie in materia di acque ai fini della tutela e gestione delle risorse idriche quali: acque interne superficiali, sotterranee, le acque di transizione e costiere.

La Direttiva si prefigge le seguenti finalità:

- impedire un ulteriore deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici;
- agevolare un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;

- mirare alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie, fino all'arresto o alla graduale eliminazione;
- assicurare la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e impedirne l'aumento;
- contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

Per la protezione e la conservazione delle acque sotterranee, la Direttiva 2000/60/CE prevede (articolo 17) l'adozione di una specifica direttiva contenente disposizioni dettagliate. Così, la Direttiva 2006/118/CE sulla "protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento", stabilisce:

- criteri per valutare il buono stato chimico delle acque sotterranee;
- criteri per individuare e invertire le tendenze significative e durature all'aumento dell'inquinamento;
- linee guida per la fissazione di valori soglia da parte degli Stati Membri.

Inoltre, il documento integra le disposizioni già previste nell'allegato V della Direttiva 2000/60/CE intese a prevenire o limitare le immissioni di inquinanti nelle acque sotterranee.

In Italia la Direttiva 2006/118/CE è stata recepita con il Decreto Legislativo n. 30 del 16 marzo 2009.

Attuazione delle direttive

L'attuazione delle Direttive impegna gli Stati Membri a raggiungere entro il 2015 l'obiettivo dello stato buono, sia per le acque superficiali che per quelle sotterranee. Deve inoltre essere mantenuto, dove già esistente, lo stato elevato. Gli Stati Membri si impegnano a conformarsi agli standard e agli obiettivi stabiliti per le Aree Protette (Acque a specifica destinazione d'uso, Aree Sensibili, Parchi, SIC, ZPS, etc.) entro il 2015.

Negli Stati Uniti invece nel 1972 è stata introdotto il "Clean Water Act" (CWA). Questa è una legge federale che disciplina l'inquinamento delle acque. Essa stabilisce l'avvio di una serie di azioni per ridurre la concentrazione di sostanze tossiche presenti nell'acqua e per bloccare l'inquinamento che è in atto.

In molte sezioni di questa legge il Congresso fa riferimento alle "Best Management Practice" (BMP).

Le BMP propongono una serie di soluzioni attraverso le quali gli impatti avversi di sviluppo o espansione urbana e industriale, vengono controllati e mitigati. Le BMP sono definite nel manuale per prevenire gli effetti dei nubifragi come: programmi di attività, proibizioni di pratiche, procedure di manutenzione e pratiche strutturali o gestionali che utilizzate singolarmente o in combinazione possono prevenire o ridurre il rischio di rilascio di sostanze inquinanti nelle acque (Municipal Research and Services Center of Washington, 2013).

Lo scopo principale delle BMP è quello di proteggere le risorse idriche ed i benefici che esse offrono attraverso la riduzione dei carichi inquinanti e delle concentrazioni. Tutto questo può essere ottenuto attraverso la riduzione delle portate che transitano nella rete fognaria.

Le BMP propongono, inoltre, una serie di misure per mitigare i problemi di tipo qualitativo e quantitativo dei deflussi causati dai cambiamenti d'uso del suolo. Le BMP sono progettate per ridurre il volume delle acque piovane, i picchi di portata e le forme d'inquinamento mediante sistemi di infiltrazione, detenzione, evapotraspirazione o azioni biologiche e chimiche.

La peculiarità delle BMP è che hanno un ampio range di applicazione e possono quindi essere sviluppate soluzioni specifiche per ogni contesto (Fig. 4).

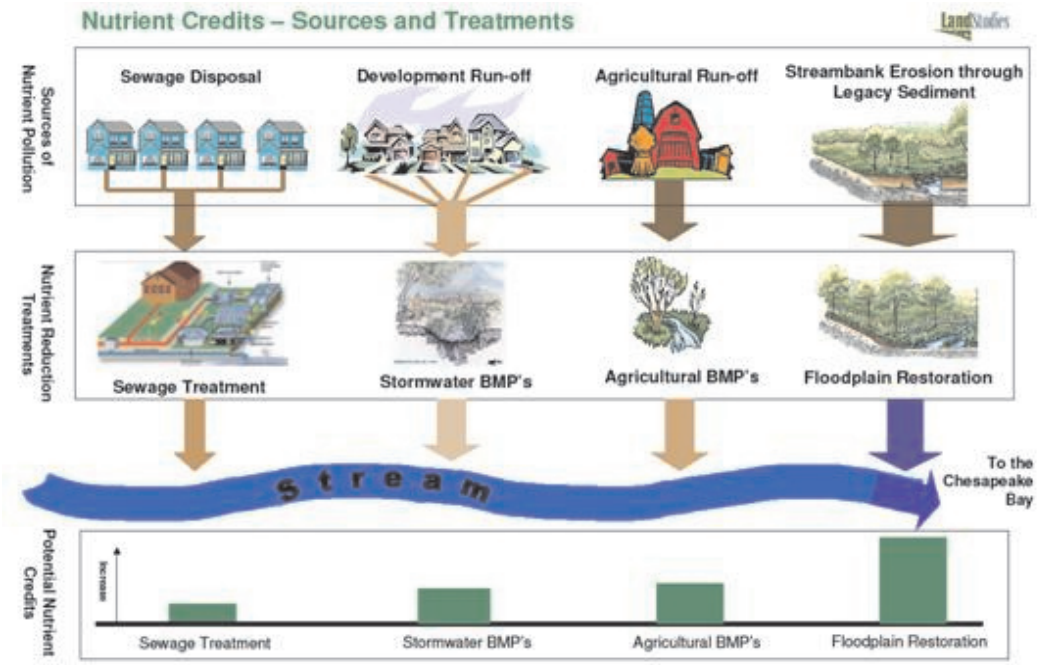


Figura 4: ambiti di applicazione delle Best Management Practices (www.lyco.org).

1.6 SOLUZIONI IN AMBITO AGRICOLO

Nelle zone rurali possono essere eseguiti, fondamentalmente, interventi per la regimazione delle acque o che favoriscono l'infiltrazione della stessa nel sottosuolo.

L'obiettivo di tali operazioni è quello di immagazzinare nel suolo la maggior quantità possibile di acqua derivante dalle precipitazioni. Questo si può perseguire riducendo al minimo le perdite per scorrimento superficiale, e quelle per percolazione profonda o per evaporazione. Per fare questo possono essere applicate tecniche di aridocoltura che prevedono:

- lavorazioni autunnali profonde (arature) prima della stagione delle piogge. In questo modo si accrescono le potenzialità del terreno nel formare una riserva idrica utile. Per favorire questo è possibile anche mantenere la superficie del terreno smossa per impedire lo scorrimento superficiale e aumentare la quantità di micropori in profondità;
- sistemazioni del terreno in grado di regimare i deflussi veloci superficiali favorendo la penetrazione dell'acqua nel terreno;
- sarchiature delle colture per limitare gli effetti dell'evaporazione e ridurre

quindi la perdita d'acqua dal suolo durante la stagione estiva;

- interventi tecnici come concimazioni organiche per favorire la formazione della struttura del terreno;
- attuazione del maggese nudo che consiste in un'annata in cui non si coltiva il terreno che viene tenuto a riposo. Durante questo periodo si eseguono quattro lavorazioni (arature) periodiche per mantenerlo smosso in superficie e pulito da malerbe (che con la traspirazione potrebbero consumare acqua). L'obiettivo principale di tale lavorazione è quello di accumulare un certo quantitativo d'acqua nel terreno per la coltura dell'anno successivo. Obiettivi secondari sono quelli di favorire la mineralizzazione della sostanza organica, l'aumento della dotazione di azoto per fissazione asimbiontica e per apporti da parte delle acque meteoriche e lotta alle malerbe;
- attuazione del maggese coperto che prevede una coltura di leguminose nel periodo autunnale – primaverile che poi viene sovesciata in primavera;
- impiego di pacciamatura, frangivento e lotta alle malerbe.

In alcuni casi, in cui gli episodi di siccità sono molto ricorrenti, per evitare l'abbandono di questi terreni che appaiono inospitali si potrebbero coltivare piante che utilizzano al massimo le limitate disponibilità idriche naturali e che ne massimizzano l'efficacia. In questo modo si andrebbe ad evitare l'inaridimento e poi la desertificazione di questi suoli dovuti al loro abbandono.

Un'altra azione molto importante per favorire la regimazione delle acque è quella di ripristinare i fossi e le scoline che nel passato erano diffusi nei terreni agricoli. Questi servivano per l'irrigazione durante il periodo estivo ma avevano anche un ruolo fondamentale in primavera ed autunno quando raccoglievano l'acqua meteorica che eccedeva dai terreni circostanti che poi si infiltrava lentamente nel sottosuolo. Attualmente, con le moderne pratiche agricole che prevedono coltivazioni di tipo intensivo molte scoline sono state chiuse. Sarebbe importante ristabilire e potenziare questa rete che è in grado di gestire diversi metri cubi d'acqua.

In aggiunta sarebbe opportuno realizzare o ripristinare le fasce boscate o le siepi che tradizionalmente erano poste lungo questi canali. Esse sono in grado di assolvere a diverse funzioni. Particolarmente importante è la capacità di

regimazione delle acque in eccesso e la fitodepurazione.

Le fasce boscate possono rappresentare, mediante adeguate sistemazioni idrauliche, un'importante rete di protezione durante gli eventi metereologici più intensi. Esse possono fungere da aree ad alluvionamento programmato a tutela delle zone circostanti. È dimostrato, poi, che la presenza di aree boscate contribuisce alla riduzione degli inquinanti disciolti nelle acque di provenienza agricola consentendo un abbattimento significativo dei nutrienti in eccesso.

La creazione di fasce boscate permette inoltre:

- l'assorbimento e lo stoccaggio dell'anidride carbonica presente nell'atmosfera;
- la parziale intercettazione di polveri ed inquinanti;
- l'aumento della biodiversità e la creazione di corridoi ecologici;
- effetto frangivento e protezione delle colture circostanti.

Tali funzioni non hanno un effetto diretto su alluvioni o siccità ma potrebbero avere ricadute positive sul clima del territorio.

Per contrastare l'abbassamento delle falde possono essere attuate anche altre azioni.

Il Consorzio di Bonifica Brenta e Veneto Agricoltura, ad esempio, hanno avviato un progetto sperimentale pilota denominato Aree Forestali di Infiltrazione (AFI) con l'obiettivo di eseguire la ricarica delle falde acquifere dell'alta pianura vicentina. Questo progetto è stato avviato nel 2008 per porre rimedio al fenomeno della "moria" delle risorgive, che sono diffuse nel territorio, causato dall'abbassamento dei livelli della falda.

Nella provincia berica sono stati realizzati cinque impianti pilota caratterizzati ognuno dalla presenza di una serie di canalette in terra dalla profondità di 70-80 cm e larghezza 40-50 cm e distanziate fra di loro di 7-8 m. Nelle fasce poste tra una canaletta e l'altra sono state piantate siepi campestri formate da piante gestite a ceduo con turno triennale o quinquennale.

Nella stagione non irrigua, e quindi nel periodo che va da settembre a maggio, in queste scoline viene immessa acqua prelevata dal fiume Brenta attraverso impianti irrigui esistenti. In questo modo essa può infiltrarsi e giungere poi alla falda. Mediamente il periodo di funzionamento di questi impianti è di circa 200-250 giorni all'anno ed è influenzato dall'andamento meteorologico stagionale.

Le AFI sono in grado di generare numerose esternalità positive che vengono godute sia dai proprietari dei terreni agricoli che dall'intera comunità. Queste sono:

- ricostruzione del patrimonio idrico sotterraneo;
- rinascita delle risorgive;
- incremento della disponibilità di acqua per l'irrigazione;
- miglioramento della qualità delle acque sotterranee, in particolare attraverso la riduzione della contaminazione da nitrati;
- produzione di energia rinnovabile attraverso la ceduazione delle piante;
- riduzione dell'emissione di gas serra;
- miglioramento del paesaggio;
- incremento della biodiversità.

In base ai primi risultati del progetto è stato stabilito che per far rinascere il sistema delle risorgive tra il fiume Brenta e il torrente Astico sarebbe sufficiente convertire a fascia d'infiltrazione un territorio di circa 50 ettari.

1.7 SOLUZIONI IN AMBITO URBANO – INDUSTRIALE

In ambito urbano le difficoltà principali sono rappresentate dalla gestione dei deflussi meteorici e dall'abbattimento della carica inquinante che essi contengono. Le BPM propongono diversi approcci per far fronte a queste problematiche. Le tecniche che meglio si adattano ad essere impiegate in ambiente urbano sono quelle proposte da LID "Low Impact Development". Il concetto di LID, sviluppato nel Maryland nella contea di Prince George negli anni novanta, descrive un sistema di pianificazione territoriale basato sulla gestione del deflusso delle acque piovane attraverso la conservazione e l'utilizzo di elementi naturali. I LID prevedono opere che agiscono su scala ridotta che replicate sul territorio consentono di controllare i deflussi meteorici prima che giungano alla rete idrografica. Questi sistemi possono prevedere l'infiltrazione, il filtraggio, la conservazione, l'evaporazione o la detenzione dei deflussi in runoff dagli ambienti urbani. Una peculiarità che unisce tutti i metodi è che in tutti i casi sono utilizzati elementi naturali e che il controllo avviene vicino alla fonte di

produzione del deflusso.

A conferma della bontà del LID, l'EPA US Environmental Protection Agency ha promosso queste metodologie che possono essere usate per soddisfare gli obiettivi del Clean Water Act.

Sistemi che si propongono gli stessi obiettivi sono diffusi anche nel Regno Unito dove assumono il nome di SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems).

Le tecniche LID offrono numerosi vantaggi ambientali ed economici:

- miglioramento della qualità dell'acqua: uso delle LID permette di ridurre la carica inquinante (come detto, durante il deflusso, le acque meteoriche raccolgono metalli pesanti, oli, idrocarburi, ecc.) prima che l'acqua in deflusso raggiunga la rete idrografica. Una migliore qualità dell'acqua aumenta i valori delle proprietà e riduce i costi di bonifica che il governo deve sostenere.
- Riduzione del numero delle inondazioni: le pratiche LID riducono i volumi e la velocità di deflusso delle acque piovane riducendo le probabilità che si verifichino costosi danni alle proprietà dovuti alle inondazioni.
- Restauro di habitat acquatici: il runoff superficiale dell'acqua provoca erosione nei canali e danni agli habitat di piante e animali. Le pratiche LID riducono la quantità di acque meteoriche che raggiungono i canali consentendo di preservare questi habitat.
- Ricarica della falda: i sistemi LID trattengono l'acqua nei pressi della zona di produzione del deflusso permettendo a questa di infiltrarsi nel terreno fino a giungere alla falda.
- Aumento della bellezza e del valore economico delle infrastrutture e dei quartieri: i sistemi tradizionali di gestione delle acque prevedono l'uso di canali in calcestruzzo, bacini recintati, tubi antiestetici, ecc. Utilizzando le LID possono aumentare i valori delle proprietà in quanto queste strutture, oltre che funzionali, sono gradevoli dal punto di vista estetico. Esse permettono poi di mitigare l'effetto dell'isola di calore (con una riduzione dei costi di climatizzazione), e creare corridoi ecologici all'interno dei quartieri.

Le tecniche LID possono essere applicate sia nelle aree in via di urbanizzazione,

prevedendo il loro utilizzo nella fase di pianificazione iniziale, ma anche nelle aree densamente urbanizzate dove queste pratiche possono fornire benefici e risolvere problemi di gestione dei deflussi.

Le principali tecniche LID sono:

- tetti verdi (Green roofs);
- pavimentazioni permeabili (Permeable pavers);
- cisterne e serbatoi per l'accumulo dell'acqua piovana (Rain barrels and cisterns);
- ammendanti (Soil amendments);
- filtri alberati (Tree box filters);
- bacini di bioritenzione (Bioretention areas).

Tetti verdi

Sono strutture, realizzate sulle coperture degli edifici, composte da strati di coltivazione e drenaggio di diversa profondità in grado di favorire lo sviluppo di una copertura vegetale. Le specie impiegate possono richiedere bassa manutenzione, i tetti verdi sono definiti in questo caso di tipo estensivo, o maggior manutenzione (es. sfalci per i tappeti erbosi) e sono definiti allora di tipo intensivo. Le piante prescelte devono comunque essere in grado di tollerare elevato calore, siccità prolungata ma anche periodiche condizioni di saturazione.

Grazie a processi fisici, biologici e chimici i tetti verdi trattengono diverse sostanze inquinanti contenute dall'acqua. Essi, grazie alla capacità di ritenzione idrica, riescono a ridurre i volumi che arrivano ai collettori e ritardare il picco di portata. Queste strutture inoltre mitigano l'effetto dell'isola di calore e aumentano la coibentazione e la qualità estetica degli edifici.

Pavimentazioni permeabili

Sono pavimentazioni costruite con tecniche e materiali che consentono l'infiltrazione delle acque meteoriche attraverso la superficie. Nelle pavimentazioni permeabili gli spazi di giunzione superficiali adiacenti tra una unità ed un'altra non vengono chiusi ma anzi hanno lo scopo di far filtrare l'acqua verso gli strati sottostanti. Essa passa attraverso i vuoti presenti nella ghiaia e viene drenata verso il basso. La pavimentazione perciò compie la doppia funzione

di supportare il carico veicolare e drenare l'acqua. Anche gli inquinanti presenti si infiltrano nella pavimentazione e la maggioranza di essi viene intrappolata all'interno degli strati (Pezzaniti et al., 2008).
Le pavimentazioni permeabili possono essere realizzate con grigliati plastici o lastricati contenenti degli spazi vuoti che permettono all'acqua di infiltrarsi. In alternativa possono essere costituite da asfalto o calcestruzzo reso poroso che consentono di perseguire i medesimi risultati.
Questi sistemi sono impiegati solitamente nelle zone con traffico leggero come parcheggi, piste ciclabili o marciapiedi.
Le pavimentazioni permeabili possono favorire lo sviluppo di un buon apparato radicale per gli alberi che beneficiano della disponibilità di maggior apporti idrici e maggior circolazione d'aria.

Cisterne e serbatoi per l'accumulo dell'acqua piovana

I serbatoi per l'accumulo dell'acqua sono sistemi a basso costo che possono essere applicati a siti commerciali, industriali o residenziali per gestire il runoff derivante da superfici di copertura. Questi serbatoi presentano in genere un foro nella parte superiore per consentire il flusso da un pluviale, un tubo per il troppo pieno e alla base un rubinetto per il prelievo dell'acqua accumulata. L'acqua può essere utilizzata per l'irrigazione del prato o del giardino o per l'approvvigionamento idrico domestico supplementare. Questi serbatoi possono essere anche collegati fra loro in modo da poter accumulare dei volumi superiori.
Le cisterne sono in genere di dimensioni maggiori e possono avere una capacità che arriva anche a 10000 litri. Queste possono essere sotterranee o poste in superficie ed essere integrate con la rete idrica di casa o con il sistema di irrigazione del giardino.
Questi sistemi riducono il volume d'acqua dispersa per ruscellamento ritardandone e riducendone i picchi.

Ammendanti

Vengono distribuiti su quei terreni la cui capacità di far infiltrare l'acqua è molto bassa. In genere fenomeni di compattazione di suolo si hanno nei siti in cui sono in corso opere edili o dove c'è il passaggio di macchine pesanti oppure dove la

struttura del suolo è stata degradata. Questa tecnica prevede prima una lavorazione profonda del terreno e poi la distribuzione di substrati che apportano un miglioramento strutturale del suolo favorendo quindi l'infiltrazione dell'acqua. Il miglioramento della struttura del suolo favorisce inoltre la formazione di una copertura vegetale che nel tempo migliorerà la ritenzione idrica del suolo.
Per ottenere il massimo beneficio, prima di applicare la tecnica, bisogna eseguire l'analisi del suolo in cui si va ad intervenire in modo da stabilire il substrato ottimale.

Filtri alberati

I tree box filters sono delle trincee contenenti un substrato filtrante al cui interno sono piantati degli alberi. Essi sono generalmente usati negli ambienti urbani e sono posti lungo le strade o i marciapiedi. Queste strutture raccolgono l'acqua che deriva da queste superfici, la filtra e poi, attraverso un tubo di scarico viene convogliata nella rete fognaria. Per evitare il compattamento del substrato le trincee devono essere protette con una grata.
I vantaggi offerti da questi sistemi sono filtraggio dell'acqua grazie anche alla presenza delle piante, riduzione dei volumi in runoff superficiale e di quelli diretti alla rete idrica.
La scelta delle piante da impiegare deve essere molto attenta in quanto esse devono essere in grado sopportare situazioni di ristagno e siccità. L'apparato radicale poi non deve essere troppo invasivo per non vanificare la capacità filtrante del substrato.

Bacini di bioritenzione - bioretention

I bacini di bioritenzione o bioretention sono strutture vegetate costruite a terra per il controllo di qualità e quantità delle acque di deflusso meteorico che sfruttano le proprietà chimiche, fisiche e biologiche di piante, microrganismi e substrati.
Le bioretention possiedono un'elevata adattabilità a livello progettuale e per questo motivo possono essere realizzati in diversi ambienti urbani, ad esempio in zone residenziali, ma anche siti commerciali o industriali. Utilizzando queste strutture, non solo si provvede al controllo gestionale della qualità e della quantità dell'acqua meteorica, ma si aggiungono una serie di valori allo sviluppo della

diversità ambientale e paesaggistica, portando la biodiversità all'interno dell'ambiente costruito (Maryland Department of Environment, 2000).

Le bioretention sono costituite da depressioni con funzione di invaso temporaneo in cui sono fatte vegetare delle piante, solitamente piante erbacee perenni o, per strutture di dimensioni maggiori, anche specie arbustive o arboree. Lo strato di materiale sottostante alla vegetazione deve possedere una elevata permeabilità e porosità per favorire la percolazione in profondità verso la falda sottostante o verso il sistema di drenaggio urbano.

Le bioretention sono composte da una serie di elementi che agendo in sintonia permettono:

- la riduzione del volume meteorico e del picco di portata che giunge alla rete fognaria;
- la riduzione dei fenomeni di erosione ed inondazione;
- la ricarica della falda;
- la riduzione della superficie impermeabile all'interno di una città;
- il miglioramento dal punto di vista paesaggistico;

In genere nelle bioretention sono presenti:

- un substrato formato da: suolo (generalmente terreno del posto) che consente di adsorbire inquinanti come metalli pesanti o idrocarburi, sabbia che migliora l'aerazione del suolo e il drenaggio dell'acqua e compost di origine organica;
- delle piante che rimuovono degli inquinanti attraverso i cicli nutritivi e utilizzano l'acqua con i processi di evapotraspirazione.

Queste strutture sono economiche da installare e mantenere e possono essere applicate sia a siti residenziali-commerciali che industriali.

La scelta circa il tipo di bioretention da installare varia principalmente in base alla quantità dei volumi d'acqua da trattare, alle condizioni di suolo esistenti, lo spazio disponibile ed il budget a disposizione.

1.8 GIARDINI PLUVIALI

Un rain garden o giardino pluviale è una particolare bioretention di dimensioni

contenute, con valenza anche estetica ornamentale, creato di norma vicino alla fonte di deflusso (superfici pavimentate, tetti, ecc) con la funzione di accumulare l'acqua, dando a questa tempo per infiltrarsi e fitodepurarsi.

Il rain garden si presenta come una normale aiuola di dimensioni variabili che può trovarsi all'interno di giardini di varia estensione. A differenza delle altre aiuole, però, l'acqua vi arriva in modo diverso ed è soggetta inoltre ad altri processi.

Di norma, infatti, le zone a verde vengono realizzate in modo tale da favorire il movimento dell'acqua verso la rete di raccolta, così da evitare problemi di ristagno nei pressi delle piante. Nei rain garden, invece, durante le precipitazioni meteoriche l'acqua si accumula all'interno degli stessi, viene infiltrata e depurata.

Un rain garden, quindi, è concepito come un sistema per interrompere il runoff alla fonte, riorientarlo ed in questo modo facilitarne la percolazione attraverso il suolo, permettendo alle sostanze inquinanti presenti nell'acqua di essere assorbite, immobilizzate e utilizzate dalle piante.

Riassumendo, un rain garden:

- gestisce in-situ i volumi di deflusso superficiale generati dalla precipitazione favorendone la rapida infiltrazione e sottraendoli alla rete di drenaggio urbano;
- controlla le sostanze inquinanti presenti nel runoff riducendo la concentrazione nelle acque di percolazione;
- può contribuire alla riduzione di allagamenti stradali, risolvendo in parte i problemi di drenaggio;
- se adottato su vasta scala, contribuisce a stabilizzare le portate dei corsi d'acqua, migliorando la qualità delle acque di ricezione;
- richiede poca manutenzione riducendo i costi di gestione del verde essendo un giardino che per la maggior parte si autosostiene;
- fornisce un habitat per la fauna selvatica e per specie vegetali autoctone;
- contribuisce a mitigare gli estremi del microclima urbano;
- aumenta il valore di un'area, apportandone una qualificazione dal punto di vista estetico e ambientale.

I giardini pluviali sono considerati una delle soluzioni più efficaci e versatili nel panorama dei sistemi proposti dal Low Impact Development.

Tipologie e campi d'applicazione

Esistono due tipi fondamentali di giardini pluviali:

- rain gardens under-drained (giardini pluviali sotto drenati);
- rain garden self-contained (giardini pluviali autosufficienti).

Gli obiettivi che perseguono sono pressoché identici. La scelta tra una tipologia e l'altra varia invece a seconda dei volumi d'acqua che si vogliono trattare, le caratteristiche del suolo esistente, lo spazio disponibile ed il budget per il progetto.

Essi differiscono per il fatto che i primi sono isolati dal suolo circostante per mezzo di un telo di materiale geoplastico o una struttura in cemento e sono collegati alla rete fognaria per mezzo di un tubo; i self-contained invece sono realizzati direttamente a contatto con il suolo circostante e l'acqua riesce ad infiltrarsi e nel terreno.

Generalmente i rain garden under-drained, che hanno dei costi di installazione leggermente superiori agli altri, vengono impiegati in quelle zone in cui non si vuole che avvenga l'infiltrazione dell'acqua perché i terreni adiacenti sono contaminati (e si andrebbe ad inquinare quindi anche l'acqua che si infiltra) oppure quando durante l'anno la falda è troppo alta e non consente il regolare deflusso dell'acqua.

I giardini pluviali sono progettati, generalmente, in modo da garantire il drenaggio dell'acqua entro quattro ore dopo un evento di pioggia. Gli under-drained riescono a drenare l'acqua entro le due ore successive all'evento. L'acqua che si accumula al loro interno e che poi fuoriesce attraverso il tubo di scarico può essere accumulata in una cisterna. Essa quindi può essere impiegata per usi domestici.

Il terreno presente nei rain garden riveste un ruolo molto importante e il buon funzionamento della struttura dipende dalle caratteristiche del suolo.

Un terreno idoneo deve essere composto da un minimo del 35% fino al 60% di sabbia e un quantitativo d'argilla inferiore al 25%. In questo modo è garantita una permeabilità di 1-1,5 cm/ora.

Il suolo inoltre deve favorire lo sviluppo e la sopravvivenza della vegetazione. Per questo motivo il terreno deve avere un pH neutro o sub-acido e una buona dotazione di sostanza organica (è possibile mescolare del compost al terreno per aumentare la sua fertilità).

Grazie alla loro ampia adattabilità i rain garden possono essere installati in

moltissimi ambienti.

I loro campi di applicazione vanno dalle aree industriali a quelle commerciali e residenziali. Ad esempio possono essere impiegati per intercettare l'acqua derivante da capannoni o edifici residenziali oppure quella che si accumula nelle aree di sosta realizzate con sistemi tradizionali (asfalto o cemento). Anche lungo le strade, nelle isole spartitraffico oppure nei giardini delle scuole (dove assumono anche una funzione didattica o sono usati come aula all'aperto) possono trovare impiego queste strutture.

Considerando le loro caratteristiche essi rappresentano la soluzione ideale per gestire i deflussi provenienti da piccole aree.

Elementi di posizionamento

Un rain garden, oltre ad essere in grado di gestire il deflusso delle acque meteoriche, è una soluzione estetica gradevole.

Quando si vuole installare un giardino pluviale bisogna seguire alcune prescrizioni:

- mantenere una distanza minima di 3 m dalle fondamenta degli edifici o dalle proprietà limitrofe;
- localizzare dove si trovano tubi, tombini o cavi interrati così da evitare che questi possano essere danneggiati;
- evitare aree vicine a terreni con pendenze elevate (generalmente superiori al 12%) perché possono verificarsi frane o smottamenti;
- eseguire un'analisi del terreno e nel caso esso non presenti le caratteristiche ideali per poter ospitare un rain garden, procedere alla sua miscelazione con un substrato idoneo.

È preferibile poi scegliere aree con esposizione soleggiata perché in questo modo le piante hanno una maggiore evapotraspirazione e inoltre c'è più scelta per quanto riguarda le specie che possono essere impiegate.

Le dimensioni di queste strutture devono essere valutate con attenzione in modo che esse riescono a far infiltrare tutta l'acqua che ricevono.

Dimensionamento

Per eseguire il dimensionamento di un rain garden si possono applicare vari

metodi più o meno complessi ma che sono basati tutti sulle caratteristiche dell'area impermeabile e di quella di drenaggio.

Quando si vuole progettare un sistema di bioretention per gestire i deflussi di quartieri o piccole città si utilizza un metodo basato sull'uso del CN.

Generalmente i rain garden sono adottati in zone residenziali e ricevono i deflussi di aree di piccole dimensioni. Per questi casi sono disponibili metodi più semplici.

Il metodo basato sul CN è stato proposto dall'USDA, United States Departmant of Agricolture, esso è basato sul concetto che l'impianto che si va a dimensionare deve essere in grado di far infiltrare lo stesso quantitativo d'acqua di un'area boscata di uguali dimensioni del sito. Un esempio di quest'approccio è riportato nel Prince George's County Bioretention Manual (2007). Esso stima l'ubicazione, la superficie e la profondità che i vari rain garden devono avere in modo tale che l'aumento dei valori di CN dovuti all'urbanizzazione siano compensati da quelli delle aree verdi. L'obiettivo principale è di mantenere invariati i valori d'infiltrazione dell'acqua pre e post urbanizzazione.

Per i rain garden residenziali invece sono stati proposti metodi di calcolo semplificati. I più utilizzati sono quelli di Bannerman e Considine (2003).

Entrambi sono basati sul fatto che la profondità del giardino varia in funzione della pendenza del sito come descritto in tabella (Tab. 1).

Tabella 1: fattore di dimensionamento (Bannerman e Considine, 2003).

Pendenza	**Profondità (cm)**
< 4 %	8 - 13
5 % - 7 %	15 - 18
8 % - 12 %	max 20
> 12 %	Sito non adatto

In base ai valori riportati in tabella si nota che quando le pendenze sono basse o trascurabili il giardino può essere realizzato senza che sia necessario prevedere l'uso di sponde. All'aumentare della pendenza, invece, è necessario ricorrere alla costruzione di invasi più profondi e addirittura è sconsigliato realizzare un rain garden quando questa supera il 12%.

Il primo metodo (Metodo I Bannerman e Considine, 2003) prevede il dimensionamento del rain garden in funzione della distanza tra il punto di massima pendenza della depressione e l'orlo esterno e le caratteristiche del

substrato presente nel giardino (Tab. 2).

Tabella 2: Fattori di dimensionamento dei rain garden con il Metodo I (da Bannerman e Considine, 2003, modificato).

	Sito a meno di 10 m dalla grondaia			Sito a più di 10 m dalla grondaia
Tipo di suolo	**Profondità 8 - 13 cm**	**Profondità 15 - 18 cm**	**Profondità 20 cm**	**Per tutte le profondità**
Sabbioso	0,19	0,15	0,08	0,03
Limoso	0,34	0,25	0,16	0,06
Argilloso	0,43	0,32	0,2	0,1

Conoscendo questi valori e la profondità del rain garden desunta dalla tabella (Tab. 1) si determina un coefficiente di moltiplicazione per le dimensioni dell'area da drenare. Il risultato indica le dimensioni della superficie del giardino pluviale.
Il Metodo II (Bennerman e Considine, 2003) è ancora di più facile applicazione. Secondo questo sistema la superficie del rain garden deve essere pari al 7% dell'area su cui scorre l'acqua in runoff. Per stimare questo valore è necessario misurare la dimensione delle superfici impermeabili e di quelle permeabili. Queste poi devono essere moltiplicate per un coefficiente di runoff riportato in tabella (Tab. 3).

Tabella 3: fattori di dimensionamento Metodo II (Bannerman e Considine, 2003).

Tipo di superficie	Coefficiente di deflusso
Impermeabile (tetti, strade, pavimenti)	0,9
Permeabile (tappeti erbosi, aree boscate)	0,25

I due valori ottenuti vengono poi nuovamente moltiplicati per 0,07 (% di runoff) e la somma dei due risultati che si ottengono corrisponde alla superficie totale che deve avere il rain garden.
Per facilitare il dimensionamento di questi giardini molti Stati americani hanno predisposto, oltre ad alcuni manuali, anche pagine web dove inserire una serie di parametri in base ai quali si ottengono informazioni relative a profondità e superficie del rain garden (Fig. 5).

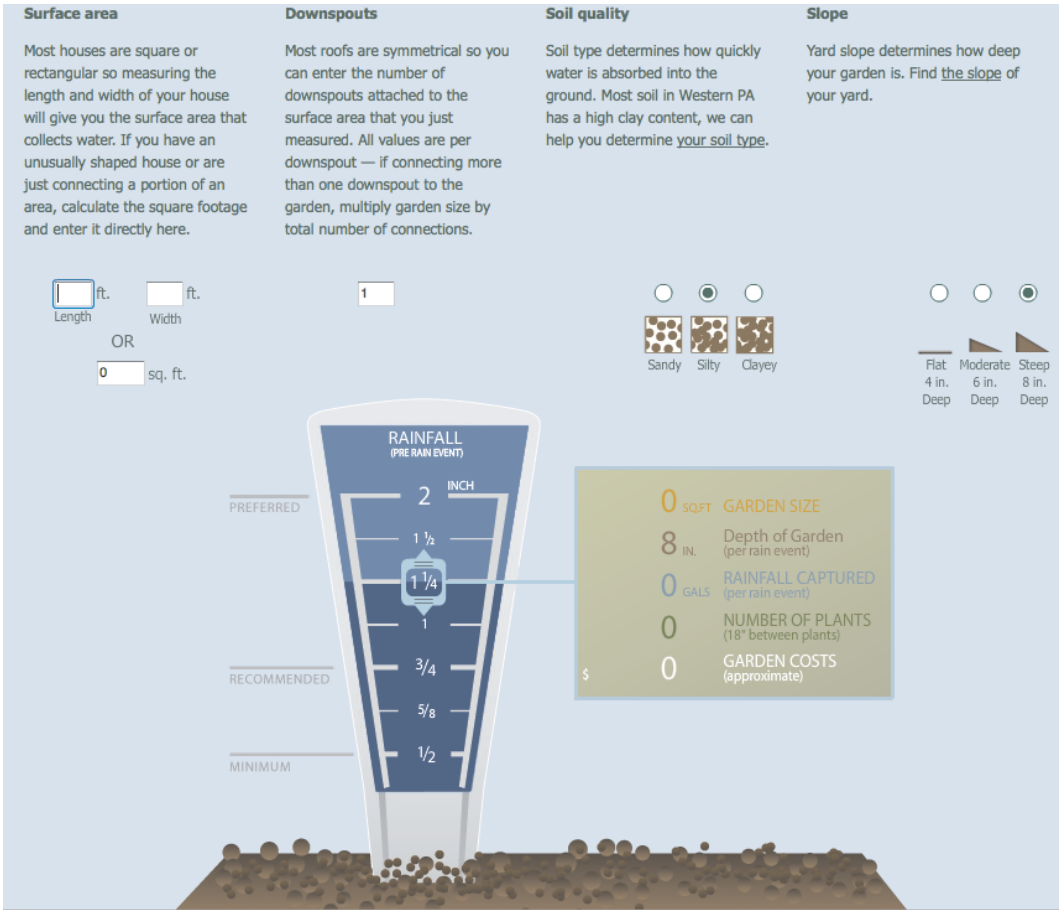


Figura 5: esempio di programma per il dimensionamento di un giardino pluviale (www.raingardenalliance.org).

Vegetazione

La scelta delle piante da inserire in queste aree può essere eseguita come per tutte le altre aiuole. Quindi si devono scegliere le specie in base all'esposizione e poi quelle che riescono a sopravvivere al clima della regione (soprattutto minimi e massimi termici). Inoltre bisogna preferire quelle che riescono a sopportare gli estremi idrici tipici di queste strutture. Sono frequenti, infatti, lunghi periodi siccitosi e brevi periodi di inondazione.

All'interno del rain garden, poi, possiamo avere condizioni di umidità differenti in base alla posizione rispetto al bordo (che generalmente si trova a una quota superiore rispetto al centro).

Nella parte più bassa del giardino devono essere piantate specie che tollerano periodi più lunghi di inondazione mentre nella parte più esterna, dove c'è sempre una umidità più bassa, preferire piante adatte a condizioni xeriche.

I risultati migliori si ottengono poi con l'impiego di piante sane e piccole piuttosto

che grandi così da riuscire ad adattarsi meglio alle condizioni nel corso dello sviluppo.

Possono essere usati anche semi. Il loro impiego esclusivo, tuttavia, è da evitare perché le erbe infestanti entrano subito in competizione con le piante seminate, il loro affrancamento è più difficoltoso e forti piogge nei giorni successivi alla semina potrebbero scalzare le giovani piante o causare marciumi al colletto a causa della persistenza di elevati livelli di umidità.

In genere nei rain garden sono presenti piante autoctone perché sono quelle che sicuramente si adattano alle condizioni della regione. Possono essere usate però anche piante alloctone se si adattano alle condizioni di sviluppo. Questi giardini, infatti, sono diffusi soprattutto nelle città dove il rischio che le piante diventino invasive è molto basso.

Nella maggior parte dei giardini pluviali sono presenti poi erbacee perenni, arbusti legnosi e nelle soluzioni più grandi anche degli alberi. Questo non significa che le annuali non rappresentino una scelta possibile per tali giardini. In genere però queste strutture sono studiate in modo tale da richiedere bassi costi di mantenimento. Alcune annuali comunque sono delle buone candidate quando si vogliono realizzare rain garden che richiedono interventi manutentivi maggiori.

Manutenzione

È importante ricordare che un giardino della pioggia possiede tutte le caratteristiche di qualsiasi altra aiuola. Di conseguenza esso richiede anche una certa manutenzione. Non tutte le piante sopravvivono alle condizioni che sono presenti all'interno del giardino e devono essere rimpiazzate. In alcuni casi si rendono necessarie anche delle irrigazioni di soccorso.

Inoltre la struttura richiede un controllo periodico e soprattutto dopo forti piogge al fine di verificare che piante, suolo o pacciamatura non abbiano subito alcun tipo di dissesto.

Come in tutte le aiuole poi bisogna eseguire il controllo delle malerbe che può essere eseguito con prodotti chimici o con sistemi meccanici.

Al termine della stagione vegetativa la parte aerea delle piante può dissecare. A discrezione del proprietario dell'area, questa può essere lasciata nel sito fono alla ripresa vegetativa successiva oppure essere rimossa prima. Bisogna ricordare,

comunque, che le infiorescenze delle specie che sono normalmente impiegate in queste istallazioni sono gradevoli, dal punto di vista estetico, anche durante l'inverno e in alcuni casi i semi che contengono possono rappresentare una fonte di sostentamento per gli uccelli.

Al loro interno poi non c'è il rischio che si verifichino episodi di proliferazione di perché le larve di questi animali hanno un tempo di sviluppo minimo di quattro giorni e i rain garden, se sono correttamente progettati e costruiti, presentano ristagni d'acqua per soli 1-2 giorni (AA. VV., 2009a; AA. VV., 2009b).

2. SCOPO DEL LAVORO

Negli ultimi anni alluvioni, smottamenti ed inondazioni si stanno verificando sempre più frequentemente. Per contro, anche periodi di siccità stanno interessando sempre maggiori zone e sempre più persone.

Questi fenomeni, che si manifestano con problemi differenti sia nelle zone abitate, che in quelle rurali è frutto di una scorretta gestione delle acque meteoriche e un errato uso del suolo.

L'urbanizzazione del territorio determina, infatti, la formazione di vaste zone con bassa capacità d'infiltrazione e assorbimento. A questo si aggiungono i cambiamenti climatici che sono in atto a livello mondiale.

L'acqua derivante dalle precipitazioni, che si verificano in queste zone, viene raccolta dalla rete fognaria che la convoglia poi verso fiumi e laghi.

Il problema è che, a causa della cementificazione, i volumi d'acqua che vengono convogliati verso questi siti sono sempre più consistenti.

Bisogna considerare inoltre che lo sviluppo del tessuto urbano raramente è stato soggetto ad una corretta pianificazione. Le città si sono progressivamente allargate occupando le aree verdi più prossime alle costruzioni esistenti utilizzando anche la rete di sotto servizi che era presente. A causa di questo la rete di tubazioni per la raccolta delle acque meteoriche risulta ora essere sotto dimensionata.

Per questi motivi episodi di allagamento di quartieri, tracimazione di fiumi (dovuti all'aumento dei deflussi superficiali e dei picchi massimi di piena) e smottamento del terreno sono sempre più frequenti soprattutto quando si verificano precipitazioni intense.

Queste tecniche di gestione delle acque meteoriche, poi, non consentono l'infiltrazione dell'acqua nel suolo con conseguente riduzione dei livelli delle falde.

Bisogna considerare poi che le acque meteoriche raccolte dalla rete fognaria sono cariche di inquinanti e detriti che vanno a compromettere gli ecosistemi acquatici e terrestri delle zone di scarico.

La risoluzione di tutti questi problemi richiederebbe interventi su ampia scala.

L'utilizzo delle cosiddette "Stormwater Best Management Practices" e, in particolare, per quanto riguarda l'ambiente urbano, l'utilizzo di rain garden possono essere una soluzione per mitigare notevolmente i problemi.

Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare le prestazioni dal punto di vista idrologico, vegetazionale ed estetico del rain garden sperimentale allestito presso Agripolis.

In particolare è stata valutata la capacità di gestione dei deflussi meteorici da parte del giardino pluviale e la risposta, dal punto di vista dell'adattabilità e dell'accrescimento, di alcune piante per quanto riguarda le particolari condizioni pedologiche e di disponibilità idrica influenzate dalle caratteristiche del rain garden stesso.

3. MATERIALI E METODI

3.1 UBICAZIONE DELLA PROVA

I giardini pluviali di Agripolis sono stati realizzati a Legnaro (PD) all'interno del complesso universitario omonimo dove hanno sede le Scuole di Agraria e Medicina veterinaria dell'Università di Padova (Fig. 6).



Figura 6: corografia dell'area dove è ubicata la prova.

Questi giardini sono stati realizzati nell'aprile del 2011 nell'area verde posta a nord del fabbricato denominato "Centrale Tecnologica". L'area confina a nord con la strada che porta alle serre e all'Azienda Agraria Sperimentale, a sud con la Centrale Tecnologica e ad est con la strada d'ingresso all'Agripolis da via Orsaretto.

La scelta è caduta su questa zona perché un rain garden, per compiere la sua funzione principale, deve trovarsi nei pressi di una superficie impermeabilizzata (Centrale Tecnologica). Inoltre, nel sottosuolo, non sono presenti tubature o linee elettriche. Un altro motivo che ha portato alla scelta di questo sito è che il tetto della Centrale Tecnologica è suddiviso in blocchi autonomi e questo permette di intercettare l'acqua che arriva da singole aree e non dall'intera superficie.
Nel complesso il sito ha una buona esposizione al sole e nell'arco di una giornata l'area si trova parzialmente all'ombra solo per alcune ore solo nel periodo invernale.

3.1.1 CLIMA E TERRITORIO

Il Veneto, dal punto di vista geografico, è collocato alle medie latitudini. Questo, insieme ad altri fattori che agiscono su diversa scala, ha un ruolo fondamentale nel determinare il clima della regione. Il Veneto si trova in una zona di transizione fra l'areale centro-europeo, in cui predomina l'influsso delle grandi correnti occidentali, e quello sud-europeo, dominato dall'azione degli anticicloni subtropicale e mediterraneo. Altri fattori da considerare per caratterizzare il clima veneto sono la presenza della regione alpina, la collocazione nel bacino padano, la presenza dell'Adriatico e del lago di Garda che mitigano le temperature e generano venti a regime di brezza ed il diverso uso del territorio che influenza il clima, originando microclimi come le "isole di calore" nelle zone più cementificate (Barbi *et al.,* 2011).
I grandi centri d'azione che influenzano il clima del Veneto sono:

- l'Anticiclone delle Azzorre: è presente soprattutto in estate favorendo un regime di alta pressione. Le precipitazioni sono soprattutto di origine termo convettiva e generano temporali e grandinate mentre i venti sono deboli e locali (brezze). Da segnalare però che negli ultimi anni sono sempre più frequenti promontori derivanti dal Nord Africa.
- L'Anticiclone Russo-Siberiano: anticiclone che si estende in Veneto durante l'inverno determinando la presenza di tempo stabile ma freddo con forte raffreddamento notturno, possibile formazione di nebbie in pianura e assenza di precipitazioni. Negli ultimi anni questo anticiclone è però meno esteso.

- Il Ciclone d'Islanda: si rileva in primavera e autunno quando l'anticiclone delle Azzorre non è ancora ben sviluppato o sta regredendo e manca l'anticiclone Russo-Siberiano. Esso determina l'ingresso, sulla Regione, di perturbazioni di origine atlantica e abbondanti precipitazioni (Barbi *et al.,* 2011).

Analizzando i valori medi di temperatura e precipitazione annui registrati dal 1985 al 2009 (Fig. 7) è possibile affermare che in Veneto sono presenti tre zone mesoclimatiche principali:

- pianura;
- prealpi;
- settore alpino.

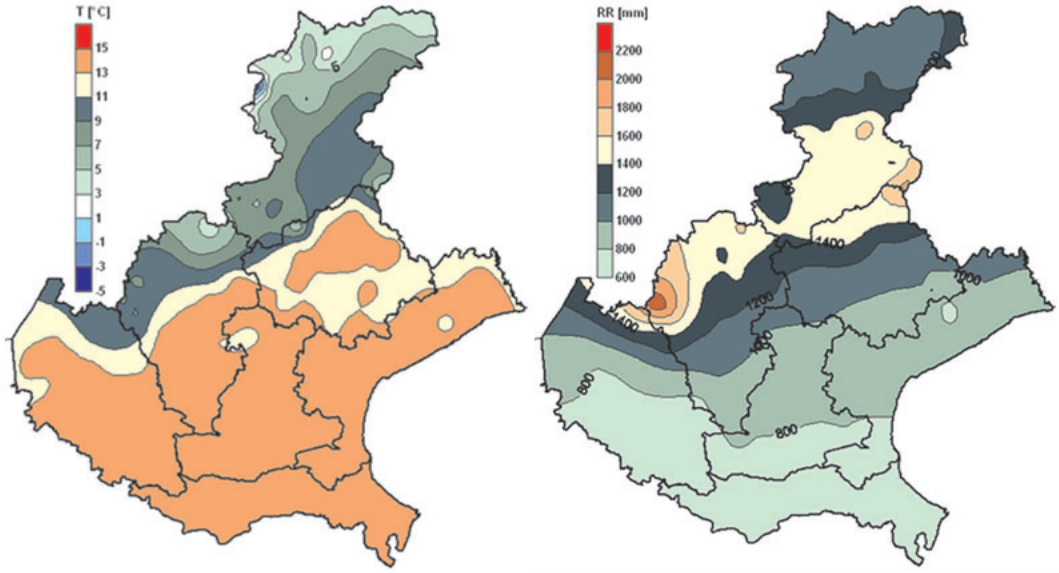


Figura 7: mappa delle temperature medie (isoterme) e delle precipitazioni annue medie (isoiete). Periodo 1985 – 2009 (www.arpa.veneto.it).

Il territorio della provincia di Padova, e quindi anche quello di Legnaro, è situato nel mesoclima della pianura che è caratterizzato da un certo grado di continentalità con inverni relativamente rigidi e umidi ed estati calde e afose.

Questo è confermato anche dalle medie climatiche registrate dalle stazioni metereologiche dell'ARPAV situate nella provincia di Padova nel periodo che va dal 1950 al 2010 (fonte ARPA Veneto).

La temperatura media del mese più freddo, gennaio, è di 3,1 °C, mentre quella del mese più caldo, luglio, è di 23.6 °C. I valori estremi di temperatura registrati nel

medesimo periodo sono -14 °C nel gennaio 1963 e 40 °C dell'agosto 2003 (Tab. 4). Le precipitazioni medie annue si attestano a 1133.5 mm con minimo relativo in inverno, picco massimo in autunno e massimo secondario in primavera (Fig. 8).

Tabella 4: valori estremi di temperatura registrati presso la stazione di Legnaro dal 1955 al 2004 (fonte ARPA Veneto).

GEN		FEB		MAR		APR		MAG		GIU	
15	−14	20	−12	25	−11	30	−2	35	0	38	7
1974	1967	1959	1961	1990	1971	2000	1956	2001	1957	2002	2001
LUG		**AGO**		**SET**		**OTT**		**NOV**		**DIC**	
35	10	40	10	33	5	28	−1	23	−6	18	−10
1957	1960	2003	1968	1973	1977	1985	1997	2004	1968	1967	1970

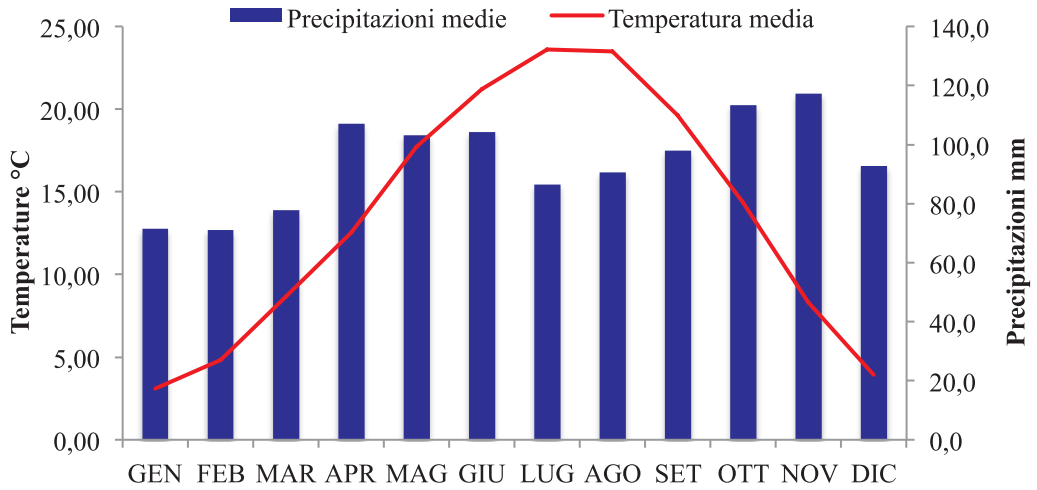


Figura 8: andamento medio delle precipitazioni e delle temperature per l'area dal 1950 al 2010 (fonte ARPA Veneto).

Il suolo del sito, così come quello del territorio circostante, è di tipo alluvionale con moderata differenziazione del profilo, a iniziale decarbonatazione dell'orizzonte superficiale, con orizzonti idromorfi in profondità e granulometria limosa grossolana. Il drenaggio interno è mediocre, la permeabilità è moderatamente bassa, la capacità d'acqua disponibile è alta e la falda è profonda. Dal punto di vista della classificazione sono suolo Oxyaquic Eutrudepts coarse-silty, mixed, mesic (USDA) e Fluvic Cambisols (WRB) (ARPAV, 2013).

Analisi eseguite su campioni di terra prelevati nel sito hanno confermato una

tessitura di tipo franco limoso (metodo USDA) con una bassa percentuale di scheletro, pH alcalino con una buona dotazione di sostanza organica e nutrienti e una buona capacità di scambio cationico (Tab. 5).

Durante la preparazione del sito, nell'aprile del 2011, sono state trovate diverse macerie che erano state sotterrate, probabilmente, nel corso dei lavori di costruzione del polo universitario. Nel complesso, comunque, le caratteristiche del terreno non risultano differenti da quelle delle aree circostanti anche se è stato necessario procedere ad un suo rimescolamento per ottenere una maggiore uniformità. Questo ha richiesto però l'esecuzione di uno scavo ad una profondità superiore rispetto a quella di progetto che era prevista in 80 cm.

Tabella 5: caratteristiche del terreno presente nel sito di ubicazione dei giardini pluviali (Simionato, 2011).

Parametro	Unità di misura	Valore
Scheletro	(g/100g)	1,5
Terra fine	(g/100g)	98,5
Sabbia	(g/100g)	18,3
Limo	(g/100g)	70
Argilla	(g/100g)	11,7
pH		8,4
Conducibilità elettrica	(mS/cm a 25°C)	0,3
Calcare totale	(g/100g $CaCO_3$)	27,6
Sostanza organica	(g/100g)	1,79
Calcare attivo	(g/100g $CaCO_3$)	4,61
Capacità di scambio cationico	(meq/100g)	12,3
ESP		5,8
N tot	(g/100g)	0,08
P assimilabile	(mg/kg)	7,9
K scambiabile	(mg/kg)	496
Ca scambiabile	(mg/kg)	1901
Mg scambiabile	(mg/kg)	81
Na scambiabile	(mg/kg)	1,79
Porosità totale	(ml/ml)	0,455
Capacità di ritenzione idrica*	(ml/ml)	0,36
Porosità per l'acqua*	(ml/ml)	0,095

* Metodo di determinazione Stackman (Stackman et al., 1969).

3.2 SVOLGIMENTO DELLA PROVA

La prova rappresenta una continuazione del progetto do Ateneo relativo al biennio 2010-2012 che è stata oggetto di altre tesi. Essa ha previsto il controllo e la taratura della strumentazione installata, il monitoraggio delle piante dei giardini

pluviali e la risoluzione di alcuni problemi che interessavano il sistema di misura dei deflussi che riducevano la qualità dei dati raccolti.

L'area di prova è costituita da un tetto con alcuni pluviali per la raccolta dell'acqua, una vasca provvista di misuratore di portata a stramazzo e due giardini pluviali: "Rain garden grande" (RG G) e "Rain garden piccolo" (RG P).

Attualmente l'acqua di precipitazione, proveniente da una falda del tetto della Centrale Tecnologica, viene convogliata verso la vasca di raccolta provvista di un misuratore di portata a stramazzo e poi, per mezzo di una condotta, indirizzata nella parte centrale del rain garden piccolo. Questo ha una forma circolare ed è rialzato di 20 cm, rispetto al piano campagna, grazie ad un bordo (berma) che ha la funzione di contenere il più possibile all'interno i volumi di deflusso. Il punto di massima profondità è posto nella parte centrale, dove scarica anche il tubo proveniente dalla vasca a stramazzo. Qui sono posti dei sassi per evitare l'erosione del terreno. Al centro è presente anche un troppopieno di scarico quando il livello dell'acqua supera i 18 cm. I livelli di umidità sono misurati, invece, attraverso apposite sonde inserite a diverse profondità.

Il rain garden grande che differisce dal piccolo per le maggiori dimensioni e la presenza di un numero di piante doppio, attualmente, non riceve deflussi meteorici provenienti dal tetto.

Inizialmente, il progetto era strutturato in modo differente. Dal 2010 sono state apportate alcune modifiche per rendere più correttamente funzionante il sistema.

Dimensionamento dei giardini pluviali

In origine si era deciso di far defluire all'interno dei rain garden tutta l'acqua meteorica proveniente dal lato nord della Centrale Tecnologica. La superficie totale era di circa 215 m^2 derivanti da due porzioni di tetto indipendenti.

Per il dimensionamento è stato adottato il "Metodo I" proposto da Bennerman e Considine (2003) descritto nell'introduzione. La superficie totale del tetto è stata moltiplicata per un coefficiente così da determinare la superficie necessaria per il funzionamento della prova. Il coefficiente, come descritto precedentemente, varia in funzione della profondità del giardino, del tipo di suolo e dalla distanza del sito rispetto al pluviale.

L'area di costruzione è stata posta a meno di 10 m dalla grondaia mentre la profondità del giardino è stata scelta tra i 15 ed i 18 cm. Per quanto riguarda il substrato, invece, si è convenuta la sostituzione del terreno presente con una miscela appositamente preparata composta principalmente da sabbia.
In base a questi parametri si è deciso l'utilizzo del coefficiente 0,15 che, moltiplicato per la superficie dell'area di drenaggio, ha permesso di ricavare le dimensioni dell'area di infiltrazione.

215 m^2 (sup. area drenaggio) × **0,15** (coefficiente) ≃ **32 m^2** (area di infiltrazione rain garden)

Determinata la dimensione dell'area si è deciso di creare due giardini pluviali di forma circolare tali da essere uno di dimensione doppia rispetto all'altro:

- il rain garden grande caratterizzato da un diametro di 5,2 m ed un'area di circa 21 m^2;
- il rain garden piccolo caratterizzato da un diametro di 3,6 m ed un'area di circa 10,5 m^2.

L'acqua era distribuita in volumi uguali nei due bacini ma le superfici di drenaggio erano differenti (una era pari al 10% della superficie del tetto mentre l'altra al 20%). In questo modo si poteva osservare il comportamento dei due bacini d'infiltrazione differenti per dimensione ma nei quali veniva scaricato lo stesso quantitativo d'acqua, ovvero ognuno riceveva l'acqua raccolta da una superficie di quasi 110 m^2.

Substrato d'impianto

Il substrato d'impianto destinato al giardino pluviale è caratterizzato, in genere, da un'elevata percentuale di sabbia grossolana così da favorire l'infiltrazione dell'acqua. Il Bioretention Manual della The Prince George's County (2007) dice che per la realizzazione di un rain garden il substrato deve essere molto permeabile in modo da favorire l'infiltrazione dei deflussi, fornire una buona capacità di adsorbimento di nutrienti e avere un'elevata porosità e conducibilità idraulica. Nel caso si costruisca un rain garden in un suolo non sabbioso, ciò può essere ottenuto con una miscela di substrato composto da sabbia per il 50-60%,

compost per il 20-30% e terreno del sito per il restante 20-30%. Per questo motivo si tende ad impiegare substrati con tessitura prevalentemente sabbiosa o argilloso-sabbiosa con granulometria elevata. In questo modo si crea una struttura tale da garantire un'infiltrazione minima pari a 5,2-24,1 mm/ora. Il pH del suolo dovrebbe essere compreso, inoltre, tra 5,5 e 6,5. L'acidità del terreno influenza, infatti, la capacità del suolo ad assorbire o desorbire nutrienti e influenza anche l'attività microbiologica nel terreno. Davis e collaboratori (2006), a riguardo, hanno osservato che il tasso di adsorbimento dei metalli aumenta in modo significativo quando il pH è di tipo subacido.

Considerando le caratteristiche del suolo di Legnaro si è deciso di preparare un substrato composto per il 50% circa di sabbia, 25% di compost (composto per il 52% di sostanza organica) e 25% di terreno del posto (Tab. 6).

Per la preparazione sono stati usati 4 m^3 circa di sabbia, 2 m^3 di compost e 2 m^3 di terra del posto.

Tabella 6: caratteristiche del substrato impiegato nei rain garden (Simionato, 2011).

PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	VALORE
pH		8,0
Conducibilità elettrica	(mS/cm a 25°C)	1,3
Porosità Totale	(% v/v)	51,3
Capacità di ritenzione idrica	(% v/v)	30,3
Porosità per l'acqua*	(% v/v)	21
Azoto nitrico (mg/l)	(mg/l)	13,4
Azoto ammoniacale	(mg/l)	1,79
Fosfati	(mg/l)	2,51
Potassio	(mg/l)	108
Calcio	(mg/l)	17,3
Magnesio	(mg/l)	4,64
Sodio	(mg/l)	70,5

Scelta delle specie vegetali

La scelta delle specie impiegate in questa prova, nove in tutto, è stata compiuta sia

tenendo in considerazione la bibliografia riguardante l'impiego della vegetazione nella realizzazione di rain garden, sia la bibliografia e osservazioni dirette di specie che nel nostro clima territoriale danno o potrebbero dare buoni risultati, essendo funzionali a questo tipo di sperimentazione (Simonato, 2011).

Nel 2011 si è deciso l'impiego di sole specie erbacee perenni perché sono più facili da gestire dal punto di vista della manutenzione, sono più economiche rispetto a quelle arbustive ed inoltre consentono di ottenere parametri significativi su accrescimento ed adattamento all'ambiente già dal primo anno d'impianto.

Nel rain garden grande era stato deciso, inoltre, l'impiego di un numero di piante doppio rispetto a quelle utilizzate nel rain garden piccolo.

Per la scelta, poi, sono state considerate alcune caratteristiche quali:

1. capacità di resistere per qualche tempo in condizioni di ristagno persistente, e a condizioni xeriche – più o meno prolungate – nel periodo estivo;
2. rusticità nei confronti dell'ambiente non facile in cui le specie sono piantate;
3. resistenza più o meno accentuata alle malattie tipiche della nostra regione climatica, siano di tipo fungino, batteriosi, virosi, da insetti, acari, ecc.;
4. spiccata eliofilia, quindi specie adatte alla vita in pieno sole, vista l'esposizione del sito in oggetto;
5. adeguate altezze e diametri a maturità, per poter garantire lo sviluppo e l'accrescimento nel tempo;
6. l'ornamentalità e parametri estetico-funzionali, quali il portamento, la tessitura nel suo insieme, i colori, le forme e le dimensioni delle varie parti della pianta, gli organi vegetali d'interesse: fusti, foglie, il tipo di fiore e infiorescenza, frutti e semi;
7. la scalarità e la durata delle fioriture, la stagionalità e la rifiorenza;
8. la persistenza o meno delle foglie o di altri organi vegetali durante il periodo autunno-invernale.

Tuttavia, nonostante un'attenta selezione, alcune specie hanno mostrato fin da subito problemi di adattamento alle condizioni presenti all'interno dei giardini pluviali. I segni più evidenti sono stati bruciature delle foglie, appassimenti e morte di alcune piante. Alla luce di questo nel maggio del 2013 si è proceduto alla sostituzione di *Bergenia purpurascens* (Hook.f. & Thoms.) Engl. e *Carex*

buchananii Berggr. rispettivamente con *Gazania rigens* (L.) Gaertn. e *Saponaria officinalis* L. In particolare sono state messe a dimora quattro piante di *Gazania* e cinque di *Saponaria* nel rain garden piccolo e otto piante di *Gazania* e dieci di *Saponaria* nel rain garden grande.

L'elenco delle specie attualmente presente nei giardini pluviali è riportato in tabella (Tab. 7).

Tra le specie attualmente impiegate quattro fanno parte della famiglia delle *Asteraceae* (*Compositae*) e sono:

1. *Aster novi – belgii* L;
2. *Echinacea purpurea* (L) Moench;
3. *Gazania rigens* (L.) Gaertn;
4. *Rudbeckia fulgida* Ait.

Le altre specie attualmente impiegate nei giardini pluviali sono:

1. *Hemerocallis hybrida* L.,
2. *Iris pseudacorus* L.,
3. *Lythrum salicaria* L.,
4. *Molinia caerulea* (L.) Moench,
5. *Saponaria officinalis* L.

La descrizione delle caratteristiche di queste specie è riportata nell'allegato 1.

Tabella 7: elenco e caratteristiche delle specie dei rain garden.

Nome scientifico	Varietà scelta	Area d'origine	Sempre-verde	Colore fiore	Periodo di fioritura	Altezza max (cm)	Diametro max (cm)	Densità impianto (piante/m^2)	Numero piante		Numero piante totali
									RG Grande	RG Piccolo	
Aster novi – belgii	White Ladie	Nord America	No	Bianco	Agosto - Ottobre	80 - 90	60 - 80	4	9	5	14
Echinacea purpurea	The King	Nord America	No	Rosso - carminio	Luglio - Settembre	70 - 75	50	6	10	5	15
Gazania rigens	–	Africa meridionale	Si	Giallo - arancio	Giugno - Settembre	30	10 - 20	4	8	4	12
Rudbeckia fulgida	Goldsturm	Nord America	No	Giallo - oro con centro	Luglio - Agosto	70 - 80	50 - 60	6	12	6	18
Hemerocallis hybrida	Glittering Treasure	Asia	Si	Giallo (profumato)	Giugno - Settembre	70 - 80	60	6	10	5	15
Iris pseudacorus	–	Europa	No	Giallo	Aprile - Maggio	100 - 130	50 - 60	4	10	5	15
Lythrum salicaria	Robert	Europa	No	Rosso - carmino	Luglio - Agosto	60 - 70	60	10	18	9	27
Molinia caerulea	–	Europa	Foglie secche persistenti	Bruno	Agosto - Ottobre	70 - 80	50 - 60	4	6	3	9
Saponaria officinalis	–	Europa	No	Bianco - rosa	Aprile - Luglio	60 -70	15 - 25	5	10	5	15
SPECIE PRESENTI NEL PROGETTO INIZIALE E SOSTITUITE NEL MAGGIO DEL 2013											
Carex buchananii	-	Nuova Zelanda	Si	Insignificante	Giugno - Luglio	50 - 60	40 - 50	5	12	6	18
Bergenia purpurascen	-	Asia	Si	Rosa - carminio	Marzo - Aprile	30 - 35	30 - 40	7	16	8	24

Gestione e manutenzione

Gli interventi di gestione in un giardino pluviale sono principalmente di due tipi:

- controllo delle piante infestanti: all'interno dei rain garden, soprattutto nei primi anni d'impianto quando le piante non si sono ancora completamente affrancate, sono presenti malerbe. Anche nei giardini pluviali di Agripolis sono comparse piante infestanti come *Cynodon dactylon* (L.) Pers, *Euphorbia maculata* L., *Oxalis corniculata* L., *Polygonum aviculare* L. e *Taraxacum officinale* Weber. Durante il primo anno di sperimentazione sono stati eseguiti controlli di tipo manuale e operazioni di diserbo localizzato con erbicidi di sintesi a base di *glyphosate* distribuiti con il pennello. Nel 2012, invece, per ridurre tali interventi è stata distribuita una pacciamatura di ghiaino. Questa ha una doppia funzione: in primo luogo serve per ridurre lo sviluppo delle infestanti e poi serve per impedire la formazione di crosta superficiale dopo gli eventi piovosi intensi (nel primo anno erano state eseguite leggere sarchiature per risolvere questo problema). Nell'estate del 2013, infine, sono stati eseguiti interventi di controllo manuale delle malerbe a cadenza settimanale.
- Irrigazione di soccorso: durante l'estate del 2011 sono stati necessari alcuni interventi d'irrigazione di soccorso per evitare la morte delle piante da poco messe a dimora (Simionato, 2011). Nonostante tali interventi, comunque, si sono manifestanti evidenti appassimenti e bruciature sulla vegetazione. Anche nel 2012 si sono rese necessarie irrigazioni di soccorso a causa delle elevate temperature e del lungo periodo siccitoso (Simeoni, 2013). Nel 2013, invece, è stato deciso di evitare qualsiasi tipo d'irrigazione in modo da poter studiare la risposta delle piante. Nel complesso, poi, non si sono registrati lunghi periodi siccitosi anche se bisogna sottolineare che nel rain garden grande, che ora riceve solo acqua piovana e non più quella proveniente dal tetto, gli appassimenti e le bruciature sono state più evidenti. Inoltre, sempre nel rain garden grande, c'era una maggior presenza di piante infestanti.

3.3 STRUMENTAZIONE PER IL RILEVAMENTO DEI DATI

Nell'area destinata alla prova sono presenti alcuni strumenti che servono per eseguire la misura e la raccolta dei dati relativi alle precipitazioni, ai deflussi e all'umidità del terreno.

3.3.1 Sistema di rilievo dei deflussi meteorici

Il sistema è impiegato per misurare la quantità d'acqua che dal tetto viene scaricata nel rain garden. Esso è costituito da una vasca di raccolta provvista di misuratore di portata a stramazzo e sistema di rilevamento dei dati. Quest'ultimo è composto da una sonda a galleggiante e da un trasduttore piezometrico che eseguono le misure del livello dell'acqua e trasmettono i dati ad un data logger. L'acqua, una volta passata attraverso lo stramazzo, viene raccolta in una seconda vasca. Questa, nella parte terminale, è provvista di setto per suddividere i deflussi equamente tra i due giardini. Attualmente l'apertura verso il rain garden grande è chiusa e quindi tutta l'acqua viene convogliata, attraverso un tubo, verso quello piccolo.
In entrambi i rain garden è installato, poi, un tubo per il troppo pieno che scarica l'acqua in un pozzetto dalla capacità di 1 m^3.

Vasca

Questa è in ferro zincato, è alta 60 cm per 70 cm di larghezza e 150 cm di profondità. Il volume totale è di 0,63 m^3. Per intercettare i detriti che provengono dal tetto è stata inserita a 100 cm dallo stramazzo una grata metallica. Lo stramazzo scarica l'acqua in una seconda vasca in ferro zincato alta 40 cm per 40 cm di larghezza e 150 cm di profondità (Fig.9).

Misuratore di portata a stramazzo

Lo stramazzo attualmente impiegato nella prova è di tipo triangolare a "V" con angolo di 60° (Fig. 10). Questo ha sostituito il triangolare "Thomson" a 90°. Esso

è in alluminio, è alto 60 cm per 70 cm di larghezza e presenta un carico[3] di 25 cm. È stato scelto lo stramazzo a sezione triangolare in quanto ha un'elevata sensibilità alle basse portate. Questi stramazzi sono ottimizzati per misure di portata per carico compreso tra 5 e 60 cm.



Figura 9: vasca di raccolta dei deflussi derivanti dal tetto

[3] Il carico dello stramazzo (h) è l'altezza tra il bordo inferiore della luce e la quota del pelo dell'acqua nel canale d'arrivo. Per evitare di risentire dell'effetto di chiamata di sbocco l'altezza deve essere considerata a una certa distanza, e in questo modo la portata a monte dello stramazzo dipenderà unicamente dal carico dello stesso (Viparelli, 1947).

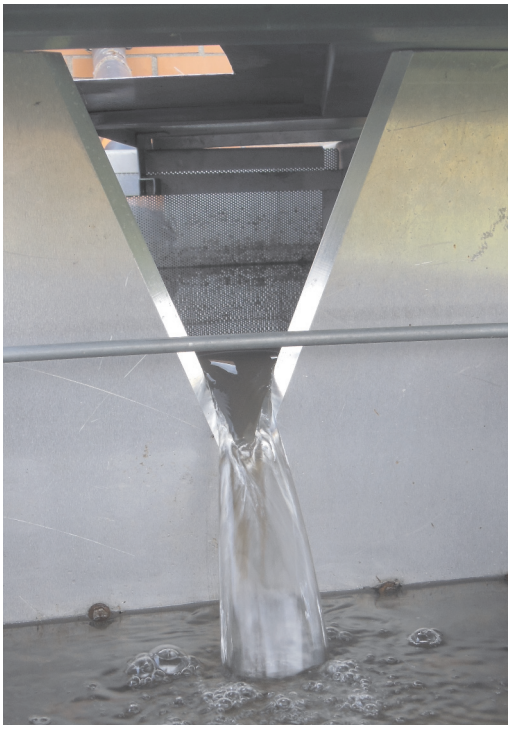


Figura 10: stramazzo triangolare a V con angolo di 60° attualmente in uso per la prova.

Sonda a galleggiante Tecnopenta I1-FG5

Il misuratore di livello a galleggiante è composto da un galleggiante[4] e da un contrappeso che muove una puleggia (Fig. 11). Quest'ultima è collegata, inoltre, ad un potenziometro di precisione multi giro sensibile alle variazioni del livello dell'acqua. Esso risponde alle oscillazioni del livello dell'acqua provocando l'innalzamento o l'abbassamento del galleggiante, la rotazione della puleggia e infine di un trasduttore[5] che provvede alle misurazioni. Lo strumento è dotato di cuscinetti a basso attrito e accoppiamenti di assi ad ingranaggi frontali che gli conferiscono robustezza e sensibilità. Questo dispositivo permette di ottenere misure con una buona precisione e non è soggetto a fulminazioni, derive termiche o quelle di lungo periodo.

[4] Organo di varia forma e materiale che galleggiando sul liquido contenuto in un recipiente, regola o misura direttamente o indirettamente l'afflusso del liquido stesso.

[5] Dispositivo che è in grado di trasmettere energia da un punto a un altro di un sistema o di trasformare una forma di energia in un'altra passando per uno o più stadi di trasformazione.

Lo strumento è collocato all'interno della vasca a stramazzo e collegato al data logger. Le caratteristiche tecniche di I1-FG5 sono riportate in tabella (Tab. 8).



Figura 11: idrometro a galleggiante.

Tabella 8: caratteristiche tecniche dell'idrometro a galleggiante impiegato nella prova

Caratteristiche tecniche di l1-FG5	
SENSORE	
Diametro massimo	110 mm
GALLEGGIANTE	
Diametro	100 mm
Lunghezza	95 mm
CONTRAPPESO	
Diametro	20 mm
Lunghezza	100 mm
Range di misura	fino a 10 m
Rapporto di riduzione	01:02
CARATTERISTICHE ELETTRICHE	
Sensore	Sensore Potenziometro
Corsa	10 giri
Linearità	0,1% F.S.
Isolamento elettrico	1000 Mohm a 500 Vdc
Coppia minima di azionamento	< 10 mN x m (100 gf x cm)
Deriva termica	20 p.p.m./°C
Risoluzione	0,01% F.S.
Recisione complessiva	0,1% F.S.

Trasduttore-trasmettitore di livello immergibile piezoresistivo Tecnopenta I1-B1

Questa sonda affianca il galleggiante per la misura del carico sullo stramazzo. Esso è posto all'interno della vasca a pochi cm dal fondo vicino al galleggiante. Presenta una custodia realizzata in acciaio inossidabile per resistere alla corrosione d'acque saline o con inl quinanti di vario genere, ed è ispezionabile per permettere interventi di sostituzione o manutenzione (Fig. 12). Il trasduttore di pressione di tipo piezoresistivo è realizzato a ponte di quattro rami di resistenze da 3.5 Kohm, è di tipo relativo per permettere la compensazione barometrica. Il cavo di collegamento è rivestito di guaina con ottima resistenza all'idrolisi e alla degradazione microbica, e contiene il tubetto per la compensazione barometrica. Le caratteristiche tecniche di questo strumento sono riportate in tabella (Tab. 9).

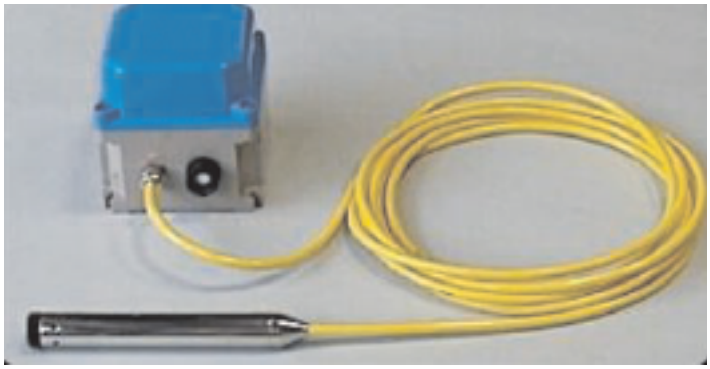


Figura 12: trasduttore piezoresistivo.

Tabella 9: caratteristiche tecniche del trasduttore piezoresistivo impiegato nella prova.

Caratteristiche tecniche di I1-B1	
SENSORE	
Campo	5 bar
Sovrapressione	7 bar
Temperatura operativa	-10°C +80°C
Accuratezza totale	Tipica <= 0,25% F.S. Massima <= 0,5% F.S.
Accuratezza a 25°C	0,05% F.S.
Stabilità tipica nel lungo periodo	Tipica < 0,2 mV Massima < 0,4 mV
Tempo di risposta	10-30 KHz
TRASMETTITORE	
Segnale in uscita (Mod. I1-B1 C) in corrente	4-20 mA (2 fili)
Segnale in uscita (Mod. I1-B1 T) in tensione	0-2,5 Vdc
Alimentazione	8-28 Vdc
SONDA	
Diametro	25 mm
Lunghezza	170 mm
Peso	160 g
Materiale	Acciaio inossidabile AISI 316
Cavo elettrico	Well Cable 10 x 1,14 ETCA
Resistenza alla temperatura	90 °C per 5 ore ; 10°C indefinita
CAVO DI SOSTEGNO IN KEVLAR	
Carico applicabile a 1% di allungamento	91,4 kg
Carico di rottura	233,6 kg
Cavo elettrico	< 10 mN x m (100 gf x cm)

Data logger Tecnopenta *D1-FlexLog*

I valori misurati dal galleggiante e dal piezometro vengono trasmessi ad un data logger e conservati

In questa prova è stato impiegato il data logger *D1-flexLog* (Fig. 13).



Figura 13: data logger impiegato nella prova.

Questo ha un nucleo elaborativo interno (CORE) che regola l'alimentazione, il funzionamento, la memorizzazione e la comunicazione con l'esterno (PC, sensori seriali remoti). Il CORE è provvisto anche di led di segnalazione, di un pulsante per l'attivazione diretta, avvio e spegnimento digitali e contatori per l'acquisizione di segnali PWM o in frequenza, ingressi analogici a bassa risoluzione, funzione di controllo della tensione della batteria, unità di comunicazione seriale (USB, RS232, SPI), unità di memorizzazione su SD rimovibile e predisposizione per sensori on-board (ad esempio: T-UR digitale).

Esso è dotato anche di un canale per la connessione di moduli per l'acquisizione di segnali analogici (fino ad un massimo di 6 moduli). Questo canale, detto Bus, permette a periferiche e componenti del sistema di interfacciarsi fra di loro.
I dati raccolti vengono memorizzati su scheda SD (Secure Digital) in formato file di testo formattato in colonne che riportano data e ora nella sequenza "gg/mm/aa hh:mm:ss". Per scaricare i dati, la scheda deve essere tolta dal dispositivo e collegata al computer. Estraendo la scheda, il monitoraggio si arresta. Quando la scheda SD viene reinserita nel data logger questo legge la nuova configurazione da "*file.txt*" e avvia l'acquisizione secondo le modalità impostate nel file. Ad ogni nuovo reinserimento i dati vengono salvati in un nuovo file e indicizzati come: DATA_A, DATA_B, etc.
Per il controllo dei dati istantanei e per la riprogrammazione dei parametri di acquisizione è stata predisposta una presa USB per collegare un computer. Il data logger è dotato anche di una porta di comunicazione seriale RS e una RS485.
Vi è poi un sistema a Led che s'illuminano durante alcune azioni in corso o in caso di problemi.
Il data logger è dotato di una batteria ricaricabile a 24 V che alimenta anche il galleggiante e il piezometro. Essa entra in funzione, però, solo in caso di emergenza poiché il data logger è collegato direttamente alla presa di corrente presente all'interno del quadro comandi.
Il dispositivo si trova all'interno di una scatola a tenuta stagna posta sopra la vasca con lo stramazzo.
Le caratteristiche del dispositivo sono riportate nella tabella (Tab. 10).

Tabella 10: caratteristiche tecniche del data logger impiegato nella prova.

Caratteristiche tecniche di D1-FlexLog	
Dimensioni	100 x 50 x 30 mm, customizzabile
Range temperatura operativa	-10°C to +85°C
Interfaccia verso PC	USB 2.0
Altre interfacce disponibili	RS232, RS485, SPI, MODBUS seriale
Clock interno Accuratezza	± 1 min/mese @ 0°C to +50°C
Alimentazione interna	Batteria litio 1100mAh (default) dimensionabile per l'eventuale alimentazione di sensori esterni
Alimentazione esterna	>= 3,6 Vdc, secondo le esigenze dei sensori
Consumo in sleep	< 1 mA
Risoluzione A/D Converter	Fino a 24 bit
Amplificatore interno	PGA : x1 ÷ x128
Intervallo di acquisizione	Selezionabile, da 1 s (escluso Mod DAQ)
Memoria	Flash Secure Digital fino a 2 GB (rimovibile)
Memorizzazione dati	File txt/csv
Predisposizione per sensori digitali on-board	T-UR digitali, accelerometri digitali
Sensori digitali esterni	Rete RS485, fino a 128 nodi sul bus
Moduli analogici	**Sensori esterni collegabili**
Mod1_V : tensione	Ponti resistivi, potenziometri, altri sensori analogici in tensione (qualsiasi range)
Mod2_I : corrente	Sensori con uscita in corrente (4-20 mA)
Mod3_T: temperatura	Pt100 3/4 fili (range a piacere)
Direttamente a Mod0_CORE	Sensori con uscita in frequenza o impulsi, sensori digitali

3.3.2 Sistema di rilevazione dell'umidità del terreno

Tra i dati rilevati nella prova vi è l'umidità del terreno presente all'interno dei due rain garden. Per eseguire questa misura e determinare la distribuzione dell'acqua lungo il profilo del terreno sono state installate delle sonde collegate a data logger. In ogni rain garden sono presenti due serie di sonde fissate in modo ortogonale su due aste. Una è inserita nel terreno al centro del giardino mentre l'altra è posta nel terreno nella parte esterna a 20 cm dal margine (Fig. 14). Le aste sono infilate nel terreno in modo tale che le sonde siano parallele al terreno. Per ogni asta è stato installato un data logger per la registrazione dei dati.

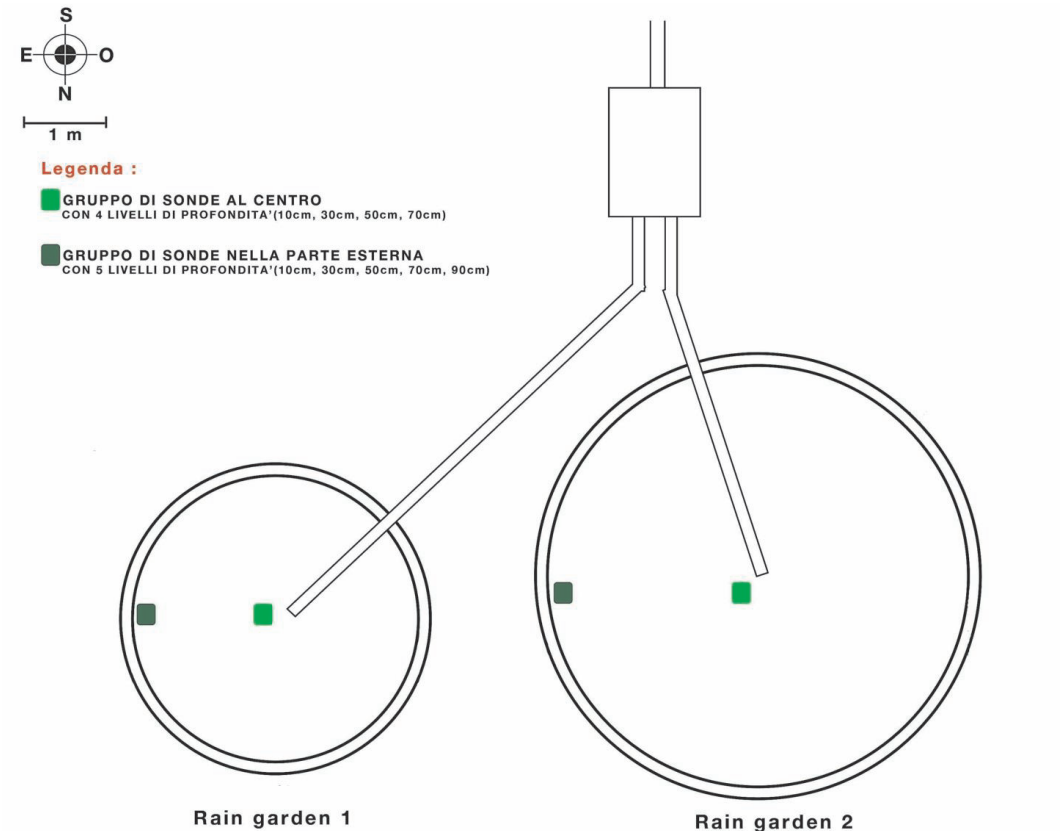


Figura 14: posizione dei gruppi di sonde nei due rain garden.

L'asta inserita nel centro è provvista di quattro sonde poste a 10, 30, 50 e 70 cm di profondità. Quella inserita nella parte esterna, invece, è provvista di cinque sonde poste a 10, 30, 50, 70 e 90 cm di profondità. Esternamente è presente una sonda in più perché il terreno è più alto a causa della costruzione della berma e della pendenza verso il centro. Da notare che la sonda a 70 cm, dell'asta centrale è collocata, rispetto al fondo, alla stessa altezza della sonda a 90 cm dell'asta

esterna. Quella centrale a 50 cm corrisponde a quella esterna a 70 cm e così via (Fig. 15).

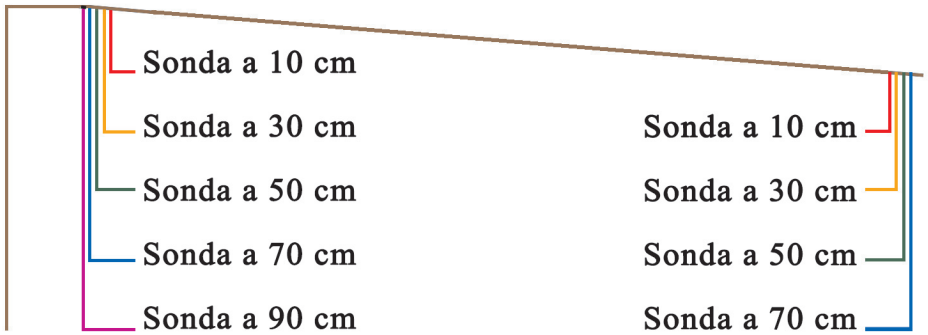


Figura 15: schema della collocazione delle sonde di umidità nei rain garden.

Come già indicato, attualmente solo il rain garden piccolo riceve i deflussi provenienti dal tetto del fabbricato mentre sul rain garden grande giunge solo l'acqua di precipitazione incidente su quell'area.

Il sistema di rilevazione dell'umidità del terreno è composto da:

- sensore di umidità *EC-5,* Decagon Devices Inc, Pullman City, USA;
- data logger *Em50*, Decagon Devoces Inc, Pullman City, USA.

Sensore di umidità Decagon *EC-5*

I sensori EC-5 sono sensori di umidità capacitativi FDR (Frequency Domain Reflectometry) determinano il contenuto volumetrico d'acqua (VWC) misurando la costante dielettrica del materiale in cui si trovano ad una frequenza di 70 Hz. Il pregio di questi strumenti è che riducono al minimo le interazioni della salinità e della tessitura così da ottenere misure accurate in qualsiasi terreno o substrato e inoltre sono robusti e di piccole dimensioni (Fig. 16).

I dati rilevati vengono scaricati in continuo in un data logger. Le caratteristiche dei sensori sono riportate in tabella (Tab. 11).

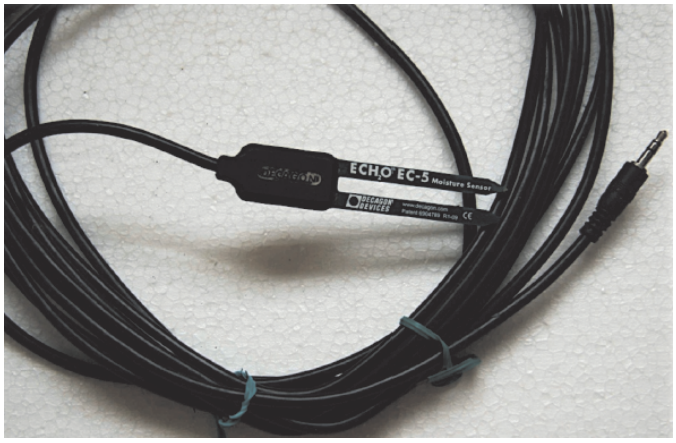


Figura 16: sensore di umidità EC-5.

Tabella 11: caratteristiche tecniche delle sonde di umidità impiegate nella prova.

Caratteristiche tecniche di EC-5	
Precisione	Minerale del terreno: VWC ± 3%, la maggior parte dei suoli minerali, fino a 8 dS / m ± VWC 1-2% con taratura specifiche del suolo Lana di roccia: VWC ± 3%, 0,5-8 dS / m Terriccio: VWC ± 3%, 3-14 dS / m
Risoluzione	0,1% VWC (suolo minerale) 0,25% VWC (lana di roccia)
Intervallo	In funzione della calibrazione, fino a 0-100 VWC% con un'equazione polinomiale
Dimensioni	8,9 x 1,8 x 0,7 centimetri
Lunghezza del cavo	5 m
Misurazione del tempo	10 ms
Potenza	2,5-3,6 V DC @ 10 mA. Uscita proporzionale alla tensione di ingresso 2,5 V e 3 V di eccitazioni sostenuto con equazioni di calibrazione
Output	Tensione, correlata linearmente (suolo) o polinomialmente (substrato di coltura) con VWC
Temperatura di lavoro	-40 °C a +50 °C
Tipi di connettore	3,5 millimetri spina "stereo" o fili di piombo stagnato
Data logger compatibili	Qualsiasi sistema di acquisizione dati con commutazione di 2,5 - 3,6 V di eccitazione e singola misura finita con tensione a 12 bit, o una migliore risoluzione.

Data logger Decagon *Em50*

I data logger *Em50* sono impiegati per la lettura e la registrazione dei dati provenienti dai sensori di umidità.

In entrambi i rain garden ci sono due data logger per la raccolta dei dati dei sensori posti nella parte centrale e nella zona esterna. Questi sono racchiusi in una scatola di plastica a tenuta stagna, rialzati da terra e fissati ad un paletto di legno.

I data logger sono alimentati tramite 5 batterie ciascuno (Fig. 17).



Figura 17: data logger delle sonde di umidità attualmente impiegato nei rain garden.

Questi data logger sono dotati di 5 porte per il collegamento dei sensori e di una porta COM per i collegamenti al computer. I dati possono essere acquisiti solo attraverso l'uso del programma *ECH2O* che serve da interfaccia e che consente anche d'impostare il nome del data logger, l'orologio, selezionare il tipo di sensore su ogni porta e specificare la frequenza di lettura di ogni sensore.

Le caratteristiche tecniche del data logger sono riportate in tabella (Tab. 12).

Tabella 12: caratteristiche tecniche dei data logger per la registrazione dei dati dei sensori di umidità.

Caratteristiche tecniche di Em50	
I canali d'ingresso	5 canali, ognuno dei quali supporta 12-bit analogico, digitale a 32 bit, o impulsi, compatibile con qualsiasi dispositivo a sensore Decagon
Data Storage	1MB (36.000 scansioni di tutte le 5 porte)
Tipi di sensore	Tutti i sensori per la misura della radiazione solare totale, LWS, temperatura, umidità relativa, precipitazioni, velocità del vento
Ambiente operativo	da -40 a 60 ° C, fino a 100% RH
Requisiti di alimentazione	5 pile alcaline o al litio, (generalmente buona per 8-12 mesi)
Dimensioni del contenitore	12,7x20,3x5,1cm
Materiale del contenitore	Resistente agli agenti atmosferici, ai raggi U.V., agli urti IP55, NEMA 3R
Cavo d'interfaccia	Seriale o USB
Software d'interfaccia	ECH2O Utility, Utility ECH2O Mobile, DataTrac

3.3.3 Sistema per il rilevamento delle precipitazioni meteoriche e dell'evapotraspirazione

Accanto ai rain garden, nell'autunno del 2012, è stato installato un pluviometro per la registrazione dei dati relativi alle precipitazioni (Fig. 18).

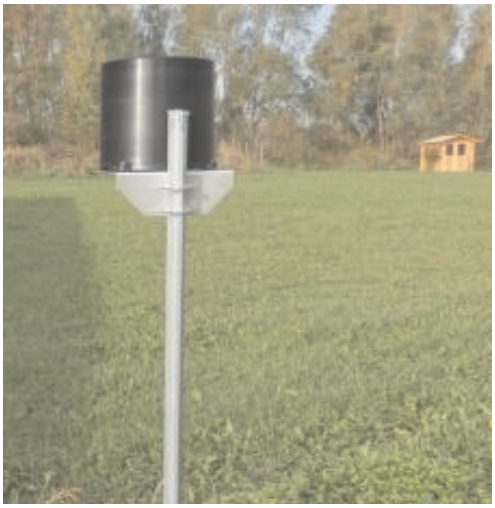


Figura 18: pluviometro installato accanto ai rain garden.

Lo strumento è posto in posizione rialzata, è alimentato a batteria ed i dati possono essere acquisiti con l'impiego di un computer. I dati tecnici del pluviometro sono riportati in tabella (Tab. 13).

Tabella 13: caratteristiche tecniche del pluviometro installato presso i rain garden.

Tipo	Ad auto svuotamento a bascula
Risoluzione	0,254mm
Errore	±2% con pioggia inferiore a 5 cm/ora
Tipo di evento	Apertura contatto a relè
Intervalli evento	1, 5, 10, 15, 30, 60 minuti
Capacità	10584 intervalli con un massimo di 260 mm per intervallo
Batteria	CR2450 da sostituire ogni anno

Esso è stato installato per avere dati più precisi sulla precipitazione caduta sull'area. Nel tempo però si è dimostrato poco affidabile e ad esempio per il mese di settembre 2013 sono stati registrati solo i dati dei primi cinque giorni. Si è deciso di porre rimedio a questo problema usando i dati registrati presso la vicina stazione ARPAV di Legnaro gentilmente concessi dal Centro Meteo di Teolo e, dove possibile, confrontarli con quelli registrati dal pluviometro installato presso i rain garden.

Potendo avere i dati della stazione è stato deciso di valutare anche l'andamento delle temperature e dell'evapotraspirazione.

ARPAV fornisce il valore di Et_0 cioè l'evapotraspirazione di riferimento. Questa rappresenta la domanda evapotraspirativa dell'atmosfera calcolata attraverso modelli matematici o misurata da un ipotetico prato di ampia estensione in condizioni ottimali da un punto di vista idrico e nutrizionale.

ARPAV per la stima dell'evapotraspirazione Et_0 utilizza il metodo Hargreaves. Nonostante la Food and Agricolture Organization (FAO) abbia raccomandato il metodo Penman-Monteith come l'unico per stimare correttamente l'ETP, ARPAV impiega tuttora il metodo Hargreaves-Samani a causa delle difficoltà di misurazione di alcuni parametri e del non corretto funzionamento di alcune sonde di rilevamento.

La formula richiede parametri di facile misurazione quali temperatura media, minima e massima e radiazione solare extraterrestre.

$$Et_0 = H_a \times R_e \times (T + 17{,}8) \times \Delta T^{H_e}$$

Dove:

- H_a e H_e sono dei parametri empirici con valore rispettivamente di 0,0023 e 0,5;
- R_e è l'equivalente in acqua della radiazione solare extraterrestre (mm/d);
- T è la temperatura media giornaliera;
- ΔT è la differenza tra la temperatura massima e la temperatura minima.

Una calibratura eseguita recentemente dall'ARPAV in collaborazione con l'Università di Padova ha permesso di migliorare la stima di Eto sostituendo il valore di H_a 0,0023 con 0,002.

Per ottenere i valori di evapotraspirazione tecnica cioè quella effettiva per l'area verde analizzata l'Et_0 deve essere moltiplicata per il coefficiente di area verde K_L. Questo coefficiente è dato dal prodotto di tre coefficienti che considerano le diverse specie (K_s), il microclima (K_{mc}) e la densità delle piante (K_d). I valori da assegnare ai tre coefficienti possono essere desunti da apposite tabelle (Tab. 14).

Per i rain garden è stata calcolato un coefficiente d'area verde K_L di 0,66 considerando un'aiuola di erbacee con esigenze idriche delle piante medie (0,5), densità delle piante alta (1,1) e microclima esposto (1,2).

Tabella 14: valori dei coefficienti per la stima del Coefficiente di area verde K_L.

Valori del fattore K_s per differenti piante			
Vegetazione	Esigenze idriche		
	Alte	Medie	Basse
Alberi	0,9	0,5	0,2
Arbusti	0,7	0,5	0,2
Aiuole erbacee	0,9	0,5	0,2
Aiuole miste	0,9	0,5	0,2
Tappeto erboso	0,8	0,75	0,6
Valori del fattore K_d per differenti piante			
Vegetazione	Densità		
	Alta	Media	Bassa
Alberi	1,3	1	0,5
Arbusti	1,1	1	0,5
Aiuole erbacee	1,1	1	0,5
Aiuole miste	1,3	1,1	0,6
Tappeto erboso	1	0,9	0,8
Valori del fattore K_{mc} per differenti piante			
Vegetazione	Microclima		
	Esposto (Ostile)	Medio	Protetto (Favorevole
Alberi	1,4	1	0,5
Arbusti	1,3	1	0,5
Aiuole erbacee	1,2	1	0,5
Aiuole miste	1,4	1	0,6
Tappeto erboso	1,2	1	0,8

3.4 MODIFICHE APPORTATE

Nel corso del tempo sono state apportate alcune modifiche al sistema. La più importante è la riduzione dell'area di tetto i cui deflussi meteorici scaricano nei giardini (autunno 2012). Questo si è reso necessario perché c'erano dei problemi nel sistema che pompava l'acqua dal pozzetto di scarico delle grondaie alla vasca con stramazzo. Due falde del tetto non scaricavano l'acqua direttamente nella vasca ma dentro ad un tombino. L'acqua poi da qui era pescata con una elettropompa sommergibile. Il suo funzionamento intermittente causava però dei moti nella vasca di raccolta che andavano ad influire sui livelli misurati dai due idrometri.

Attualmente solo una falda di tetto di 67 m^2 scarica direttamente all'interno della vasca con stramazzo. Considerando i minori volumi intercettati si è deciso di convogliare tutta l'acqua nel rain garden piccolo. Le dimensioni di quest'ultimo risultano ottimali per consentire l'infiltrazione dei volumi. In base al sistema di dimensionamento Bannerman e Considine (2003), infatti, per una superficie impermeabile di 67 m^2 sono necessari almeno 10,05 m^2 e il rain garden piccolo ha una dimensione di poco più di 10 m^2.

Il rain garden grande ora viene usato solo per valutare la risposta delle piante alle condizioni di elevato deficit idrico a cui sono sottoposte e che si verificano in estate.

Si è proceduto poi alla sostituzione dello stramazzo a 90° con quello a 60° che è attualmente impiegato. Per quest'ultimo è stata eseguita anche la taratura ma i risultati ottenuti non erano corretti e per questo motivo è stato ripetuto l'intervento.

Nella primavera del 2013 sono poi state sostituite due specie presenti nei rain garden.

Si tratta di *Bergenia purpurascens* e *Carex buchananii* che non sono riuscite a sopportare le condizioni limitanti presenti nei giardini. Al loro posto sono state piantate *Saponaria officinalis* e *Gazania ×hybrida.*

3.5 RILIEVI EFFETTUATI

I dati contenuti in questo lavoro sono stati raccolti tra giugno e dicembre 2013 e riguardano:

- deflussi: registrati da giugno a novembre 2013;
- umidità del terreno: registrata da giugno a novembre 2013;
- rilievi sull'accrescimento delle piante: eseguiti da luglio a novembre 2013;
- rilievi per la taratura dello stramazzo: eseguiti tra novembre e dicembre 2013.

Come già detto, si tratta della prosecuzione dei rilievi iniziati nel 2010, anno d'inizio della prova, necessari alla verifica del funzionamento dei rain garden (gestione in-situ dei deflussi provenienti dal tetto) e alla valutazione della risposta

delle piante alle particolari condizioni stressanti dal punto di vista idrico a cui sono sottoposte.

Rivestono particolare importanza anche i rilievi eseguiti per la taratura dello stramazzo. In seguito ad alcune prove di verifica è stato notato che i dati relativi alle portate misurate dai due idrometri differivano fortemente da quelli teorici che si avrebbero dovuto ottenere. Con la taratura e le operazioni di verifica si è potuto disporre di dati corretti al contrario di quelli che erroneamente sono stati usati in precedenza.

3.5.1 Rilievi per la taratura dello stramazzo

Nel corso della primavera e dell'estate 2013 si è costatato che l'entità dei deflussi passanti per lo stramazzo e misurati dai due idrometri era di molto inferiore rispetto ai valori reali. Si è giunti a questa conclusione calcolando il volume d'acqua caduto sul tetto durante un evento piovoso (ottenuto dal prodotto della precipitazione in millimetri e la dimensione della falda del tetto) e confrontandolo con quello misurato dagli idrometri. Rispetto al valore teorico, quello misurato dai sensori era inferiore di circa il 40%.

Al fine di determinare quale fosse il problema che causava tale discrepanza si è reso necessario compiere delle prove. Il problema aveva portato a condurre delle prove di taratura nell'ottobre del 2012 che avevano permesso di elaborare delle nuove formule portata/tirante d'acqua degli stramazzi triangolari da 90° e 60°. Quest'ultimo è stato poi montato in sostituzione di quello a 90° al fine di ottenere una maggiore precisione nella rilevazione dei dati relativi a basse portate di deflusso. Le nuove formule non si sono dimostrate però adeguate alla corretta lettura dei deflussi per cui il 4 novembre 2013 sono state eseguite due prove: una di verifica del regolare scarico di una quantità nota d'acqua dal tetto e quindi dai pluviali (verifica di perdite d'acqua nel tragitto dal tetto allo stramazzo) e una di verifica del funzionamento dei due idrometri. Per fare queste prove è stato posto sul colmo del tetto che scarica nel rain garden un tubo forato collegato ad un rubinetto dell'acqua. Il tubo era sistemato in modo tale che l'acqua che fuoriusciva da esso bagnasse tutto il tetto per poi defluire attraverso i pluviali (Fig. 19).



Figura 19: particolari del tubo installato sul tetto.

In questo modo è possibile simulare un evento di pioggia di media intensità e verificare allo stesso tempo che non ci siano perdite nel sistema. Per immettere nel sistema una quantità nota d'acqua è stato collegato al rubinetto un conta litri di tipo meccanico precedentemente tarato (Fig. 20).



Figura 20: conta litri impiegato per le prove.

Per verificare, invece, quanta acqua fuoriusciva dai pluviali è stata posta nel punto di raccordo delle tubature una cisterna dalla capienza di 1000 litri provvista di tacche tarate (Fig. 21).

Nel corso della prova sono stati immessi sul tetto 500 litri d'acqua che poi si sono accumulati interamente nella cisterna. Questa ci ha permesso di verificare che in questa parte del sistema non ci sono perdite. L'unico dubbio che rimane è che la scatola di raccordo dei due pluviali che scarica l'acqua nella cisterna dove sono posti i due idrometri sia troppo piccola e nel caso di eventi piovosi di forte intensità, una parte dei volumi d'acqua fuoriesca e vada perso.



Figura 21: cisterna impiegata nelle prove.

Durante la seconda prova è stato verificato il funzionamento dei due idrometri. Per fare questo è stato ripristinato lo scarico dell'acqua nella cisterna dove sono posti gli idrometri stessi. Sono state eseguite due prove distinte durante le quali sono stati immessi nel sistema 1000 litri d'acqua (suddivisi in egual misura tra le due prove). Una volta terminate le due prove sono stati scaricati i dati registrati

dal data logger, ed elaborati con un foglio di calcolo. Questo ha permesso di verificare che gli idrometri avevano misurato circa 200 litri d'acqua in meno. Alla luce di quanto è emerso durante le prove si è deciso di procedere nuovamente alla taratura dello stramazzo e alla verifica della correttezza delle formule applicate.

Il 9 dicembre 2013 sono state eseguite nuovamente le prove per la taratura dello stramazzo. Per eseguire la taratura è necessario costruire la curva delle portate dello stramazzo, ottenuta con l'uso della formula teorica, e confrontarla con quella ottenuta in modo empirico con i rilievi.

Per fare questo sono stati simulati degli eventi di pioggia di diversa intensità attraverso l'uso di una manichetta per l'irrigazione. Per prima cosa è stato collegato al data logger un computer in modo da poter vedere i valori di carico misurati dagli strumenti in tempo reale. Successivamente è stato generato un evento piovoso di bassa intensità e non appena la portata è diventata costante sono state avviate le misure. Alla base dello stramazzo era posta una bacinella in plastica in modo da intercettare tutta l'acqua che usciva dallo stramazzo stesso (Fig. 22). Ogni 30 secondi la bacinella veniva tolta e, con l'uso di una bilancia elettronica, si pesava l'acqua. All'inizio e al termine di ogni prova veniva inoltre trascritto il valore misurato dai due idrometri in tempo reale.



Figura 22: sistema per la raccolta dell'acqua alla base dello stramazzo.

Sono state eseguite alcune misure con portata costante. In seguito è stata chiusa l'acqua e sono state ripetute le misure fino all'esaurimento del fenomeno.

Altre prove, eseguite comunque nello stesso modo, sono state svolte simulando eventi di diversa intensità. Solo con un evento molto intenso in cui il carico massimo sullo stramazzo è stato di 49 mm si è ridotto il tempo delle prove da 30 a 20 secondi.

Disponendo dei valori di portata (Q) ottenuti con il rapporto Volume (litri) / Tempo (secondi) e di quelli del carico misurati dagli strumenti è stata costruita la curva di portata e confrontata con quella teorica.

Rispetto alle prove eseguite nell'autunno del 2012, sono stati raccolti un numero maggiore di dati per carichi inferiori ai due centimetri. Questi, infatti, sono quelli che permangono per lungo tempo sullo stramazzo e influiscono considerevolmente sul calcolo del volume finale. Nel 2012 i carichi analizzati erano superiori a 2 cm.

3.5.2 Deflussi

I dati elaborati in questo lavoro e riguardanti i deflussi passati attraverso lo stramazzo coprono un periodo che va dal 1 giugno 2013 al 30 novembre 2013.

Questi sono stati ottenuti dai valori rilevati dai due idrometri presenti all'interno della vasca a stramazzo. I dati sono inviati ogni 60 s al data logger e registrati della schedina SD e ogni settimana o comunque al termine di ogni evento piovoso scaricati in un computer (Fig. 23).

Al termine del lavoro questi sono stati elaborati tramite un foglio di calcolo tipo "Excel" applicando le formule empiriche ottenute dalla taratura dello stramazzo.

Per prima cosa si è determinato il carico sullo stramazzo durante l'evento per intervalli di 60 s. Da questo poi si sono ricavati la portata (m^3/s) e il volume (l). Infine facendo la somma dei volumi transitati durante l'evento si è determinato il volume totale d'acqua diretto al rain garden.

Con i dati a disposizione sono stati ricavati anche dei grafici ad area utili per confrontare con maggior facilità i valori registrati dai due idrometri.

Da notare che i valori misurati dal piezometro sono, mediamente, leggermente più alti rispetto a quelli misurati dal galleggiante. Questo è dovuto al fatto che il piezometro misura la pressione idrostatica agente sul sensore interno. La sensibilità dello strumento, proprio per questo motivo, è superiore rispetto a quella dell'idrometro a galleggiante.



Figura 23: computer collegato al data logger degli idrometri per l'acquisizione dei dati.

Purtroppo, nel periodo che va dal 24 luglio al 31 luglio 2013 il data logger non ha registrato dati. Questo è stato causato dalla mancanza di energia elettrica dovuta al fatto che era stata staccata la presa elettrica che fornisce corrente alla batteria. In

quel periodo c'è stato un solo evento il 29 luglio in cui sono caduti 6 mm di pioggia. I dati relativi ad esso sono andati persi. Il data logger è stato fatto ripartire ed è stato ripristinato l'orario dello strumento il 31 luglio 2013.

3.5.3 Umidità del suolo

L'umidità del suolo, in un giardino pluviale, è influenzata dall'entità dei deflussi che l'area riceve e varia considerevolmente lungo il profilo verticale del suolo.
Per il suo monitoraggio sono stati usati i sensori di umidità controllati attraverso il data logger ed il programma ECH20. Quest'ultimo consente di impostare il data logger in modo che registri automaticamente i dati con una certa cadenza. In questo caso sono presenti due data logger per rain garden che registrano i dati raccolti dalle sonde ogni 5 minuti. Di conseguenza ogni 5 minuti si ottengono 9 valori di umidità per ciascun rain garden: 5 misurati dalle sonde poste sul margine e 4 da quelle poste al centro. Tutti i dati vengono poi salvati in un foglio di calcolo tipo Excel (Fig. 24).

RG-G-Est	Port 1 (raw)	Port 2 (raw)	Port 3 (raw)	Port 4 (raw)	Port 5 (raw)
36847 records	EC-5 Soil Moisture	EC-5 Soil Moisture	EC-5 Soil Moisture	EC-5 Soil Moisture	EC-5 Soil Moisture
Measurement Time	m³/m³ VWC	m³/m³ VWC	m³/m³ VWC	m³/m³ VWC	m³/m³ VWC
09/09/2013 20:45	634	614	786	598	689
09/09/2013 20:50	634	614	786	598	689
09/09/2013 20:55	634	614	786	598	688
09/09/2013 21:00	634	614	786	598	689
09/09/2013 21:05	634	614	786	598	688
09/09/2013 21:10	634	614	786	599	689
09/09/2013 21:15	633	614	786	599	689
09/09/2013 21:20	633	614	787	599	688
09/09/2013 21:25	633	614	786	598	689
09/09/2013 21:30	633	614	785	598	689
09/09/2013 21:35	633	614	785	598	688
09/09/2013 21:40	633	614	785	598	689
09/09/2013 21:45	633	614	785	598	689
09/09/2013 21:50	633	614	790	598	689
09/09/2013 21:55	633	614	794	598	689
09/09/2013 22:00	633	614	792	598	689
09/09/2013 22:05	633	614	793	598	689
09/09/2013 22:10	633	614	793	598	689
09/09/2013 22:15	633	614	792	597	689
09/09/2013 22:20	633	614	793	597	689
09/09/2013 22:25	633	614	793	597	689
09/09/2013 22:30	633	614	795	597	689
09/09/2013 22:35	633	614	794	598	689
09/09/2013 22:40	633	614	792	598	689
09/09/2013 22:45	633	614	791	598	689
09/09/2013 22:50	633	614	791	598	689
09/09/2013 22:55	633	614	791	597	689

Figura 24: esempio di una serie di dati registrati da un data logger.

Per ogni lettura registrata sono riportate: data e ora in formato "gg/mm/aa hh:mm:ss" e 4 o 5 colonne per data logger, a seconda del numero di sonde collegate, che riportano il contenuto volumetrico d'acqua.

Un'operazione molto importante da eseguire prima dell'impiego delle sonde è la loro taratura. Questa è stata eseguita in laboratorio inserendo le sonde in contenitori contenenti campioni di substrato della prova che hanno valori di umidità nota. I valori di umidità noti e quelli misurati dalla sonda sono stati poi usati per costruire una retta di regressione dalla quale è possibile determinare i valori per livelli di umidità non noti.

I dati d'interesse registrati dalle sonde sono poi stati elaborati e raggruppati per costruire dei grafici a dispersione con linee rette. In questo modo è possibile valutare il movimento dell'acqua lungo il profilo del terreno in corrispondenza dei punti in cui si trovano le sonde.

3.5.4 Rilievi sull'accrescimento delle piante

In un giardino pluviale le piante, come nella maggior parte delle bioretention, sono particolarmente importanti. In questo caso esse, oltre a svolgere una minima depurazione dell'acqua in ingresso, hanno anche una funzione estetica. In queste aree si usano quasi esclusivamente piante erbacee che devono vivere in un ambiente in cui le condizioni limitanti impongono un'attenta scelta delle specie. Per questo motivo sono state impiegate varie specie in modo da ricavare informazioni sulla loro adattabilità all'interno del rain garden.

Per stimare le prestazioni sono stati eseguiti dei rilievi durante il periodo vegetativo e sono state scattate foto con cadenza settimanale per poter valutare visivamente l'evoluzione nel tempo.

I rilievi sono stati:

1. durante la stagione estiva, il 23 luglio 2013;
2. a fine stagione vegetativa, il 6 novembre 2013.

I parametri rilevati sono stati differenti a seconda delle diverse caratteristiche morfologiche e del momento in cui è stata fatta l'analisi. In particolare, nel rilievo estivo sono state prese in considerazione l'altezza delle piante in relazione alla distanza dal centro e per alcune il numero di fusti (*Echinacea, Lythrum* e *Saponaria*) o accestimenti (*Hemerocallis* e *Iris*). Inoltre sono stati contati i fiori di *Gazzania, Hemerocallis*, *Saponaria, Iris* ed *Echinacea.* Per quanto riguarda Molina, oltre all'altezza, si è misurato il diametro del cespo. Un discorso a parte va fatto invece per *Aster* e *Rudbeckia*. Lo sviluppo di queste specie, infatti, ha

reso impossibile il riconoscimento delle singole piante messe a dimora. Per il rilievo si è proceduto a suddividere, mediante l'impiego di picchetti e spago in polipropilene, le aiuole in parcelle 20 cm per 25 cm creando in questo modo un reticolato. Nei punti d'intersezione è stata misurata l'altezza delle piante lì presenti. Si sono così ottenuti dati relativi a distanze note rispetto al bordo del rain garden.

A novembre 2013 sono state misurate nuovamente le altezze per tutte le specie, il numero di nuovi fusti per *Lythrum* e *Saponaria* e accestimenti per *l'Hemerocallis.* I fiori, invece, sono stati contati solo per *Gazzania* e *Saponaria*.

Al termine di questo rilievo è stato assegnato a ciascuna pianta un codice identificativo e successivamente si è proceduto al taglio dell'intero apparato aereo. La fitomassa ottenuta è stata poi messa all'interno di cassette metalliche ed il tutto è stato posto in stufa a 105 °C per 48 ore. In questo modo si è ottenuto il peso secco di ogni pianta (Fig. 25).

I dati ottenuti, poi, sono stati elaborati attraverso l'uso di un foglio elettronico dal quale sono stati ricavati dei grafici a dispersione. A questo punto è stato fatto un confronto tra lo sviluppo delle singole specie in diverse posizioni all'interno dello stesso rain garden e tra i due rain garden sperimentali.



Figura 25: materiale dopo il processo di essicazione in stufa.

3.5.5 Rilievi per il controllo dell'infiltrazione dell'acqua nel terreno

In un giardino pluviale la presenza di un terreno particolarmente permeabile è molto importante allo scopo di favorire il deflusso delle acque meteoriche incanalate al suo interno. La valutazione sul grado di compattazione del terreno deve sempre essere eseguita prima di procedere alla realizzazione di strutture come i rain garden. In alcuni casi (come per i rain garden di Agripolis) è utile sostituire una parte del terreno del sito con una miscela a tessitura sabbiosa o argilloso-sabbiosa.

La conducibilità idraulica del terreno, soprattutto quando è soggetto a compattazione o calpestamento tende a diminuire. Questo fenomeno può presentarsi anche nei giardini pluviali non tanto per effetto del calpestamento ma per l'effetto peso esercitato dall'acqua stessa quando il giardino pluviale va in ponding[6].

[66] Ponding letteralmente si traduce in "ristagno" e rappresenta la quantità di acqua meteorica accumulata in un bacino avente superficie impermeabile o con terreno saturo d'acqua. In questi casi l'intensità di deflusso non è compensata da una adeguata capacità d'infiltrazione.

Inoltre, se il giardino riceve i deflussi provenienti da aree dove si accumulano polveri e altre sostanze (come strade o parcheggi) il materiale stesso che si stratifica può causare una riduzione della permeabilità.

Il monitoraggio nel tempo della permeabilità del terreno è utile per capire se il substrato utilizzato mantiene la sua elevata capacità d'infiltrazione nel tempo.

La misura della permeabilità può essere fatta mediante vari strumenti. Purtoppo, solo nell'autunno 2013 si è riusciti ad eseguire delle prove di permeabilità avendo finalmente a disposizione un permeametro di Guelph.

Il permeametro di Guelph è uno strumento ottimizzato per la misurazione in campo dell'infiltrazione dell'acqua nel suolo quasi saturo.

I parametri relativi al permeametro di Guelph con kit 2800K1 sono riportati in tabella (Tab. 15).

Tabella 15: caratteristiche tecniche del permeametro di Guelph 2800K1

Permeametro di Guelph dotato del kit "2800K1"	
Diametro trivella:	6 cm
Intervallo di profondità ottimo di pescaggio:	2,5 cm a 25 cm
Intervallo di conduttività idraulica:	10-4 α 10-7 m/s; 10-2 α 10-5 cm/s
Capacità del contenitore d'acqua smontabile:	11,36 l
Capacità massima del permeametro:	3,18 l
Dimensioni totali dello strumento:	132,08 cm (lunghezza) x 44,45 cm (larghezza) x 15,24 cm (profondità)
Peso totale dello strumento:	11 kg
Intervallo di profondità standard:	15cm a 75 cm (la profondità di pescaggio può essere aumentata con dei tubi di estensione)

Il principio di funzionamento è uguale a quello della bottiglia di Mariotte[7]. Esso

[7] La bottiglia di Mariotte è un dispositivo per mantenere costante la pressione in un recipiente o la portata derivata da questi. Essa consiste in un recipiente chiuso che è comunicante con l'atmosfera tramite un tubo introdotto al suo interno sulla parte superiore e provvista di un orifizio sulla parte inferiore. Il recipiente è parzialmente

permette di mantenere un battente costante entro un piccolo pozzetto scavato nel suolo con appositi strumenti.

L'acqua presente all'interno del pozzetto s'infiltra nel terreno attraverso le pareti del pozzetto stesso. Essa contemporaneamente viene sostituita da altra acqua derivante dal serbatoio del permeametro che permette di mantenere inalterato il livello nel pozzetto. La quantità d'acqua infiltrata nel terreno si ottiene leggendo, in due istanti successivi, sulla scala graduata del permeametro il valore riguardante il livello dell'acqua nel serbatoio. Da queste misure si può ottenere una stima della conducibilità idraulica alla saturazione di campo (K_{fs}) che è un parametro fondamentale per la modellazione del moto dell'acqua nel terreno. Questo permeametro permette l'esecuzione di prove con due carichi idraulici diversi. In questo modo i dati che si ottengono godono di maggior precisione. La suddetta procedura è stata applicata anche nelle prove nei due rain garden mentre nel terreno circostante è stata applicata quella con un solo carico.

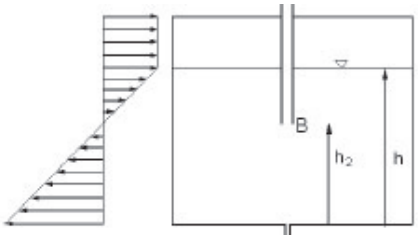
Il 25 ottobre 2013 sono state eseguite le prove di permeabilità presso i giardini pluviali di Agripolis.

Sono state eseguite quattro prove per ogni rain garden:

- due nel rain garden grande ponendo il permeametro al centro e modificando tra una prova e l'altra il carico (prima prova 5 cm e seconda

---

riempito d'acqua. Aprendo l'orifizio dopo qualche istante la portata derivata raggiunge un valore che mantiene costante. L'acqua defluente dall'orifizio deve essere continuamente sostituita nel recipiente dell'aria che viene aspirata tramite il tubicino superiore. La pressione nel punto B deve essere quella atmosferica per garantire l'ingresso dell'aria. La quota energetica in B rimane costante perché la pressione è quella atmosferica. Il bilancio di energia tra il punto B e la sezione di vena contratta, è analogo a quello della luce di fondo per cui la velocità dipende dalla quota h2 e rimane costante finché la quota dell'acqua nel recipiente rimane superiore ad h2. Se la velocità è costante lo è anche la portata defluente dell'orifizio. Nel recipiente finché h>h2 la pressione è negativa. (Gregoretti dispense corso idraulica 2008).



10 cm) e l'intervallo di tempo tra una lettura ed un'altra (prima prova 30 s e seconda prova 10 s);

- due nel rain garden grande ponendo il permeametro a circa 35 cm dal bordo e modificando tra una prova e l'altra il carico (prima prova 5 cm e seconda 10 cm) e l'intervallo di tempo tra una lettura ed un'altra (prima prova 60 s e seconda prova 30 s) (Fig. 26);
- due nel rain garden piccolo ponendo il permeametro al centro e modificando tra una prova e l'altra il carico (prima prova 5 cm e seconda 10 cm) L'intervallo di tempo tra una lettura ed un'altra è rimasto invece invariato (60 s);
- due nel rain garden piccolo ponendo il permeametro a circa 35 cm dal bordo e modificando tra una prova e l'altra il carico (prima prova 5 cm e seconda 10 cm). L'intervallo di tempo tra una lettura ed un'altra è rimasto invece invariato (60 s).



Figura 26: permeametro di Guelph installato e pronto per la prova sul bordo del rain garden grande.

Per tutte le prove la profondità del pozzo è stata di 15 cm.

Sono state eseguite, inoltre, quattro misure anche sul suolo presente nelle vicinanze dei giardini.

Nella prima prova è stato realizzato un pozzo profondo 25 cm. Il carico è stato di 5 cm mentre l'intervallo di tempo tra una lettura e l'altra è stato di 60 s. Nella seconda prova, invece, è stato modificato solo l'intervallo di tempo tra una lettura e l'altra che, in questo caso, è stato di 180 s.

I dati ottenuti dai rilievi sono stati inseriti in fogli di calcolo tipo "Excel" ed elaborati applicando le formule per le analisi con due carichi idraulici sotto indicate.

Analisi con due carichi idraulici (Two – Head Analysis):

$$K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1$$

Dove $Q_2 = XR_2$ o YR_2 e

$$G_1 = \frac{H_2 C_1}{\pi\left(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)\right)}$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi\left(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)\right)}$$

Mentre

$$\phi_m = G_3 Q_1 - G_4 Q_2$$

Dove

$$G_3 = \frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_1}{2\pi\left(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)\right)}$$

$$G_3 = \frac{(2H_1^2 + a^2 C_1) C_2}{2\pi\left(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)\right)}$$

$$\alpha = \frac{K_{fs}}{\phi_m}$$

Di seguito si riporta una tabella (Tab. 16) con i valori di α e una con la legenda dei simboli impiegati (Tab. 17)

Tabella 16: valori di α e parametri impiegati per la sua scelta.

Tessitura del suolo – Categorie di struttura	**α (cm^{-1})**
Compatto, strutturato, argilloso o materiali sedimentosi come strati interrati, sedimenti lacustri o marini etc.	0,01
Suoli con tessitura fine (argilloso o sedimentoso) e non strutturato; con possibile presenza di sabbia fine.	0,04
Suolo strutturato da terra argillosa, presenza anche di terreno medio non strutturato e sabbia fine. A questa categoria appartengono generalmente i suoli agricoli.	0,12
Sabbia grossolana e ghiaiosa; possibile presenza di suolo altamente strutturato con larghi e/o numerose fessure, macropori etc.	0,36

Tabella 17: significato dei parametri e dei simboli usati nelle formule per la stima della permeabilità.

Parametro o simbolo	**Significato**
a	Raggio del pozzo (cm).
C	Fattore di forma, dipende principalmente dal rapporto H/a.
C_1, C_2	Fattori di forma C corrispondenti rispettivamente a H1/a e H2/a .
H_1, H_2	Carico idraulico rispettivamente per la prima e seconda procedura (cm).
K	Conducibilità idraulica (cm/sec).
K_{fs}	Conducibilità idraulica alla saturazione di campo (cm/sec).
K(φ)	Relazione tra conducibilità idraulica con la pressione del carico idraulico per flusso insaturo.
R	Tasso di caduta dell'acqua nel serbatoio (cm/min).
$\bar{R}$	Tasso di caduta costante (cm/min).
$\bar{R}_1, \bar{R}_2$	Tasso di caduta costante corrispondente rispettivamente a H1 e H2 (cm/sec).

S	Sorptivity; la tendenza di un materiale di assorbire e trasmettere acqua e altri liquidi per capillarità.
α	Parametro alfa; pendenza della relazione lineare tra il log naturale di K, la conducibilità idraulica, con Q, ovvero la pressione dell'acqua nel terreno (cm^{-1}).
θ_i	Contenuto volumetrico iniziale di acqua nel suolo (cm^3/cm^3).
θ_{fs}	Contenuto volumetrico di acqua in suolo saturo (con presenza di aria intrappolata) (cm^3/cm^3).
$\Delta\theta = \theta_{fs} - \theta_i$	Differenza tra suolo saturo e contenuto volumetrico iniziale (ambiente) di acqua nel terreno (cm^3/cm^3).
ϕ_m	Potenziale di flusso matriciale (cm^2/sec).
Ψ	Pressione esercitata dal carico d'acqua sul terreno, misurata in (cm) d'acqua.

I campioni di terreno prelevati per l'apertura dei pozzetti sono stati messi in sacchettini di plastica, pesati, messi in stufa e poi pesati nuovamente per determinare l'umidità relativa mediante la formula:

$$\text{Umidità \%} = \frac{\text{Peso suolo umido} - \text{Peso suolo secco}}{\text{Peso suolo umido}} \text{x } 100$$

4. RISULTATI E DISCUSSIONI

4.1 ANDAMENTO CLIMATICO E UMIDITA' DEL SUOLO

Per comprendere al meglio le condizioni stazionali del semestre giugno – novembre 2013, periodo durante il quale sono stati eseguiti i rilievi, vengono descritte qui di seguito l'andamento delle precipitazioni, l'umidità media giornaliera del terreno e l'evapotraspirazione colturale.

Le serie relative alle sonde poste a 90 cm nel rain garden piccolo e 50 cm nella zona esterna del rain garden grande possono mancare o essere tagliate. Nel corso dell'elaborazione dei dati, infatti, è emerso che i valori registrati erano errati, probabilmente per la perdita di contatto tra terreno e sonde dovuto allo shrinkage del terreno dovuto ai cicli di umido/secco, quindi per non creare confusione sono stati tolti.

Il mese di giugno 2013 è stato caratterizzato da una temperatura media di 23,1 °C, minima di 11,6 °C e massima di 32,8 °C. Le precipitazioni sono state piuttosto esigue con 17 mm di pioggia suddivisi in 5 eventi (Fig. 27). In questo mese le condizioni sono risultate nettamente differenti da quelle del mese di maggio, molto piovoso e con temperature inferiori alla media.

Analizzando l'andamento dell'evapotraspirazione colturale nel corso del mese si nota l'influenza che le precipitazioni giocano su questa variabile. In corrispondenza di questi eventi si ha, infatti, una marcata riduzione dei valori. Da notare poi che nel periodo 24 – 28 giugno l'andamento è stato piuttosto altalenante. Le temperature medie e minime di queste giornate sono state piuttosto simili. Le massime, invece, sono state più elevate il 25 e 27 grazie anche alla maggior radiazione solare globale. Si può affermare che le temperature massime giocano un ruolo di rilievo nel bilancio dell'evapotraspirazione giornaliera.

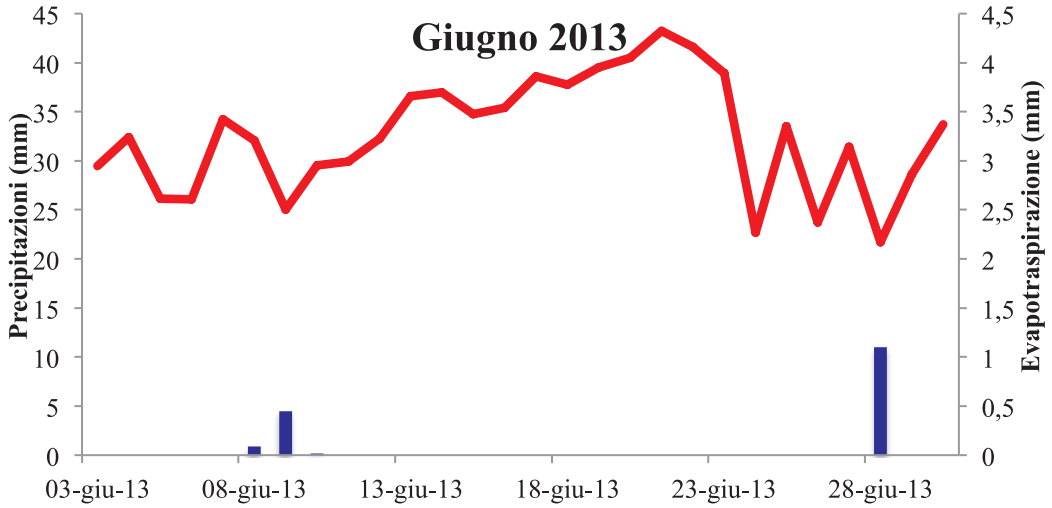
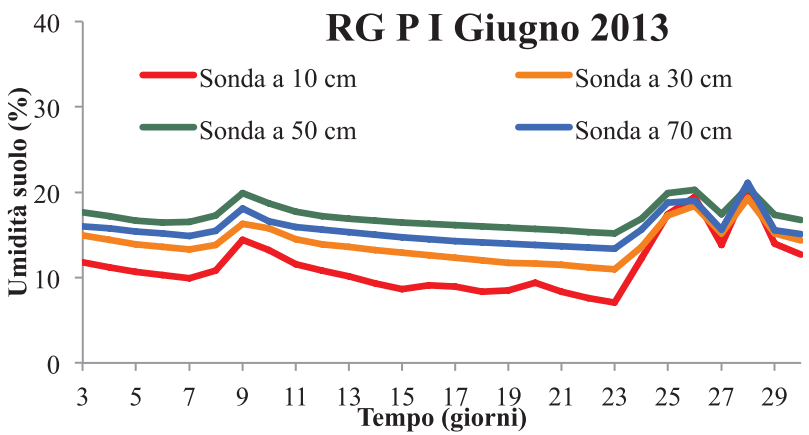
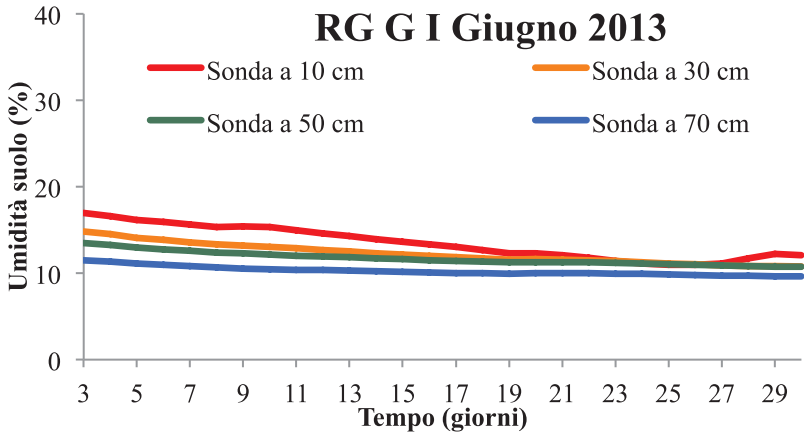
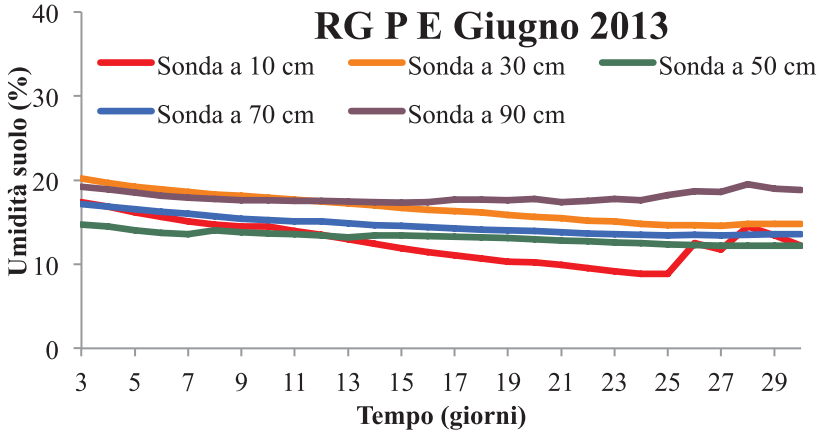


Figura 27: andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione (giugno 2013) (fonte ARPA Veneto).

Confrontando i valori medi giornalieri di umidità registrati dalle sonde poste nel terreno si nota che le variazioni sono state più sensibili nella zona centrale dei due rain garden e meno marcate nella zona esterna. Inoltre in quello piccolo le oscillazioni sono state superiori. È interessante notare, poi, che nel giardino pluviale più grande i valori più elevati di umidità si registrano nella zona più superficiale. In quello piccolo invece, dove vengono scaricati i deflussi meteorici del tetto, l'umidità più elevata si registra a profondità superiori segno che i volumi maggiori che qui giungono, si infiltrano di più nel terreno (Fig. 28).







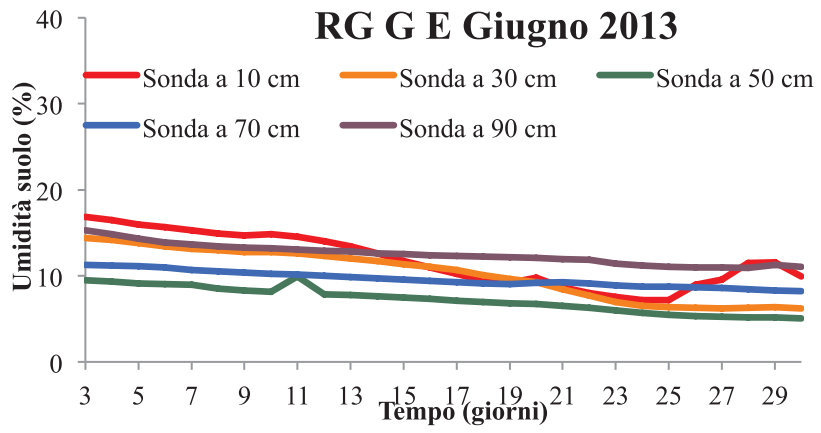


Figura 28: andamento dell'umidità nel rain garden piccolo all'interno (RG P I) ed esterno (RG P E) e nel rain garden grande all'interno (RG G I) ed esterno (RG G E) per il mese di giugno 2013.

Il mese di luglio ha fatto registrare la temperatura media più alta del semestre con 25 °C. Anche la temperatura minima rilevata è stata la più elevata con 16,2 °C mentre la massima è arrivata a 35 °C. Rispetto al mese di giugno le precipitazioni sono state più consistenti con 39,6 mm concentrati soprattutto nell'evento del 13 luglio durante il quale sono caduti 30,8 mm (Fig. 29). L'evapotraspirazione ha mantenuto valori compresi tra 3 e 3,8 mm con un massimo di molto inferiore rispetto ai 4,3 mm registrati in giugno. Solo il 29 luglio c'è stata una drastica riduzione di questo valore dovuta in gran parte all'evento piovoso e alla ridotta radiazione solare.

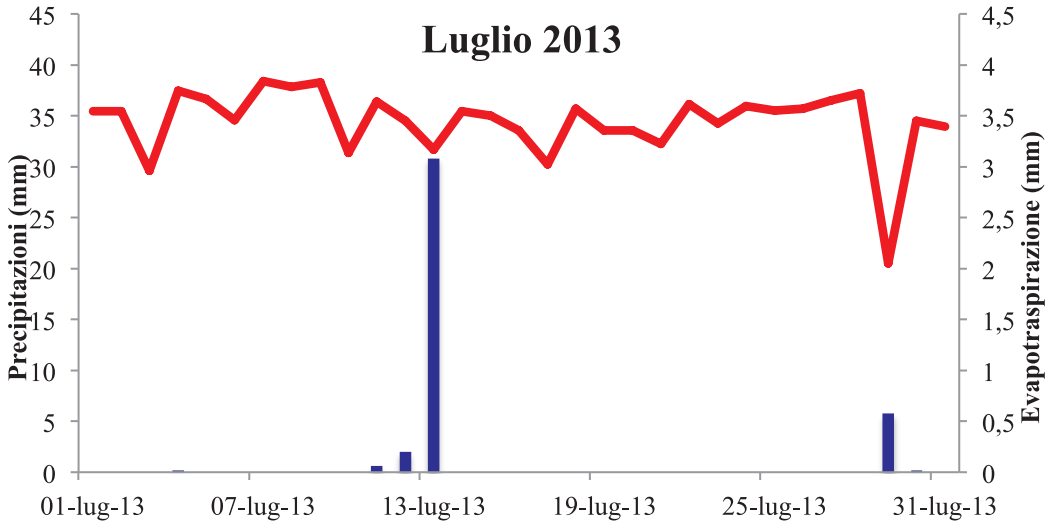
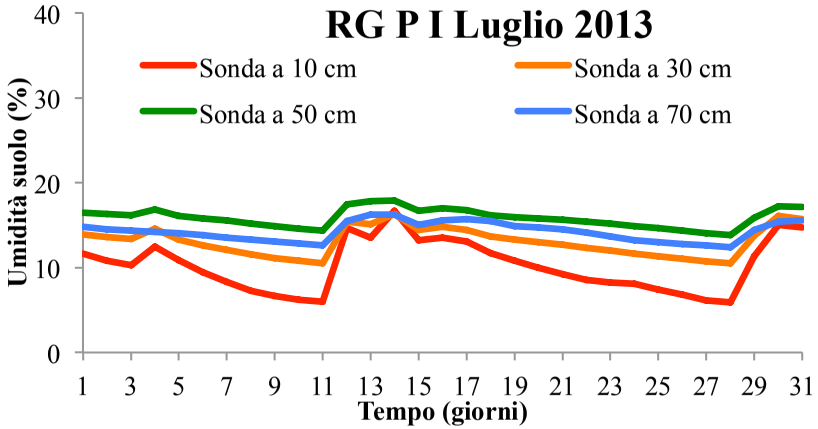


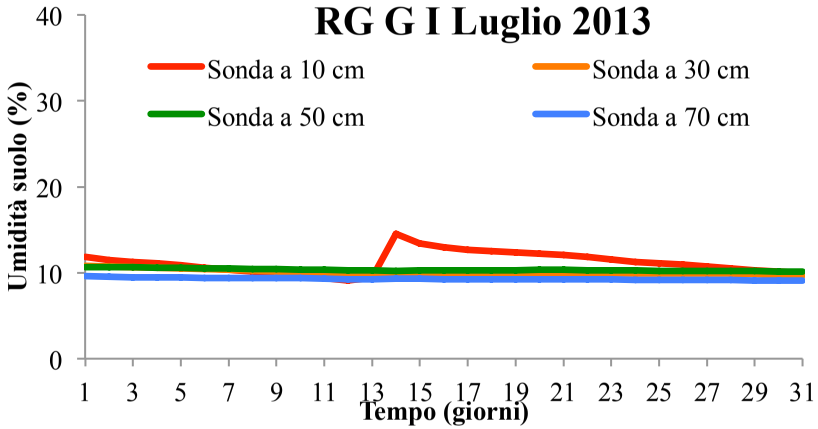
Figura 29: andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione (luglio 2013) (fonte ARPA Veneto).

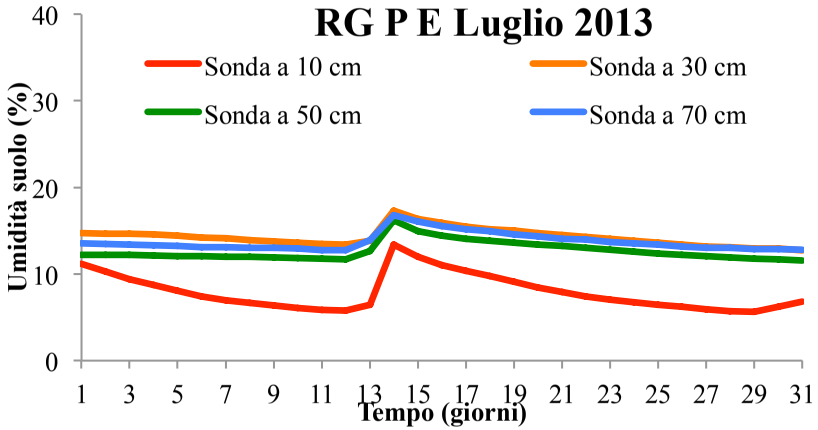
Le oscillazioni di umidità sono state registrate in concomitanza con gli eventi meteorici (Fig. 30). Chiaramente queste sono state più marcate nel rain garden piccolo in particolare al centro dove le sonde poste a 10, 30 e 50 cm hanno rilevato un aumento dell'umidità legata ad un evento piovoso di soli 0,2 mm. Nel complesso la situazione è stata simile a quella del mese precedente. È importante notare però, che l'umidità è sempre stata maggiore nel rain garden piccolo rispetto al grande dove il solo evento del 13 luglio ha favorito l'aumento dei valori di umidità nel primo strato di substrato.

Nel rain garden piccolo, solo nel primo strato di terreno sono state osservate delle consistenti oscillazioni di umidità. A profondità superiori le variazioni sono state meno importanti.

Osservando l'andamento dell'umidità e dell'evapotraspirazione è stato notato che in corrispondenza dei periodi con valori di ET superiore l'umidità del terreno è diminuita. Questo si nota chiaramente confrontando evapotraspirazione ed umidità nel centro del rain garden piccolo il 28 luglio.







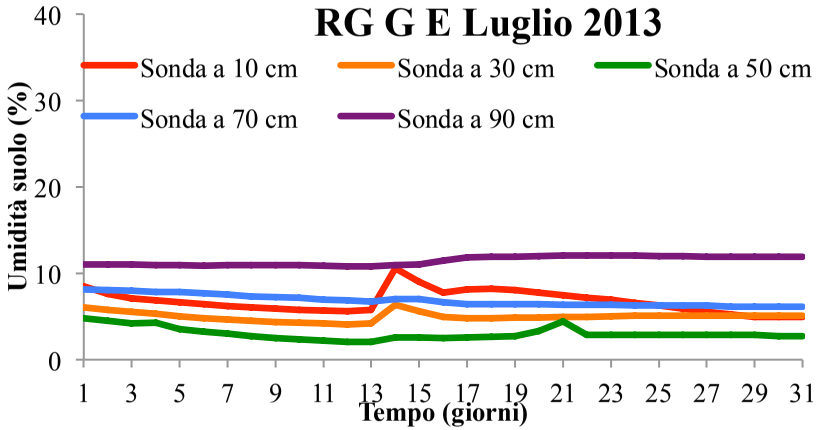


Figura 30: andamento dell'umidità nel rain garden piccolo all'interno (RG P I) ed esterno (RG P E) e nel rain garden grande all'interno (RG G I) ed esterno (RG G E) per il mese di luglio 2013.

Nel mese di agosto la temperatura media è stata di 23,5 °C, la minima 13,8 °C e la massima 35,2 °C che risulta la più elevata del semestre. L'ammontare delle precipitazioni è stato di 75,6 mm. Nei primi 13 giorni del mese le condizioni sono state di marcato stampo estivo (solo due eventi piovosi con 4,2 mm di pioggia) (Fig. 31). Dal 14 agosto invece si sono verificati nove eventi concentrati in particolare tra il 24 e 29. Questi hanno determinato una riduzione dei valori di temperatura minimi e massimi.

Anche l'andamento dell'evapotraspirazione è stato simile a quello delle temperature: dopo una prima fase in cui i valori sono stati simili a quelli del mese di luglio, c'è stata una progressiva riduzione legata, anche in questo caso all'andamento di precipitazioni e radiazione globale.

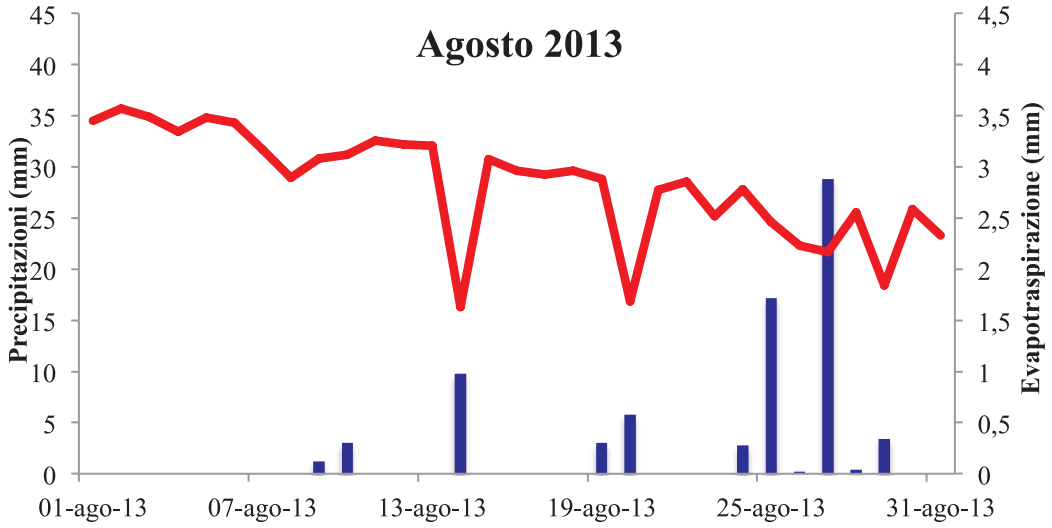


Figura 31: andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione (agosto 2013) (fonte ARPA Veneto).

I livelli di umidità del substrato dei rain garden sono stati influenzati dall'andamento delle precipitazioni. Nel complesso c'è stato un aumento dell'umidità a tutte le profondità, più marcato al centro del rain garden interno e meno nella zona marginale del rain garden esterno (Fig. 32). In questa zona l'umidità è rimasta per lungo tempo inferiore al 5 % per poi risalire solo con gli eventi di fine mese.

Da notare infine come nella zona centrale l'andamento dell'umidità sia stato a denti di sega con una crescita progressiva dei valori. I vari picchi sono stati

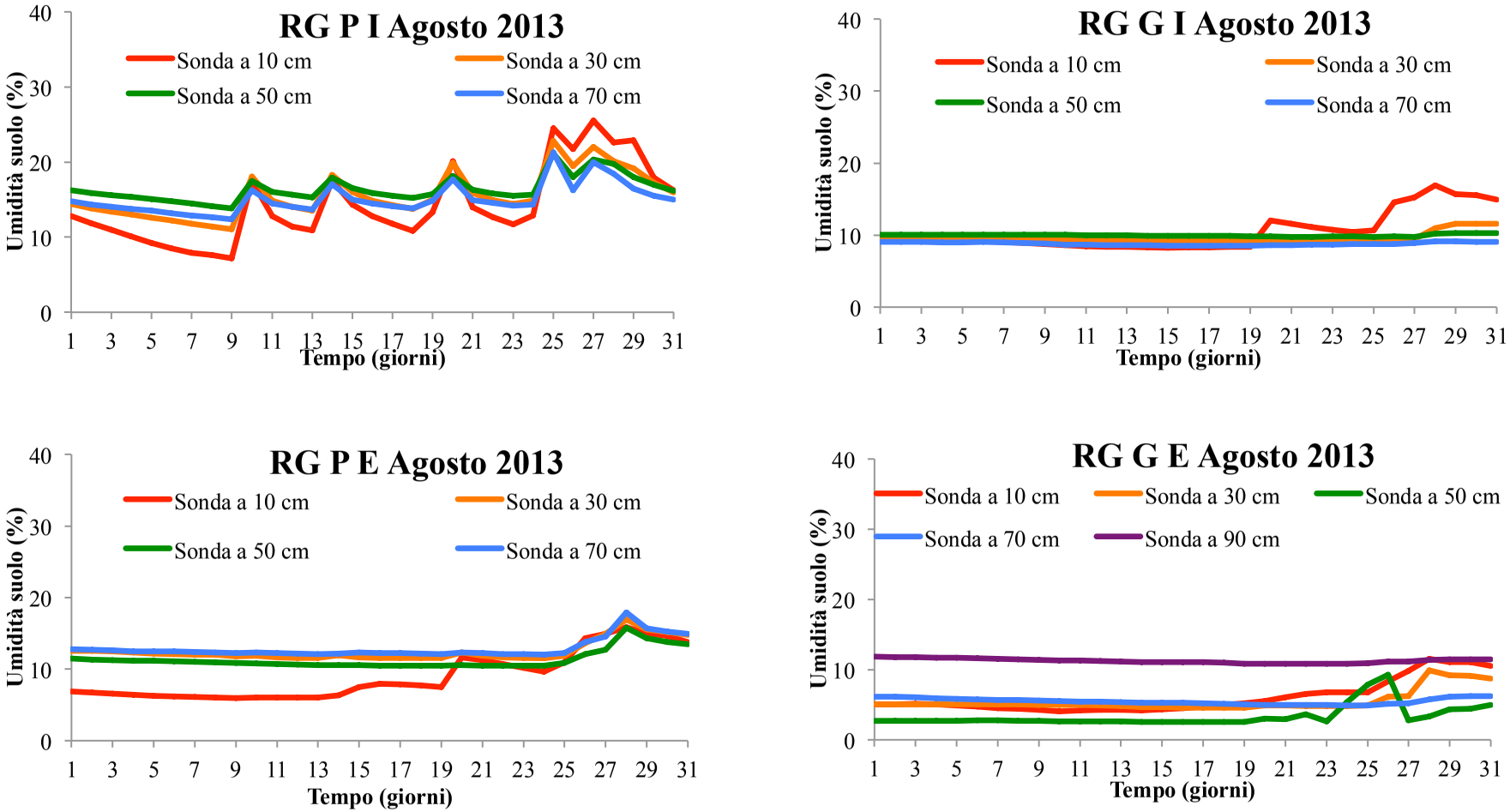


Figura 32: andamento dell'umidità nel rain garden piccolo all'interno (RG P I) ed esterno (RG P E) e nel rain garden all'interno (RG G I) ed esterno (RG G E) per il mese di agosto 2013.

Nel mese di settembre la temperatura media è stata di 19,4 °C. I valori minimi e massimi registrati sono stati rispettivamente di 10,5 °C e 29,3 °C. Nel corso del periodo sono caduti 49,2 mm di pioggia. Da notare però che 43,4 mm sono caduti tra il 29 e 30 settembre (Fig. 33).

Le riduzioni delle temperature e delle ore di luce hanno influenzato l'andamento dell'evapotraspirazione che è diminuita in modo sensibile nell'ultima parte del mese quando ci sono state anche le precipitazioni più consistenti.

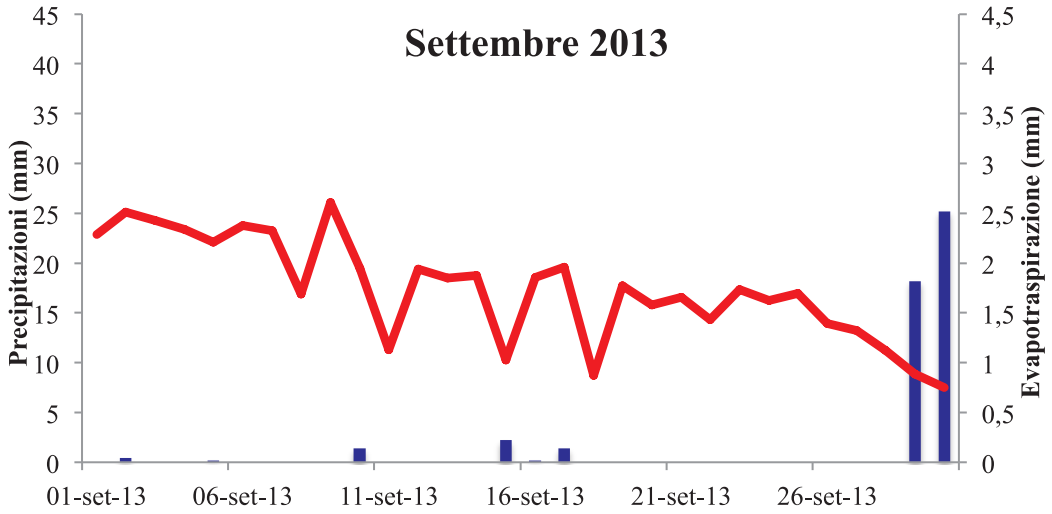


Figura 33: andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione (settembre 2013) (fonte ARPA Veneto).

L'umidità del terreno, come nei mesi precedenti, è stata superiore nel rain garden piccolo e più bassa in quello grande. Le scarse precipitazioni che ci sono state nel corso del mese sono state rilevate solo dalle sonde poste al centro di quello piccolo (Fig. 34).

Nel rain garden grande si può notare che l'umidità rilevata dalla sonda posta a 90 cm di profondità mantiene un valore costante. Una possibile spiegazione potrebbe risiedere nel fenomeno della "falda sospesa" che si crea quando, lungo il profilo del suolo, l'acqua incontra un brusco aumento di permeabilità (che potrebbe essere dovuto alla presenza di calcinacci sotto il fondo dei rain garden).

Inoltre i valori di umidità nel rain garden grande alle varie profondità sono praticamente uguali. Nel giardino pluviale piccolo, invece, l'umidità a 30 e 50 cm è mediamente sempre più elevata rispetto agli altri punti.

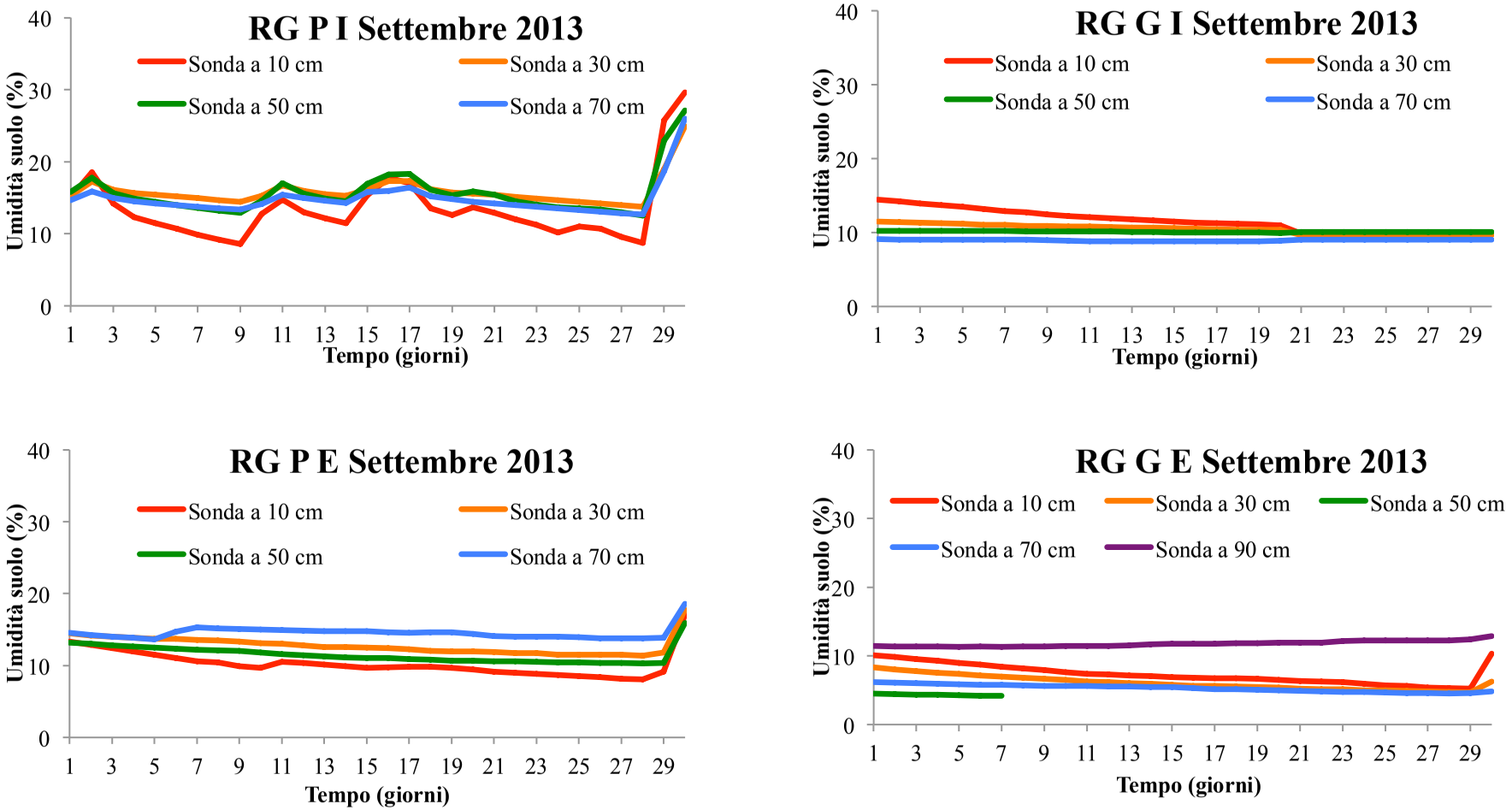


Figura 34: andamento dell'umidità nel rain garden piccolo all'interno (RG P I) ed esterno (RG P E) e nel rain garden grande all'interno (RG G I) ed esterno (RG G E) per il mese di settembre 2013.

Nel mese di ottobre la temperatura è stata di 15,1 °C mentre gli estremi termici sono stati di 8,1 °C e 21,3 °C. Gli eventi meteorici sono stati ben distribuiti nel corso del mese e hanno prodotto 106,2 mm di pioggia. In particolare tra il 5 e l'8 sono caduti 56,4 mm di pioggia (Fig. 35).

Per quanto riguarda l'evapotraspirazione, a parte il 2 e 11 ottobre quando sono stati misurati i maggiori valori di radiazione solare globale del mese (nella formula c'è la radiazione extraterrestre e quindi la maggiore Eto sarà legata alle T), non ci sono state variazioni di rilievo.

Confrontando l'evapotraspirazione e l'umidità del suolo si nota come nel corso del 2 e 11 ottobre ci sia stata una maggiore riduzione dell'umidità del substrato soprattutto nei primi centimetri. Questo è stato rilevato dalle sonde poste a 10 cm.

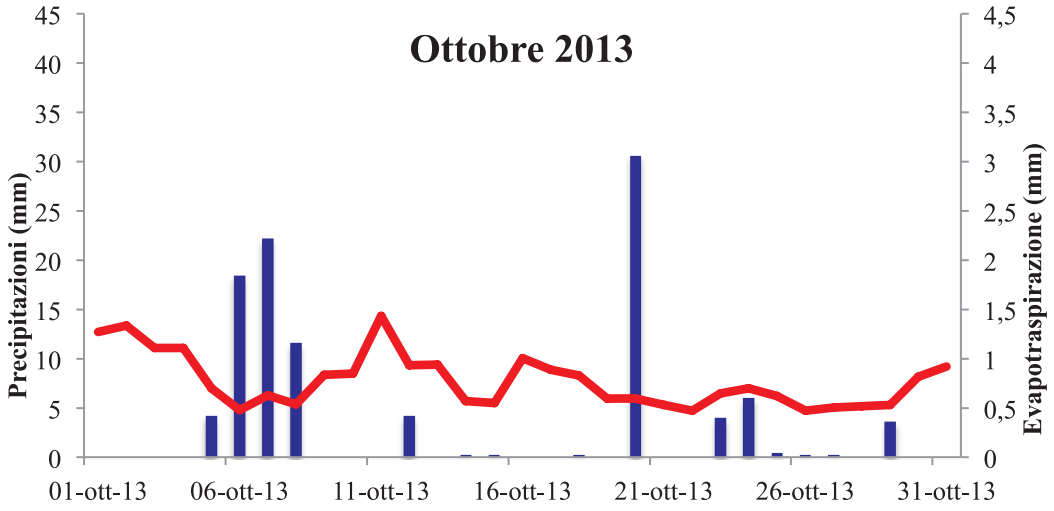


Figura 35: andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione (ottobre 2013) (fonte ARPA Veneto).

Come detto in precedenza, nel corso del mese le precipitazioni sono state ben distribuite. Osservando l'andamento dell'umidità è interessante notare che nel rain garden grande man mano che ci si porta più in profondità nel substrato, l'umidità tende a diminuire fino a giungere nella zona più profonda dove l'influenza del suolo naturale è marcata (Fig. 36). In quello piccolo, invece, dopo i vari eventi si è assistito ad una progressiva riduzione dell'umidità nello strato più superficiale.

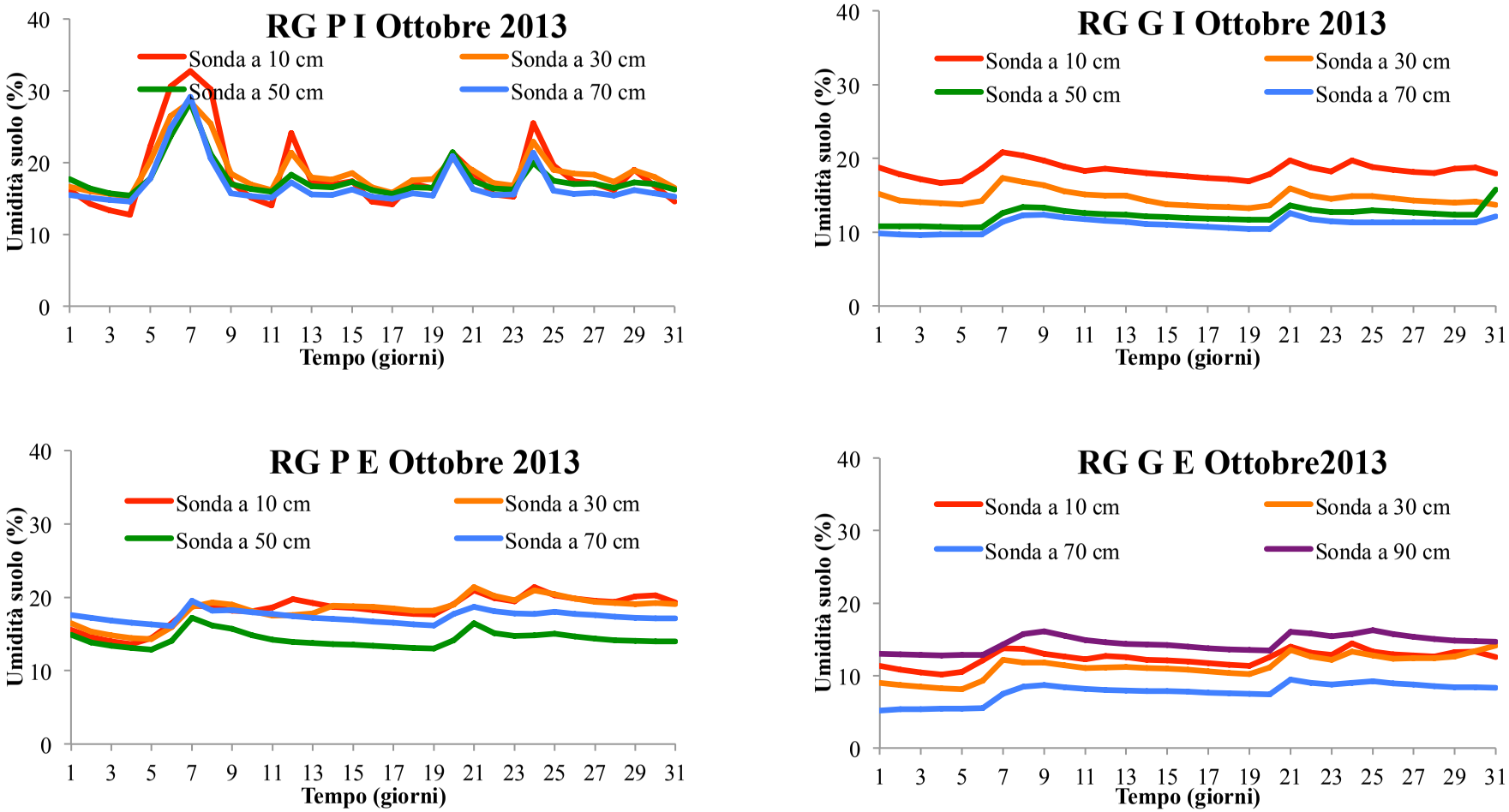


Figura 36: andamento dell'umidità nel rain garden piccolo all'interno (RG P I) ed esterno (RG P E) e nel rain garden grande all'interno (RG G I) ed esterno (RG G E) per il mese di ottobre 2013.

La temperatura media del mese di novembre è stata di 10 °C. Nel complesso il mese è stato piuttosto caldo. La temperatura massima raggiunta è stata di 19 °C. Solo negli ultimi cinque giorni c'è stata una marcata riduzione dei valori termici e il 29 è stata raggiunta la minima mensile di – 3 °C.

L'ammontare delle precipitazioni è stato simile a quelle del mese di ottobre con 102,2 mm. L'evento più importante si è verificato il 15 con 38,6 mm (Fig. 37).

L'evapotraspirazione è risultata piuttosto bassa e quasi sempre inferiore a 0,5 mm. Il valore minimo è coinciso con il 29 nel corso del quale sono stati registrati, per quanto riguarda gli estremi termici, i valori più bassi.

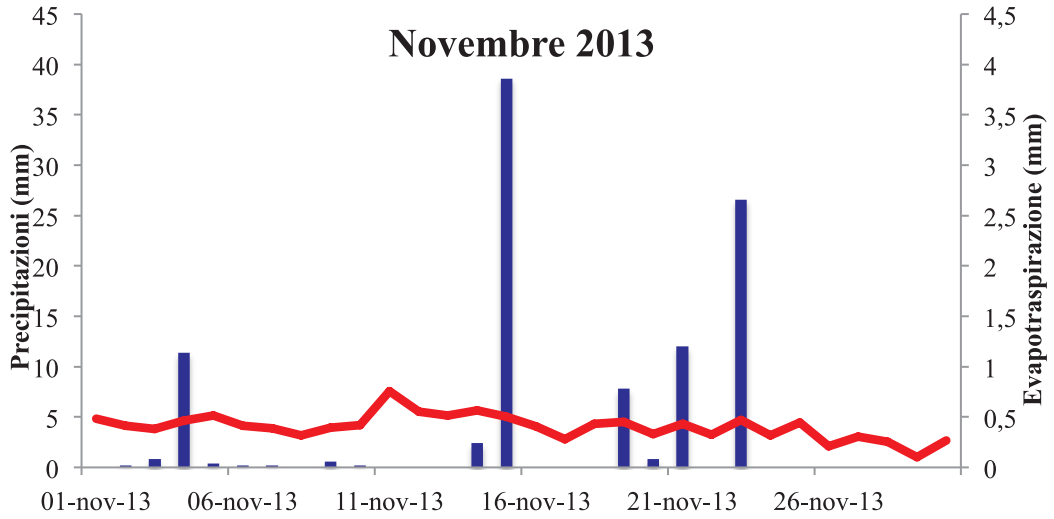
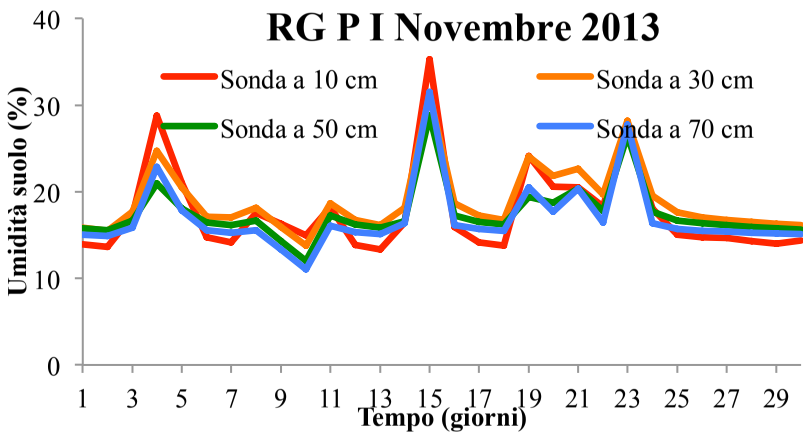
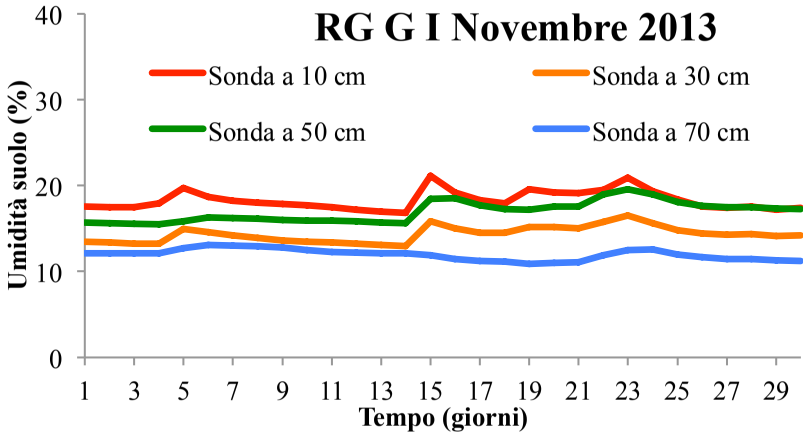
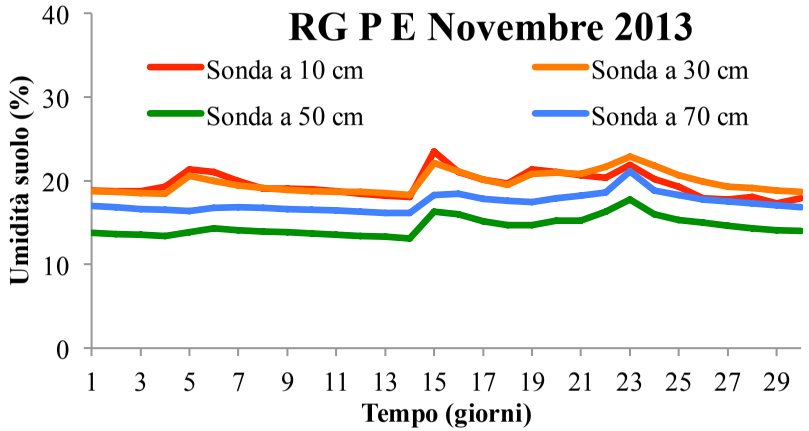


Figura 37: andamento dell'umidità e dell'evapotraspirazione (novembre 2013) (Fonte ARPA Veneto).

L'andamento dell'umidità è stato simile a quello dei mesi precedenti. Nella zona centrale del rain garden piccolo i valori sono stati molto simili fra loro a tutte le profondità (Fig. 38). Le altre sonde hanno mostrano invece delle differenze più marcate spostandosi lungo il profilo verticale. I valori più bassi, comunque sono stati registrati sempre dalla serie di sonde poste nella parte esterna del giardino pluviale grande.







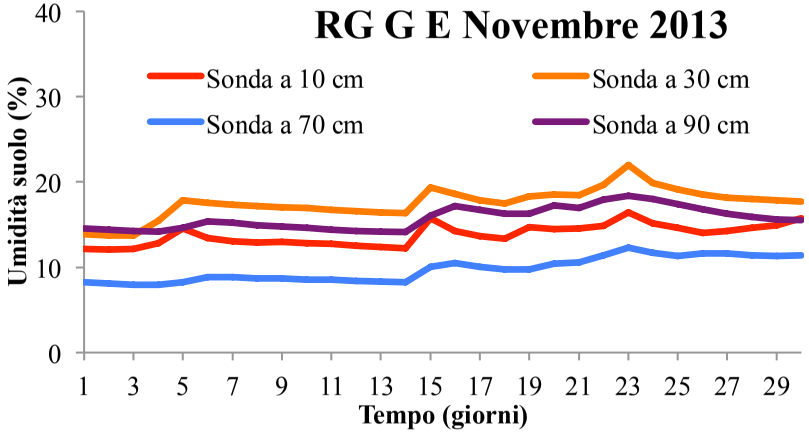


Figura 38: andamento dell'umidità nel rain garden piccolo all'interno (RG P I) ed esterno (RG P E) e nel rain garden grande all'interno (RG G I) ed esterno (RG G E) per il mese di novembre 2013.

4.2 TARATURA STRAMAZZO

Analizzando i dati ed i fogli di calcolo che erano stati creati per determinare le portate è stato notato che:

- l'idrometro a galleggiante fornisce generalmente valori inferiori rispetto al piezometro; questo è probabilmente dovuto sia al fatto che il galleggiante registra con difficoltà maggiori rispetto al piezometro le piccole variazioni di tirante (millimetriche) che hanno comunque una grande influenza sui volumi finali d'evento, sia al fatto che il piezometro può portare ad alcune sovrastime dovute al fatto che la misura viene influenzata da sovrapressioni di origine cinetica.
- L'equazione empirica impiegata nei fogli di calcolo, che era stata determinata con le precedenti prove di taratura, tende a sottostimare la portata e il volume finale. Osservando le prove si è osservato che i carichi analizzati erano superiori a 2 cm. L'equazione quindi non era correttamente tarata per carichi inferiori che sono molto importanti visto che permangono per lungo tempo sullo stramazzo e influiscono molto sul calcolo del volume finale. Inoltre, possibili errori nella definizione della precedente equazione di taratura sono probabilmente attribuibili alle procedure di raccolta dei dati: nel lavoro precedentemente realizzato, infatti, l'acqua veniva raccolta dopo la vasca presente a valle dello stramazzo e i dati hanno facilmente risentito del suo effetto di laminazione.
- L'altezza della soglia misurata dallo strumento ad inizio dell'evento ed usata come zero idrometrico influisce molto sulla misura del volume finale. La sua determinazione non è sempre semplice visto che prima degli eventi il livello tende a diminuire a causa dell'evaporazione. Questo fenomeno è più marcato durante l'estate. Per ovviare a questo problema si potrebbe usare il valore minimo registrato dallo strumento nelle due ore precedenti all'evento.
- Il coefficiente di efflusso usato nell'equazione teorica era troppo basso ed è stato sostituito con quello consigliato per gli stramazzi triangolari che è pari a 0,60.

Nonostante questi accorgimenti i risultati che si ottenevano analizzando gli eventi non erano ancora corretti. L'ipotesi che è stata fatta per motivare questi risultati è che l'impiego di stramazzi triangolari è ottimizzato per carichi compresi tra 5 e 6 cm che raramente interessano lo stramazzo in questione. I tiranti, infatti, sono quasi sempre inferiori ai 5 cm e quelli che permangono per più tempo sono inferiori a 1 cm.

Un'equazione sperimentale per il calcolo del coefficiente di efflusso che tiene conto degli effetti della viscosità e della tensione superficiale per piccoli valori di carico è quella proposta da Hager (1990):

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{3}}\left[1 + \left(\frac{h^2 \tan(\alpha/2)}{3\,B\,(h+w)}\right)^2\right]\left[1 + \frac{0{,}66}{h^{3/2}\tan(\alpha/2)}\right]$$

dove:

- Cd = coefficiente di efflusso;
- α = angolo stramazzo espresso in radianti (1,05 rad);
- B = larghezza del canale (0,70 m);
- h = carico sulla soglia;
- w = altezza della soglia reale (0,355 m).

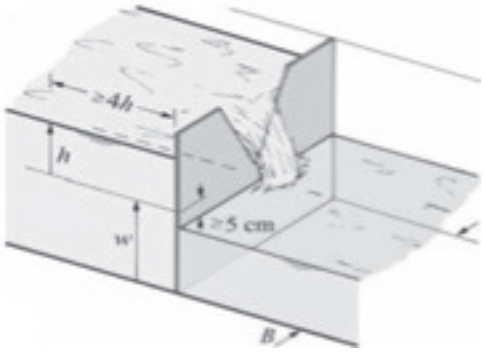


Figura 39: disegno di uno stramazzo a 60° come quello impiegato nella prova.

I valori ricavati da questa formula devono poi essere inseriti nell'equazione teorica delle portate:

$$Q = \frac{8}{15}\, C_d \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) (2\, g\, H^5)^{1/2}$$

dove:

- Q = portata;
- α = angolo stramazzo espresso in gradi (60°);
- g = accelerazione di gravità;
- H = carico sulla soglia.

L'equazione di Hager (1990) fornisce risultati attendibili per carichi fino a 10 mm. È stato determinato però che essa tende a sovrastimare i risultati per valori di carico inferiori.

Alla luce di tutte queste considerazioni è stato deciso di eseguire una nuova taratura dello strumento avendo cura di raccogliere un maggior numero di dati di portata per carichi inferiori a 2 cm.

Nelle prove di taratura eseguite il 9 dicembre 2013 un'ulteriore differenza rispetto a quelle precedenti è che l'acqua è stata raccolta direttamente alla base dello stramazzo e non in corrispondenza del foro d'uscita della seconda vasca. In questo modo i dati raccolti non risentono del suo effetto di laminazione.

I dati ricavati nel corso della prova di taratura sono riportati in figura (Fig. 40)

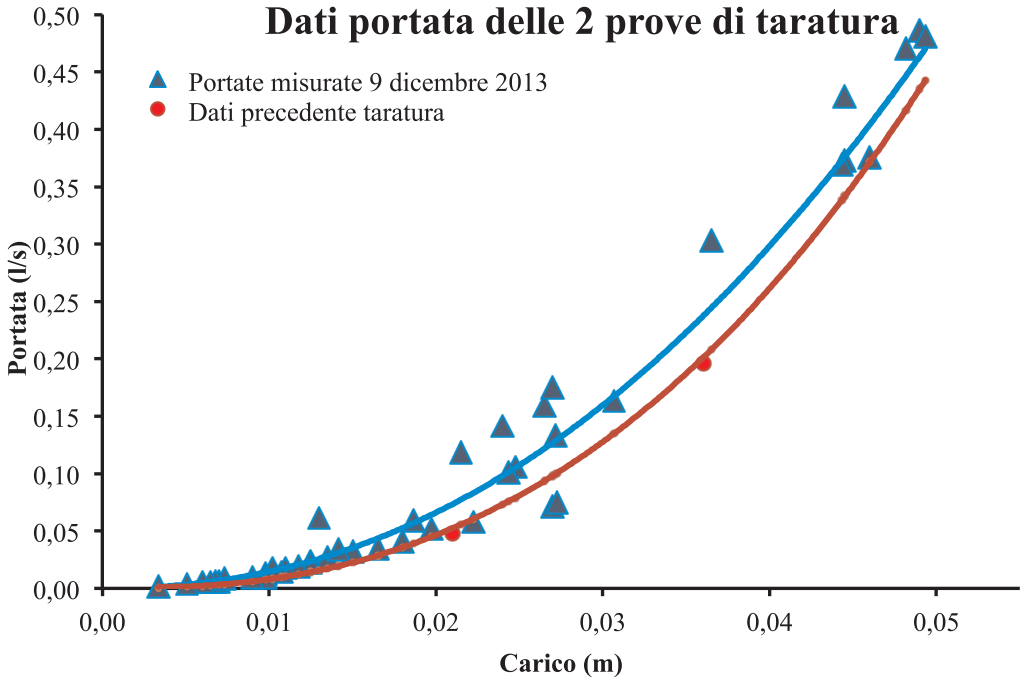


Figura 40: portate per carichi inferiori a 5 mm rilevate nelle due prove di taratura.

Dal confronto dei valori ottenuti nelle due prove di taratura si nota subito che l'equazione che era usata in precedenza sottostimava le portate con carichi bassi.
L'equazione empirica che descrive l'andamento della curva delle portate misurate il 9 dicembre 2013 è:

$$Q = 326{,}6127378858 \times h^{2{,}1743091007}$$

Inoltre potendo disporre di una serie di valori più robusta l'equazione che si ottiene diventa più attendibile. Questa presenta un coefficiente di determinazione R^2 pari a 0,97. Il valore prossimo a uno conferma la bontà della retta di regressione.
Confrontando questa curva con quella ottenuta con la formula teorica con Cd = 0,60 è stato notato però che questa sottostima le portate per carichi superiori a 0,05 m. Le due curve, in particolare, si incrociano in corrispondenza di un carico pari a 0,0595m.
Nella costruzione del foglio di calcolo è stata quindi inserita una funzione che consente l'uso dell'equazione teorica per carichi superiori a 0,0595 m e quella empirica ricavata dalle prove di taratura per carichi inferiori.

I valori di portata stimati con l'impiego delle due equazioni si avvicinano a quelli teorici. Per un'ulteriore verifica sarà necessario eseguire nuove prove simili a quelle del 4 novembre 2013, ma utilizzando carichi maggiori.

4.3 ANALISI DEI DEFLUSSI E DELL'UMIDITA' DEL SUOLO NEL RAIN GARDEN PICCOLO

L'analisi dei deflussi fa riferimento agli eventi più importanti che si sono verificati tra giugno e novembre 2013.
Per ogni evento sono stati considerati l'andamento delle precipitazioni, le portate registrate dal piezometro e i valori di umidità percentuale del substrato nel rain garden piccolo. In particolare, per le piogge sono stati utilizzati i valori con cadenza 5 minuti forniti dal Centro Meteo di Teolo dell'ARPAV relativi alla stazione di Legnaro, ubicata a circa 500 m dal rain garden in linea d'aria.
Gli eventi che sono stati considerati sono riportati in tabella (Tab. 18).

Tabella 18: eventi piovosi analizzati e relativi deflussi.

Evento piovoso	Precipitazioni (mm)
28 giugno 2013	11
11 - 13 luglio 2013	33,4
9 - 10 agosto 2013	4,2
14 agosto 2013	9,8
19 - 20 agosto 2013	8,8
24 - 29 agosto 2013	52,8
15 - 17 settembre 2013	3,8
29 - 30 settembre 2013	43,4
5 - 8 ottobre 2013	56,4
20 ottobre 2013	30,6
14 - 15 novembre 2013	41

Evento del 28 giugno 2013

L'evento del 28 giugno è stato il più importante del mese. In totale nel corso di tale fenomeno sono caduti 11 mm di pioggia. Questo è iniziato all'1:25 ed è terminato alle 7:00. Il pluviometro della vicina stazione ARPAV di Legnaro ha registrato la massima intensità alle 3:15 con 1,2 mm in cinque minuti (Fig. 41).

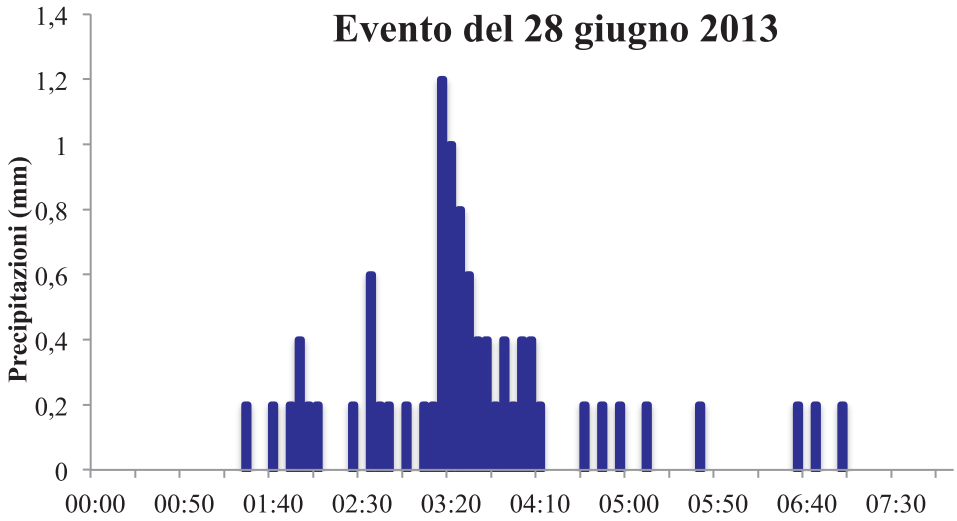


Figura 41: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti durante l'evento piovoso del 28 giugno 2013 (fonte ARPA Veneto).

In totale verso il rain garden piccolo dovevano defluire al massimo 737 litri d'acqua (11 mm × 67 m^2). Il piezometro installato nella vasca a stramazzo ha misurato, impiegando la formula ottenuta dalla taratura di dicembre 2013, 725,3 litri (Fig. 42). I picchi di deflusso registrati dal piezometro sono coincisi con quelli di precipitazione ed in totale solo 11,7 litri non sono stati rilevati. Complessivamente si può affermare, quindi, che tutti i deflussi sono giunti al rain garden.

Osservando l'andamento delle portate si può notare che la portata è aumentata molto velocemente in corrispondenza dei picchi di precipitazione mentre la coda successiva è stata più lunga.

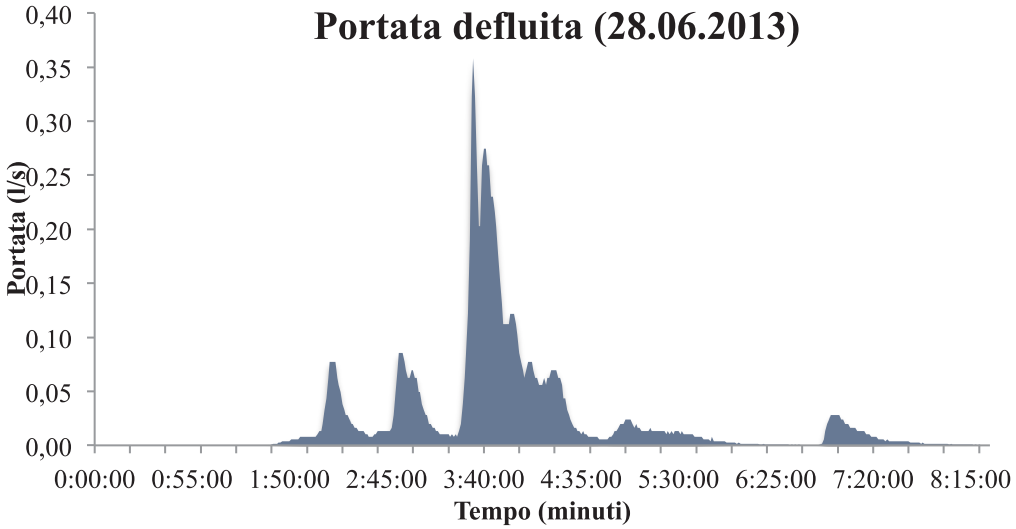


Figura 42: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 28 giugno 2013.

Dai valori di umidità registrati dalle sonde poste nella zona centrale si nota che ci sono stati degli aumenti considerevoli a tutte le profondità in corrispondenza dei vari picchi di deflusso (Fig. 43). Mediamente l'umidità è arrivata al 40-45% evidenziando che per brevi periodi si è arrivati alla saturazione. È interessante notare che nella prima parte dell'evento durante il quale le precipitazioni non sono state continue, l'umidità è aumentata è poi è ridiscesa subito al termine della pioggia. Solo i valori della sonda posta a 70 cm sono rimasti costanti segno che per un breve periodo si era verificato il fenomeno della "falda sospesa".

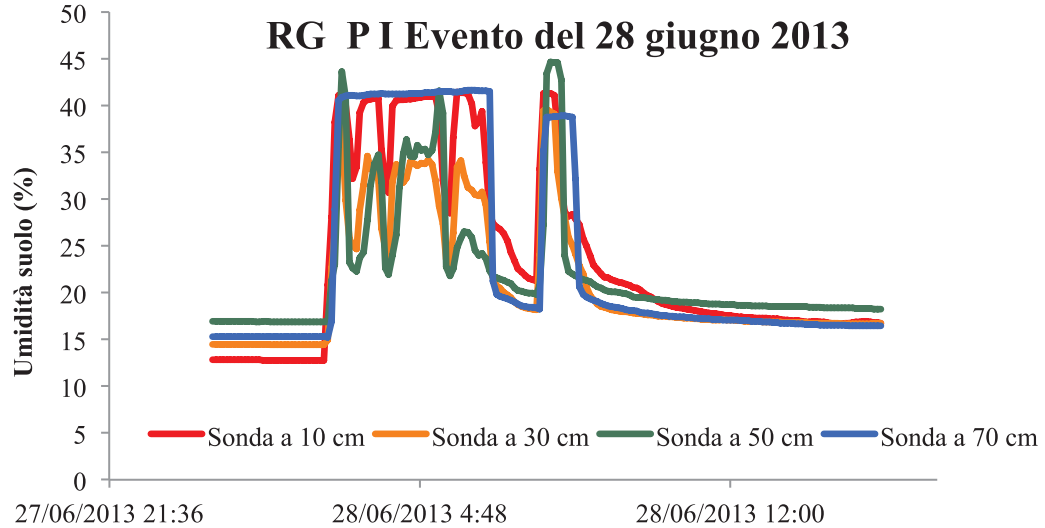


Figura 43: umidità del suolo misurata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 28 giugno 2013.

L'umidità nella parte esterna del rain garden ha avuto un aumento molto più contenuto. In particolare a 10 e 90 cm di profondità c'è stato un incremento dei valori (Fig. 44). Questo comunque è stato più contenuto e meno prolungato rispetto alla zona centrale.

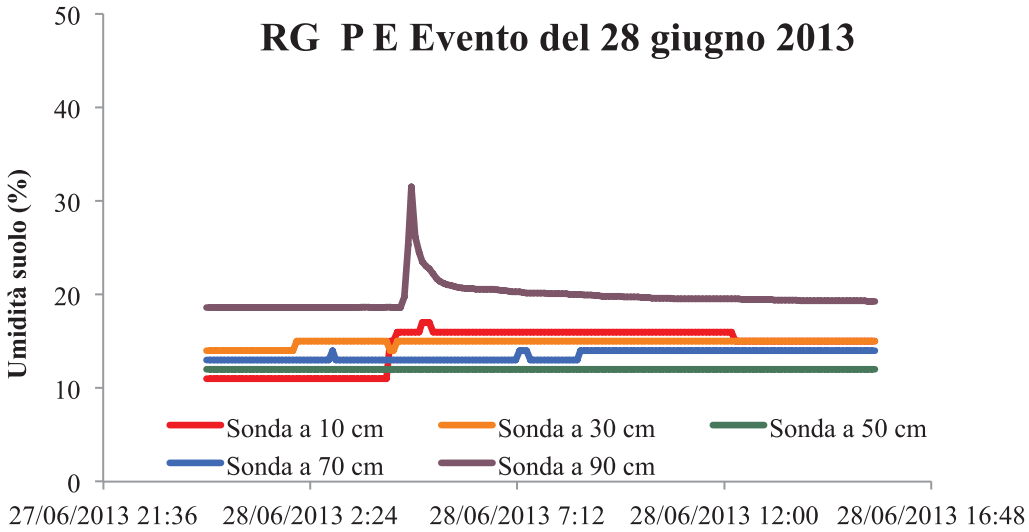


Figura 44: umidità del suolo misurata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 28 giugno 2013.

Evento dell'11 – 13 luglio 2013

Tra l'11 e il 13 luglio ci sono stati due eventi: uno di 2,6 mm nella notte tra l'11 e il 12, e uno ben più importante di 30,8 mm la sera del 13 (Fig. 45). Per il primo evento è stato registrato un picco di 1,2 mm ogni 5 minuti alle 00:10 del 12 luglio. Il secondo è durato meno di un'ora ma l'intensità delle precipitazioni è stata notevole. Il picco massimo di 9,2 mm in 5 minuti si è verificato alle 21:10.

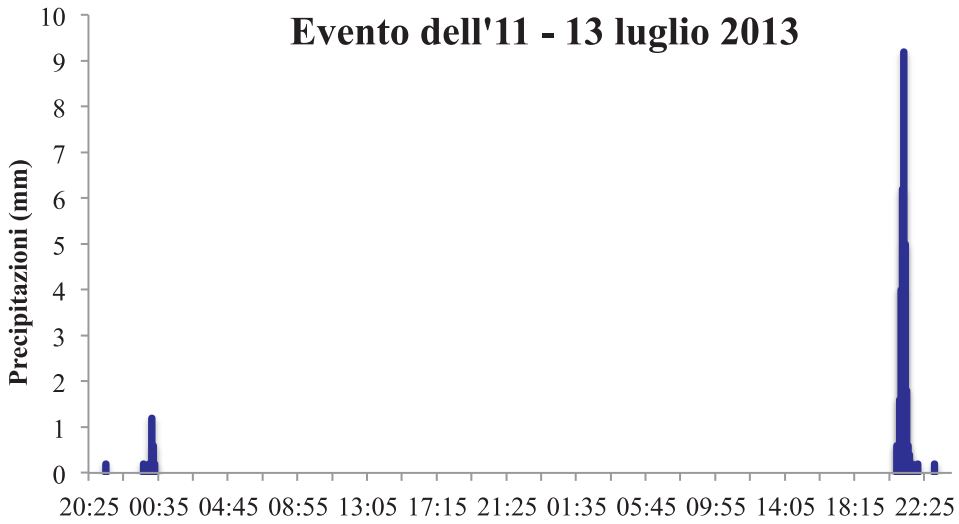


Figura 45: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti nel corso degli eventi dell'11 – 13 luglio 2013 (fonte ARPA Veneto).

Nel complesso dovevano defluire dal tetto della Centrale Tecnologica 2237,8 litri d'acqua. I volumi misurati dal piezometro sono stati pari a 2206 litri. La portata massima registrata in corrispondenza del picco di precipitazione del 13 luglio è stata di 2,85 l/s (Fig. 46). Questo è il maggior valore di portata misurato nel corso del periodo giugno – novembre.

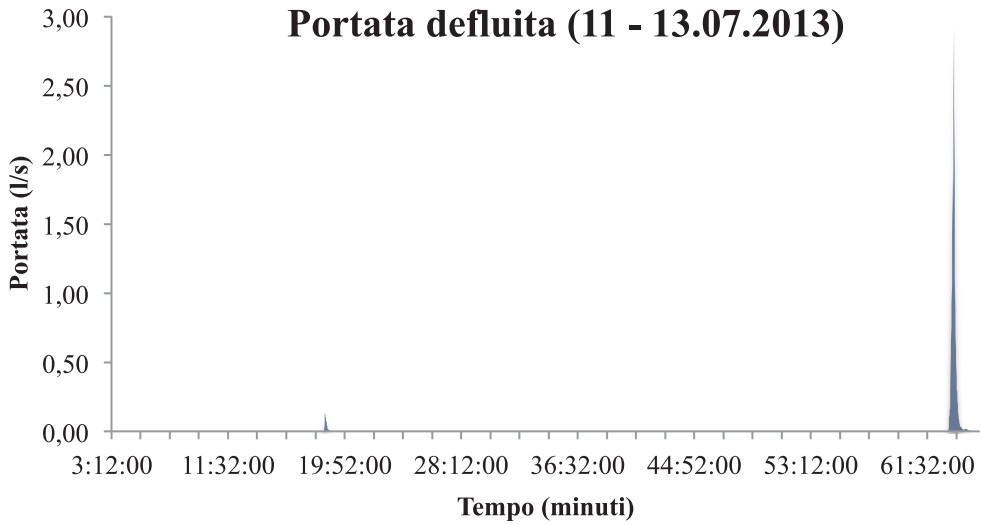


Figura 46: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso degli eventi dell'11 – 13 luglio 2013.

Nella zona centrale l'umidità ha registrato due aumenti in corrispondenza dei due eventi (Fig. 47). In generale l'aumento è stato simile a tutte le profondità. Il più

considerevole è stato a 10 cm ma al termine dell'evento, a questa profondità c'è stata la diminuzione più consistente.

Da notare che dal punto di vista dell'intensità e dei volumi defluiti, i due eventi sono stati molto diversi. L'umidità massima raggiunta è stata però simile (41% nel primo e 44% per il secondo).

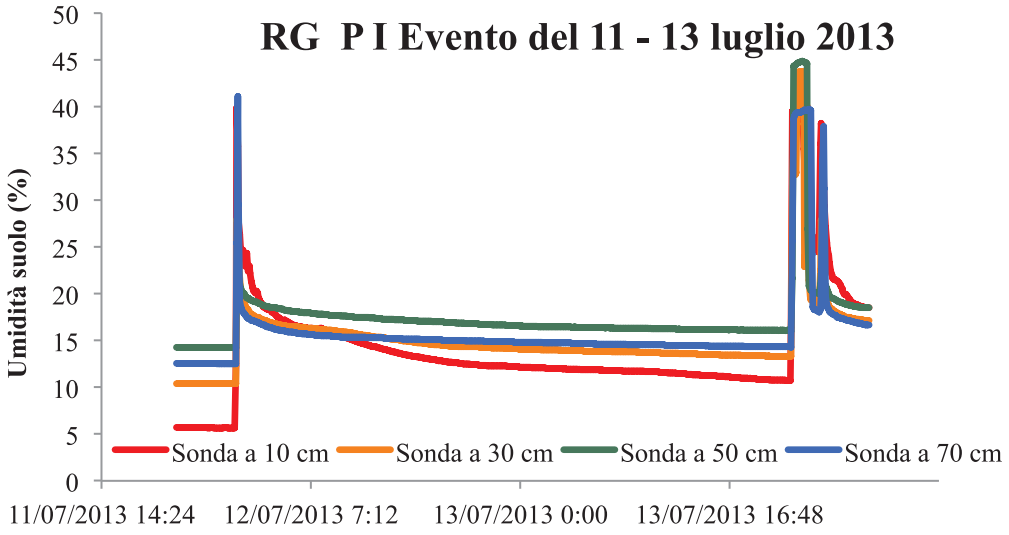


Figura 47: umidità del suolo misurata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso degli eventi dell'11 – 13 luglio 2013.

Nella zona esterna del rain garden piccolo solo i deflussi del secondo evento hanno procurato un considerevole aumento dell'umidità (Fig. 48). Osservando l'andamento dell'umidità è stato notato che prima dell'evento a 30, 50 e 70 cm questa era molto simile.

Il secondo evento ha causato un repentino aumento dei valori a tutte le profondità. I picchi raggiunti sono stati simili a quelli della zona centrale. In entrambe le zone l'umidità ha raggiunto valori di saturazione del 43-44% che corrispondono ai valori per i quali il rain garden va in ponding (allagamento di tutta la superficie del rain garden dovuto ad una intensità di deflusso non compensata da una adeguata velocità di infiltrazione (Simeoni, 2013)). Probabilmente durante questo evento una piccola parte dei volumi non è stata gestita dal rain garden ma è scolata attraverso il tubo del troppo pieno.

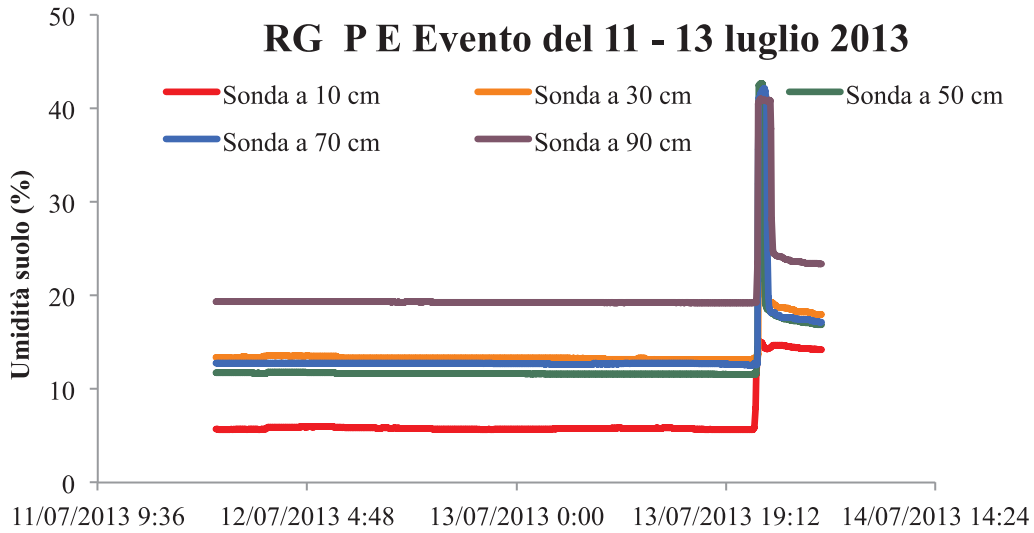


Figura 48: umidità del suolo misurata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso degli eventi dell'11 – 13 luglio 2013.

Evento del 9 – 10 agosto 2013

Nella notte tra il 9 e 10 agosto c'è stato un evento che ha prodotto 4,2 mm di pioggia (Fig. 49). Questo è stato poco intenso infatti il picco massimo è stato di 0,4 mm tra 00:05 e 00:15 che si è poi ripetuto tra 00:25 e 00:30 e alle 00:45.

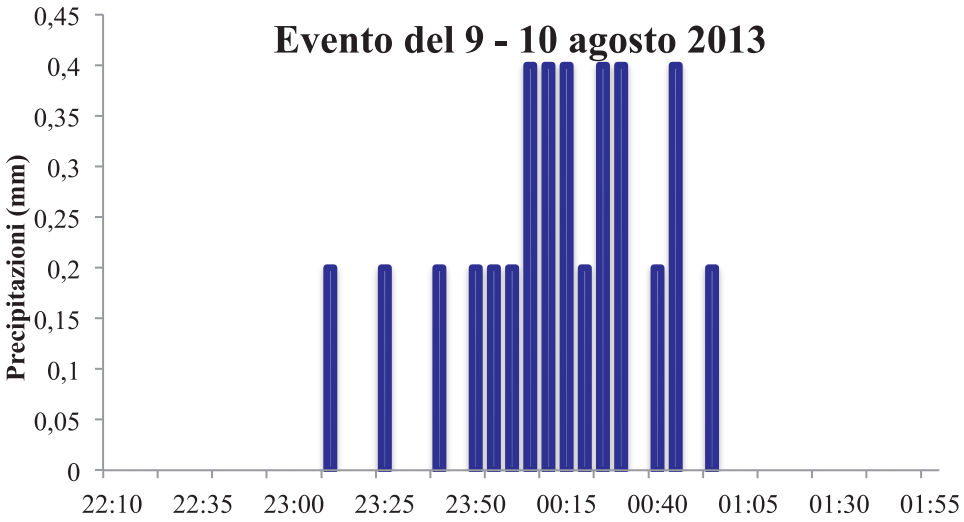


Figura 49: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti nel corso dell'evento del 9 – 10 agosto 2013 (fonte ARPA Veneto).

Nel corso dell'evento i volumi che sono transitati sul tetto sono stati pari a 281,4 litri. Il piezometro installato sulla vasca di raccolta ha misurato 274,8 litri (Fig. 50). Nel complesso tutta l'acqua è giunta al rain garden.

Osservando i dati registrati dallo strumento è stato constatato che, dopo il termine dell'evento, i deflussi si sono protratti per circa 30 minuti. In media, questa è il tempo necessario perché la portata si esaurisca.

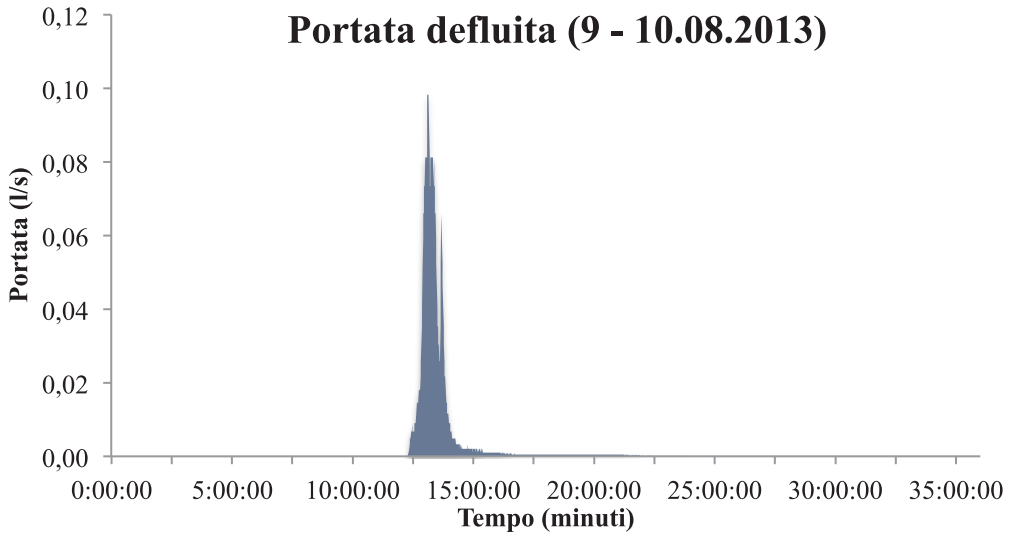


Figura 50: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 9 – 10 agosto 2013.

Nella zona centrale del rain garden, l'umidità è aumentata fino al 41% nel corso dell'evento (Fig. 51). L'andamento non è stato però uguale a tutte le profondità. A 50 cm sono stati raggiunti valori pari alla metà di quelli registrati alle altre profondità. Da notare che a 50 cm erano presenti i valori maggiori di umidità prima dell'evento. Al termine, fino a 50 cm erano uguali mentre a 70 cm si sono abbassati più velocemente.

La sonda posta a 50 cm nel corso di questo e anche altri eventi ha misurato dei valori anomali rispetto alle altre. Il motivo di queste differenze e anche di altri picchi rilevati dalle altre sonde potrebbe essere dovuto a diversi fattori. Bisogna ricordare che il substrato impiegato è uguale a tutte le profondità quindi zone in cui l'umidità rilevata è differente potrebbero essere dovute a compattamento del terreno (soprattutto in superficie), margine d'errore da parte delle sonde stesse oppure presenza di apparati radicali che svolgono un'azione di ritenzione.

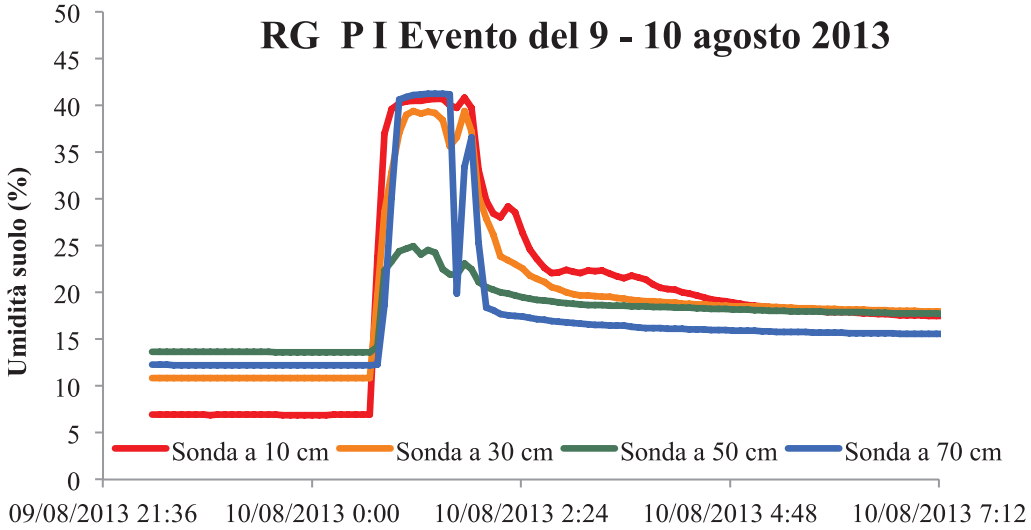


Figura 51: umidità del suolo misurata al centro del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 9 – 10 agosto 2013.

A testimonianza del fatto che l'evento è stato di scarsa rilevanza sia dal punto di vista dell'intensità che dei volumi di precipitazione le sonde poste vicine al margine non hanno registrato variazioni consistenti (Fig. 52). In questa zona molto probabilmente è giunta solo la precipitazione che è caduta direttamente sopra al rain garden che è stata pari a 44,1 litri.

Comunque l'umidità a 30, 50 e 70 cm di profondità aveva valori molto simili. Inoltre a 50 cm i valori precedenti all'evento erano simili a quelli misurati a 30 cm nella zona centrale del rain garden.

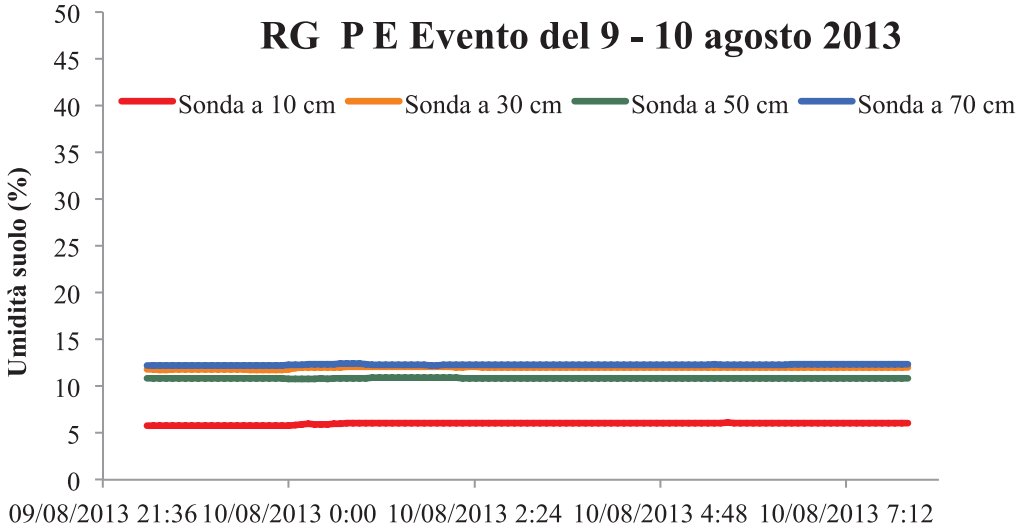


Figura 52: umidità del suolo misurata nella zona esterna del rain garden nel corso dell'evento del 9 – 10 agosto 2013.

Evento del 14 agosto 2013

Nel corso dell'evento del 14 agosto sono caduti 9,8 mm di pioggia. I picchi massimi, pari a 0,8 mm in 5 minuti sono stati raggiunti alle 9:10 e alle 9:35 (Fig. 53). Dopo tale picco l'evento è andato esaurendosi. Nel pomeriggio c'è stato un nuovo breve episodio di 15 minuti con due picchi da 0,2 mm in 5 minuti.

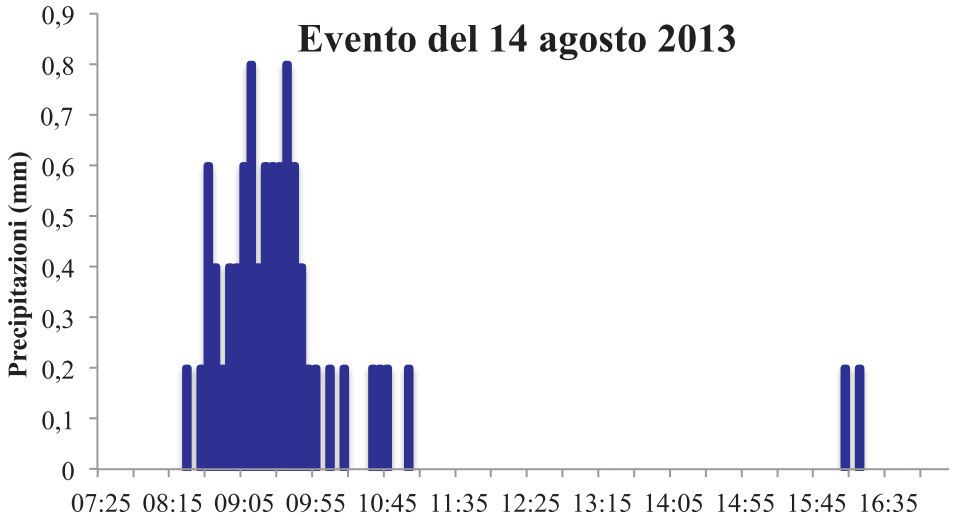


Figura 53: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti nel corso dell'evento del 14 agosto 2013 (fonte ARPA Veneto).

Il piezometro ha rilevato le portate scaturite dalle precipitazioni del mattino (Fig. 54). In totale sono stati misurati 626,8 mm contro i teorici 656,6 mm. La portata calcolata è stata di 0,2 l/s. Anche in questo caso la coda dell'evento è stata più lunga rispetto alla parte iniziale.

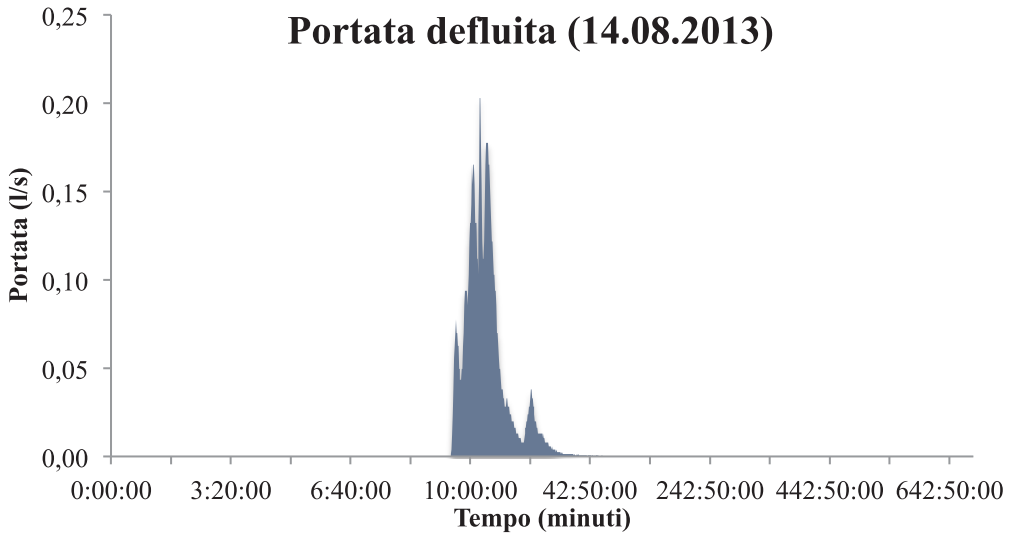


Figura 54: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 14 agosto 2013.

I valori di umidità sono aumentati in modo simile a tutte le profondità (Fig. 55). Diversamente dall'evento precedente, la sonda a 50 cm di profondità ha misurato gli incrementi maggiori arrivando al 45%. Tali valori, però, sono perdurati per un tempo inferiore rispetto alle altre zone.

Da notare, poi, che il breve fenomeno del pomeriggio non ha prodotto variazioni di umidità.

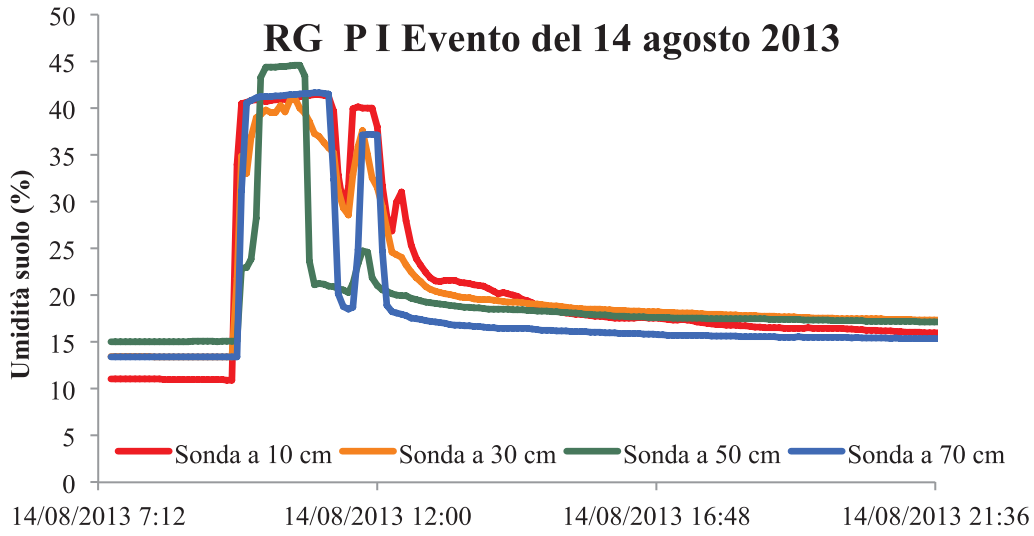


Figura 55: umidità del suolo misurata al centro del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 14 agosto 2013.

Nella parte esterna del rain garden solo la sonda posta a 30 cm di profondità ha rilevato una variazione della percentuale di umidità (Fig. 56). Tale aumento si è

verificato in corrispondenza del picco di precipitazione. Nelle ore successive, comunque i valori sono ritornati uguali a quelli precedenti all'evento.

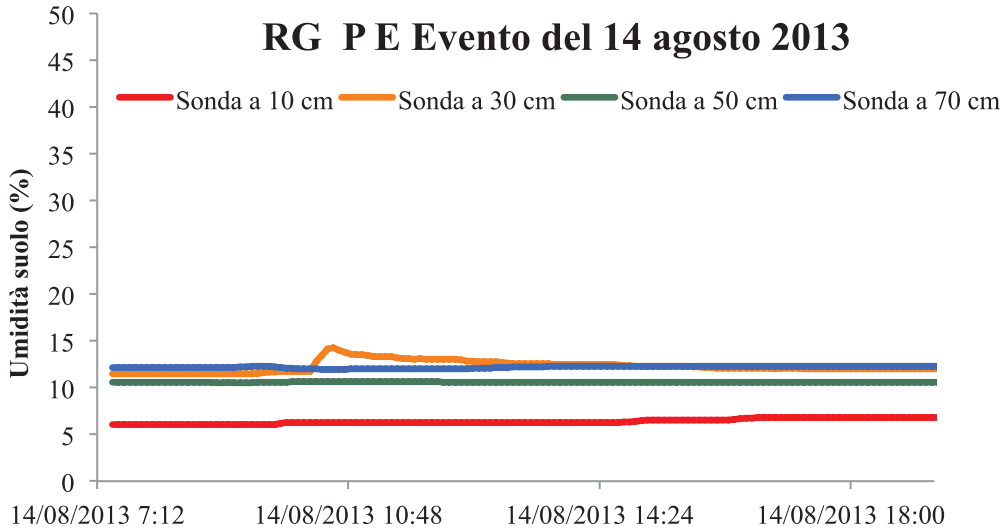


Figura 56: umidità del suolo misurata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 14 agosto 2013.

Evento del 19 – 20 agosto 2013

Complessivamente l'evento del 19 – 20 agosto 2013 è stato simile al precedente. In totale sono caduti 8,8 mm di pioggia (Fig. 57). Il picco massimo è stato raggiunto verso la fine dell'evento tra 00:05 e 00:10 quando c'è stata un'intensità di 1,2 mm.

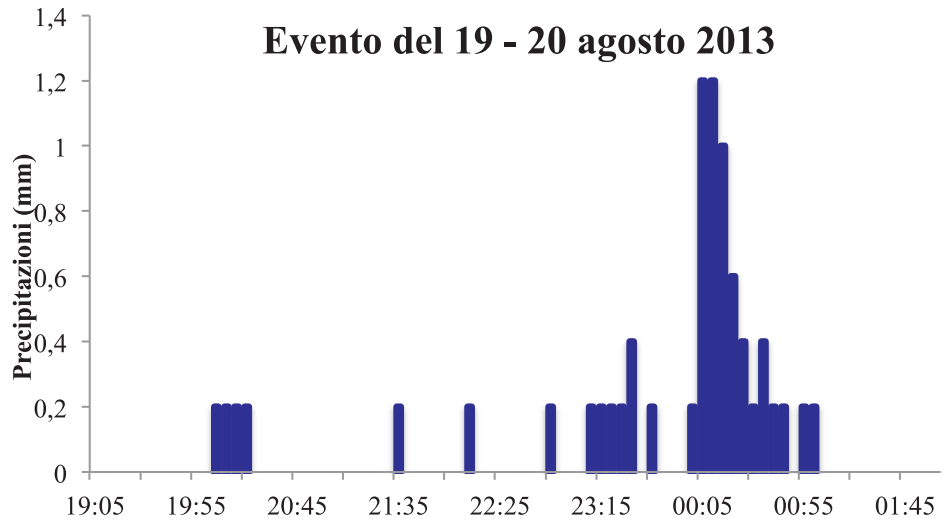


Figura 57: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti nel corso dell'evento del 19 – 20 agosto 2013 (fonte ARPA Veneto).

Il volume totale dei deflussi misurati dal piezometro è stato di 559,1 litri mentre quelli teorici erano 589,6 litri. Confrontando l'andamento delle portate (Fig. 58) e delle precipitazioni si nota come i vari picchi di precipitazione siano stati misurati dal piezometro.

Dal punto di vista dell'intensità, questo evento è stato più forte del precedente infatti ha avuto una durata inferiore e i picchi di intensità sono stati più elevati.

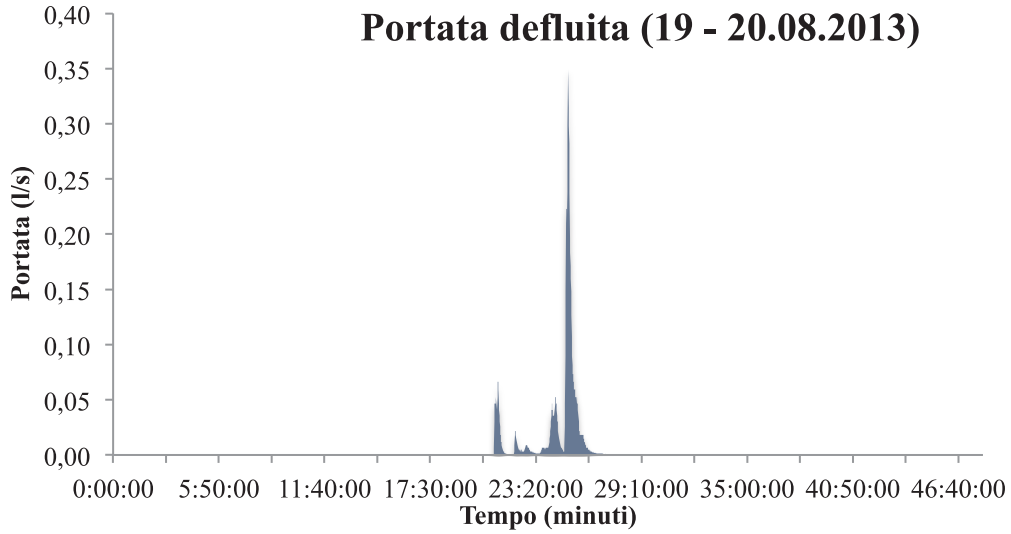


Figura 58: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 19 – 20 agosto 2013.

L'andamento dell'umidità nella zona centrale, dal punto di vista dei valori raggiunti, è stato simile a quello che era stato rilevato nell'evento precedente. Anche in questo caso la sonda a 50 cm ha rilevato l'incremento di umidità più alto (Fig. 59). Nel corso dell'evento però ci sono state molte più oscillazioni rispetto al precedente e solo la sonda a 10 cm ha mantenuto dei valori costanti per l'intera durata.

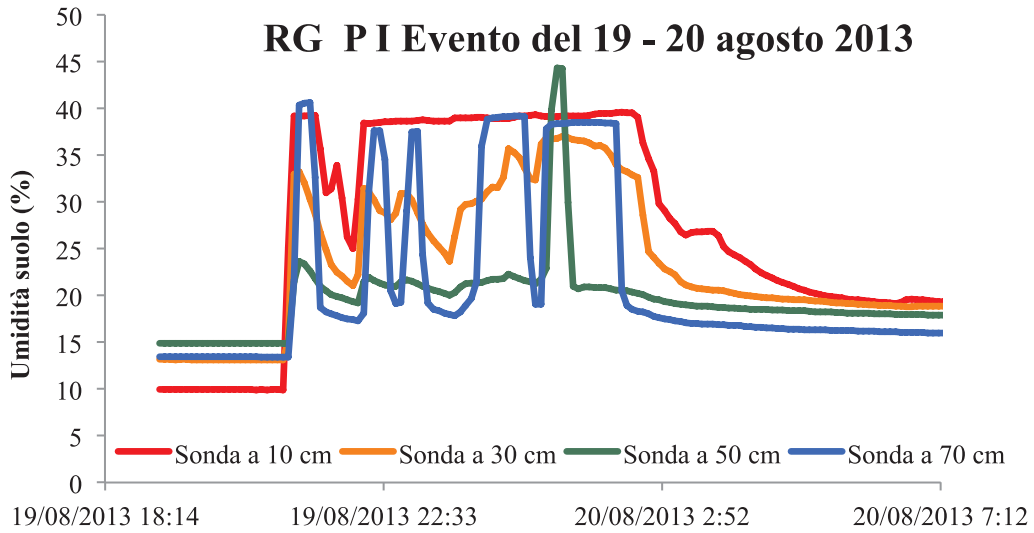


Figura 59: umidità del suolo misurata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 19 – 20 agosto 2013.

Come è stato detto in precedenza, i volumi misurati in questo evento sono stati simili a quelli del 14 agosto. In questo caso però l'intensità è stata superiore. Come nel caso precedente la sonda posta a 30 cm nella zona esterna del rain garden ha registrato una variazione dell'umidità. Questa volta però anche quella a 10 cm ha rilevato un incremento dell'umidità percentuale (Fig. 60).

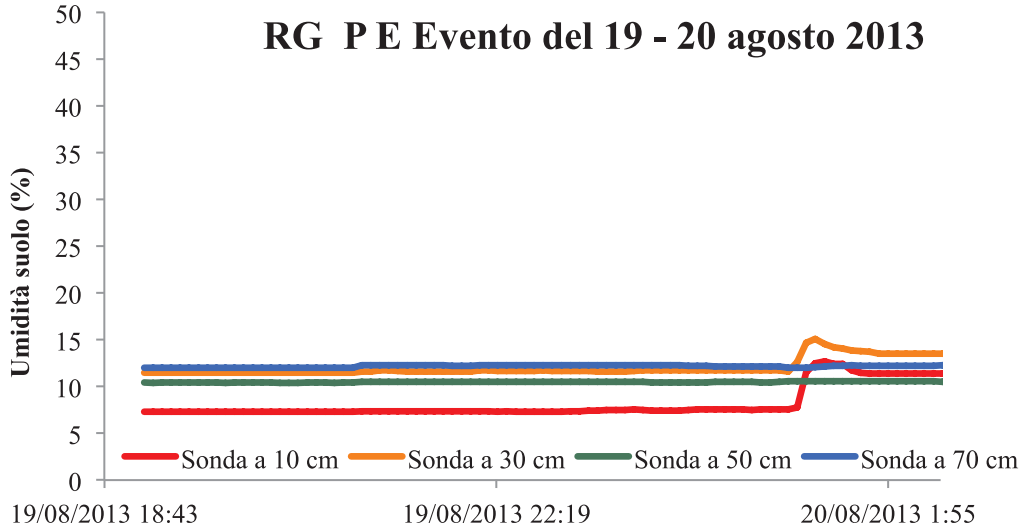


Figura 60: umidità del suolo rilevata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 19 – 20 agosto 2013.

Eventi del 24 – 29 agosto 2013

Tra il 24 e il 29 agosto si sono verificati numerosi eventi. In totale sono caduti 52,8 mm di pioggia (Fig. 61). I due eventi più importanti si sono verificati il 25 agosto con 17,2 mm e il 27 agosto con 27,8 mm. Durante quest'ultimo c'è stato anche il picco di maggiore intensità di 3,2 mm in cinque minuti registrato alle 18:20.

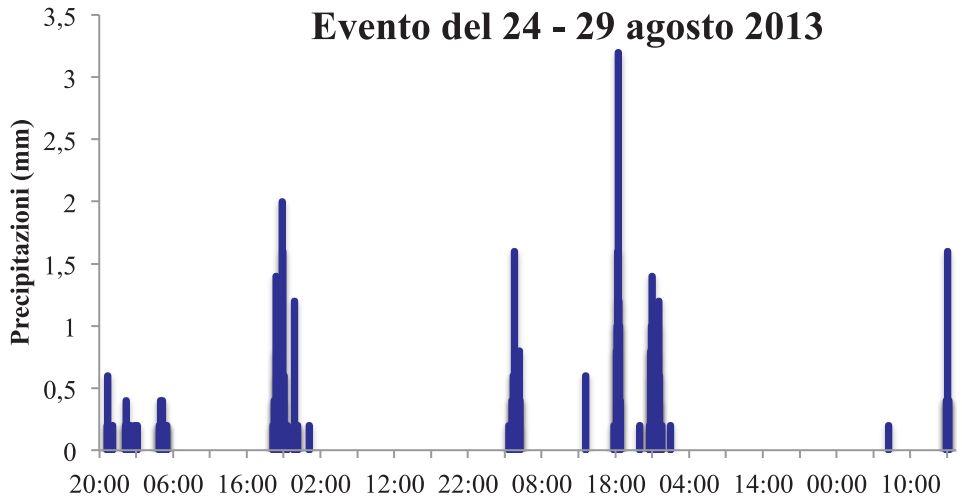


Figura 61: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti durante gli eventi del 24 – 29 agosto 2013 (fonte ARPA Veneto).

Il volume teorico defluito dal tetto è stato di 3537,6 litri. Il piezometro nel corso dei sei giorni presi in esame ha misurato un volume totale di 3498,9 litri. I due eventi più importanti sono stati quelli durante i quali sono state registrate le portate maggiori (Fig. 62). Durante il primo del 25 agosto il valore massimo di portata è stato di 0,77 l/s. nel corso dell'evento del 27 invece la portata massima è stata di 1,2 l/s.

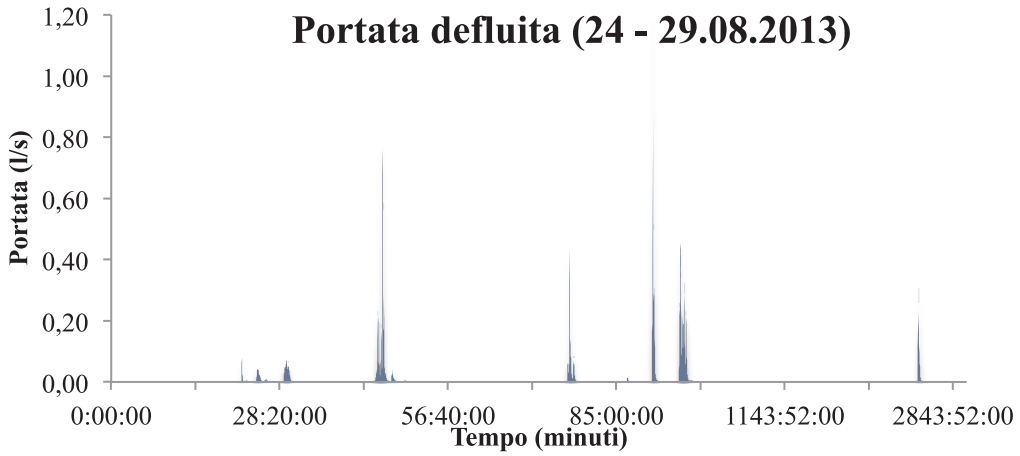


Figura 62: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso degli eventi tra il 24 e il 29 agosto 2013.

Nel corso dei vari eventi l'umidità del suolo ha subito ripetute oscillazioni (Fig. 63). In quasi tutti i casi, l'umidità ha raggiunto valori vicini al 45%. In particolare la sonda a 50 cm di profondità ha registrato i valori maggiori.

Osservando l'andamento dei valori misurati si nota che al termine degli eventi la sonda posta a 10 cm di profondità ha rilevato i valori superiori. Il fatto che l'umidità diminuisca con la profondità permette di affermare che il substrato conserva le sue capacità di drenaggio anche dopo numerosi eventi ravvicinati.

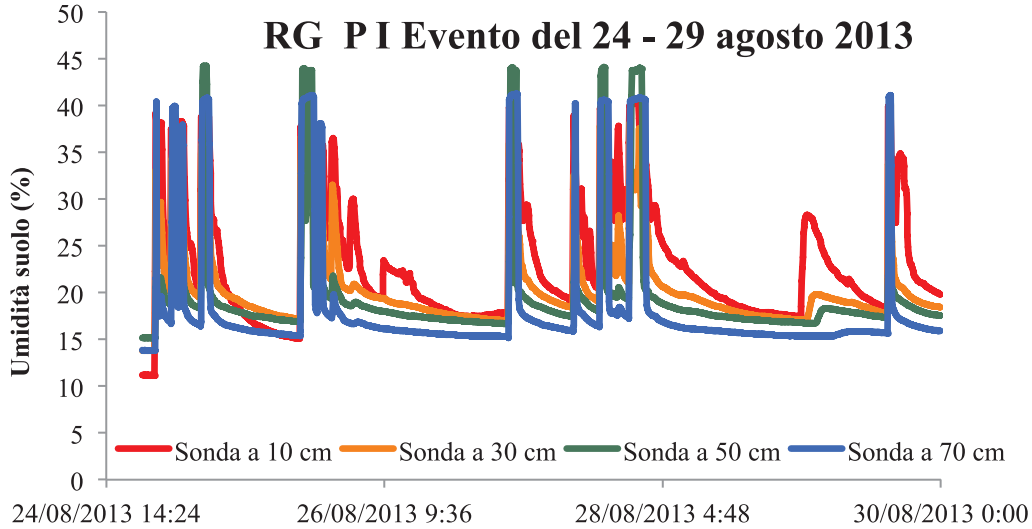


Figura 63: umidità del suolo rilevata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso degli eventi tra il 24 e il 29 agosto 2013.

Nella zona esterna del rain garden piccolo sono stati registrati dei valori via via crescenti nel corso dei sei giorni analizzati (Fig. 64). Questa tendenza è stata

uguale a tutte le profondità. Si è passati da valori di umidità compresi tra il 10 e il 12% all'inizio del periodo a 14-15% della fine.

Nel corso dell'evento del 27, durante il quale è stata registrata dal piezometro la portata più elevata, i valori misurati dalla sonda posta a 70 cm di profondità sono risultati simili a quelli della sonda posta a 50 cm nella zona centrale. Questi sono stati compresi tra 41% della zona esterna e 44% di quella interna. In base a questo fatto si può affermare che nel corso dell'evento i livelli di umidità a 50 cm sono giunti a livelli vicini a quelli di saturazione. Come testimonia la repentina diminuzione dell'umidità al termine dell'evento l'acqua si è infiltrata velocemente nel substrato e poi nel suolo naturale.

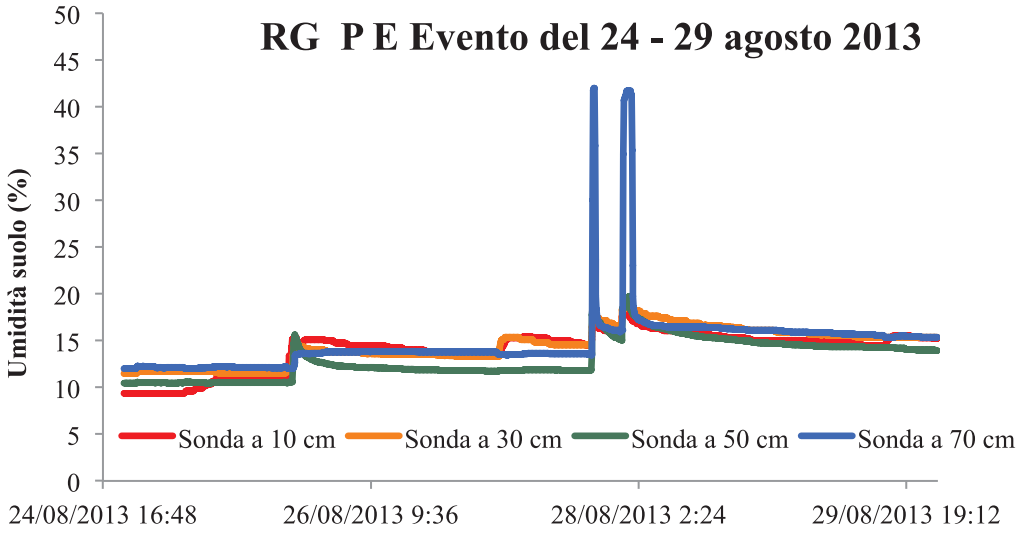


Figura 64: umidità del suolo rilevata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso degli eventi tra il 24 e il 29 agosto 2013.

Eventi del 15 – 17 settembre 2013

Tra il 15 e il 17 settembre ci sono stati degli eventi di scarsa intensità che hanno determinato una precipitazione totale di 3,8 mm (Fig. 65). Il 17 settembre alle 4:05 è stato registrato il picco di precipitazione con 0,4 mm in cinque minuti.

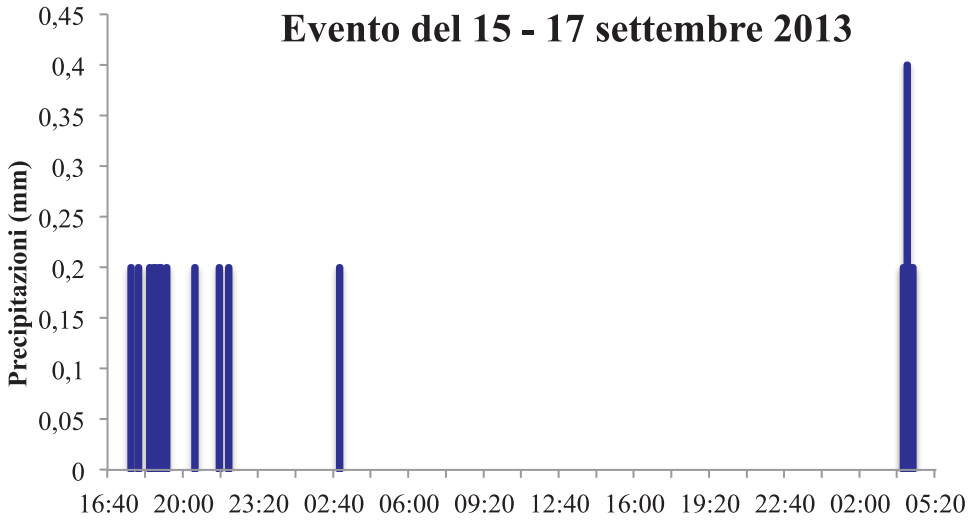


Figura 65: valore delle precipitazioni rilevato ogni cinque minuti nel corso degli eventi tra il 15 e 17 settembre 2013 (fonte ARPA Veneto).

Complessivamente nel corso dei tre giorni sono defluiti verso il rain garden 254,6 litri. Il piezometro installato nella vasca a stramazzo ha rilevato un volume di 243 litri (Fig. 66). Tutta l'acqua è quindi defluita verso il rain garden.

Nel corso dell'evento del 17 settembre è stata misurata la portata più elevata che è stata pari a 0,09 l/s.

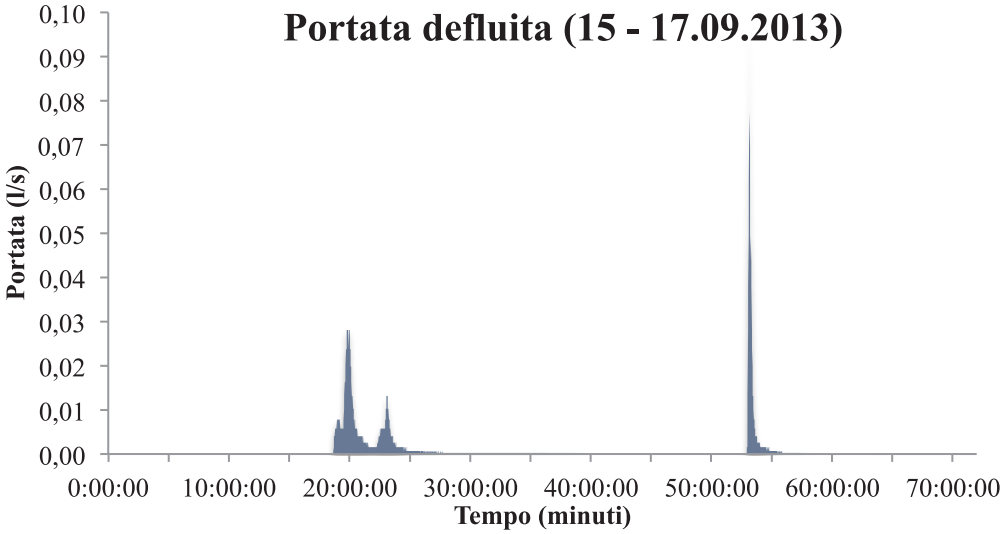


Figura 66: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso degli eventi tra il 15 e 17 settembre 2013.

Nella zona centrale del rain garden sono stati rilevati tre picchi di umidità tra il 15 e il 17 settembre (Fig. 67). Questi sono coincisi con i tre eventi meteorici. In tutti e tre i casi è stato raggiunto il 40 % di umidità a tutte le profondità.

Dopo il secondo evento, l'umidità è diminuita in modo considerevole. In particolare la sonda a 10 cm di profondità ha registrato la diminuzione più importante. La sonda posta a 30 cm non ha registrato la medesima variazione. Anzi si può notare che a questa profondità l'umidità ha mantenuto valori leggermente più elevati rispetto alle altre. Questo fatto si è verificato in modo ricorrente dopo gran parte degli eventi analizzati. Probabilmente questo è dovuto al fatto che tra i 20 e 30 cm di profondità sono presenti la maggior parte delle radici che sono in grado di esercitare una certa azione di ritenzione idrica.

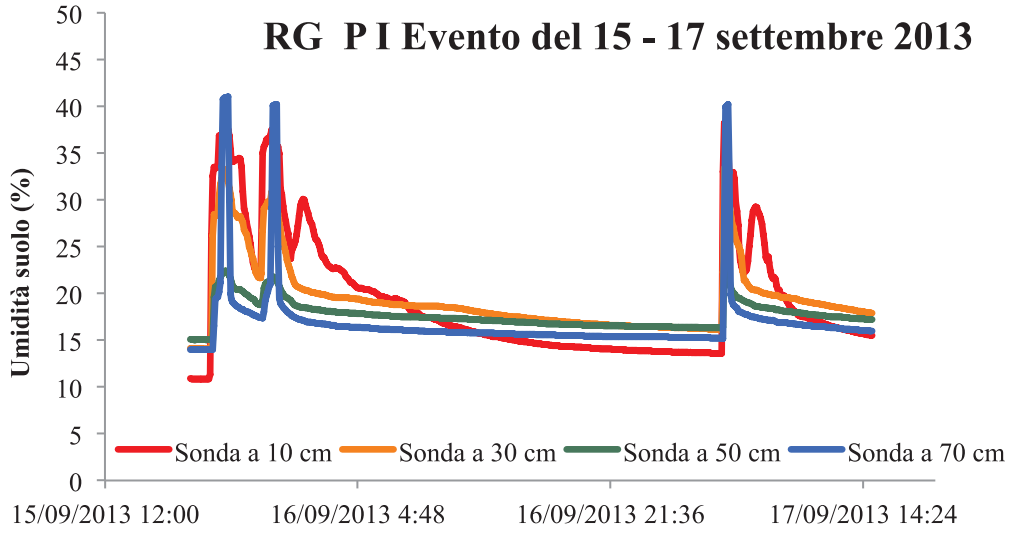


Figura 67: umidità del suolo rilevata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso degli eventi tra il 15 e 17 settembre 2013.

Tra il 15 e il 17 settembre l'umidità della zona esterna del rain garden piccolo non ha subito variazioni apprezzabili (Fig. 68). I ridotti volumi defluiti dal tetto e le esigue precipitazioni che sono cadute sul rain garden non hanno influenzato l'umidità in questa zona.

Anche in questo caso a 30 cm di profondità i valori sono superiori rispetto a 10 e 50 cm.

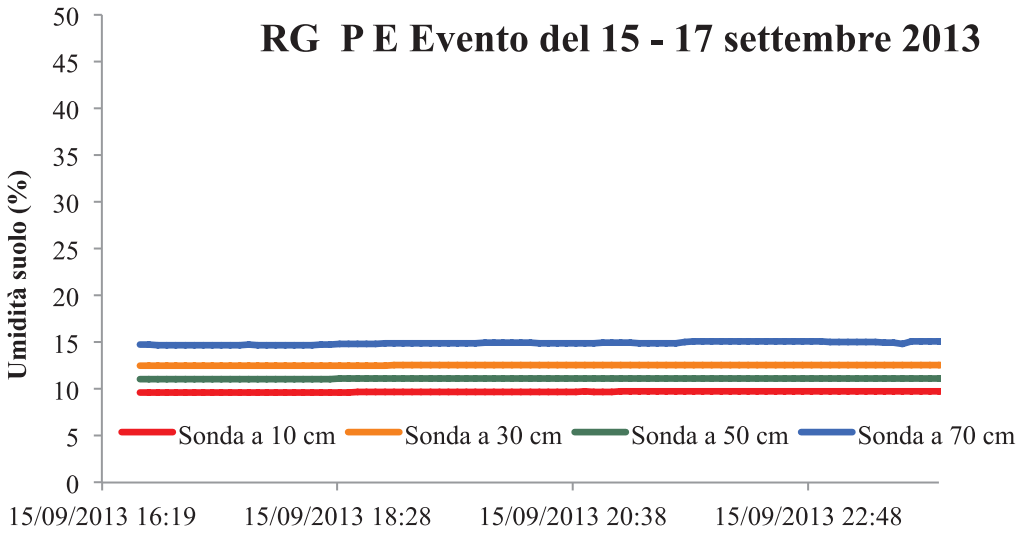


Figura 68: umidità del suolo rilevata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso degli eventi tra il 15 e 17 settembre 2013.

Evento del 29 – 30 settembre 2013

Tra il 29 e 30 settembre sono caduti complessivamente 43,4 mm. Nel corso dell'evento sono stati registrati due picchi di precipitazione. Il primo alle 17:00 del 29 settembre e il secondo alle 00:40 del 30 settembre (Fig. 69). In entrambi i casi sono stati registrati 1,4 mm in cinque minuti. Questo è stato un evento importante considerando anche che nel corso dei trenta giorni precedenti erano caduti solo 5,8 mm di pioggia.

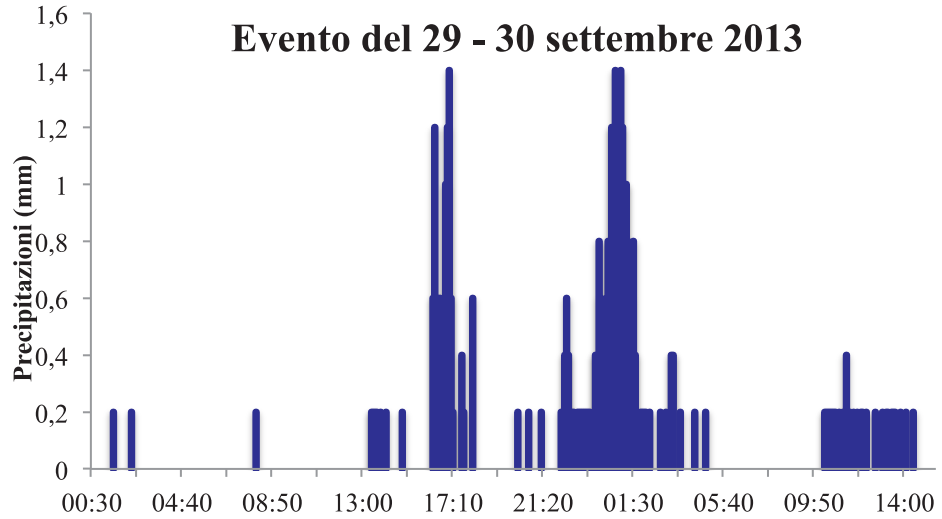


Figura 69: valori di precipitazione misurati ogni cinque minuti nel corso dell'evento del 29 – 30 settembre 2013 (fonte ARPA Veneto).

In totale il piezometro ha misurato un volume totale di 2886,9 litri. Il volume teorico era di 2907,8 litri. L'acqua è quindi defluita completamente verso il rain garden.

Osservando l'andamento della portata si nota che, nonostante ci siano stati due picchi con la medesima intensità di precipitazione, solo il secondo ha prodotto un forte aumento della portata (Fig. 70). Questa è risultata pari a 0,35 l/s nel secondo picco e 0,07 l/s nel primo.

Questo è stato causato probabilmente dal fatto che il picco del 30 settembre è stato preceduto da precipitazioni più consistenti rispetto a quelle che si erano verificate nei minuti precedenti al primo.

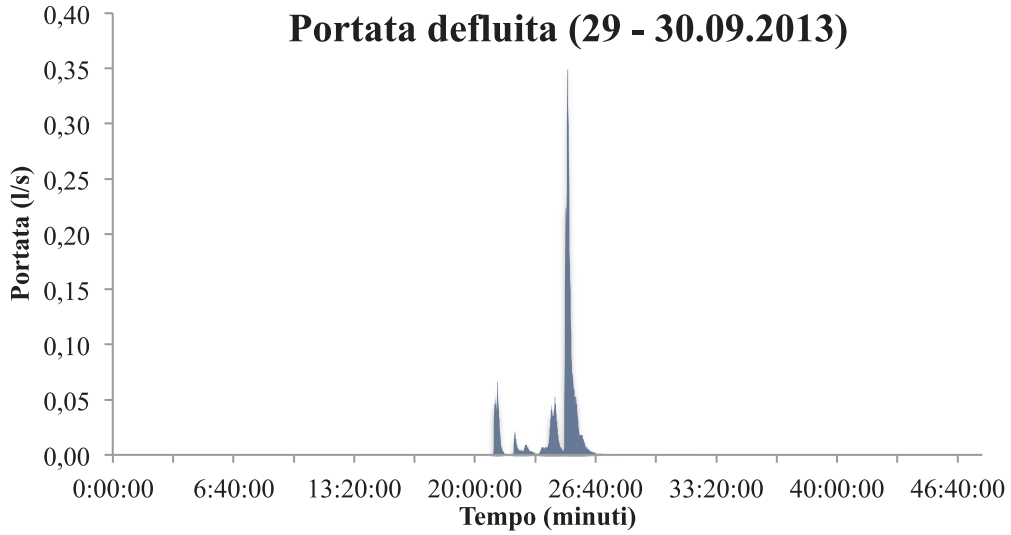


Figura 70: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 29 – 30 settembre 2013.

Come per gli eventi precedenti, nella zona centrale del rain garden piccolo c'è stato un considerevole aumento dei valori di umidità (Fig. 71). Da notare che tra la prima e la seconda parte dell'evento (quindi tra le 17:00 e 00:40) la percentuale di umidità è scesa da valori vicini al 45% a valori inferiori al 20% nella zona prossima ai 50 cm di profondità. Questo fenomeno è molto importante e indica che il substrato ha una elevata capacità di drenaggio.

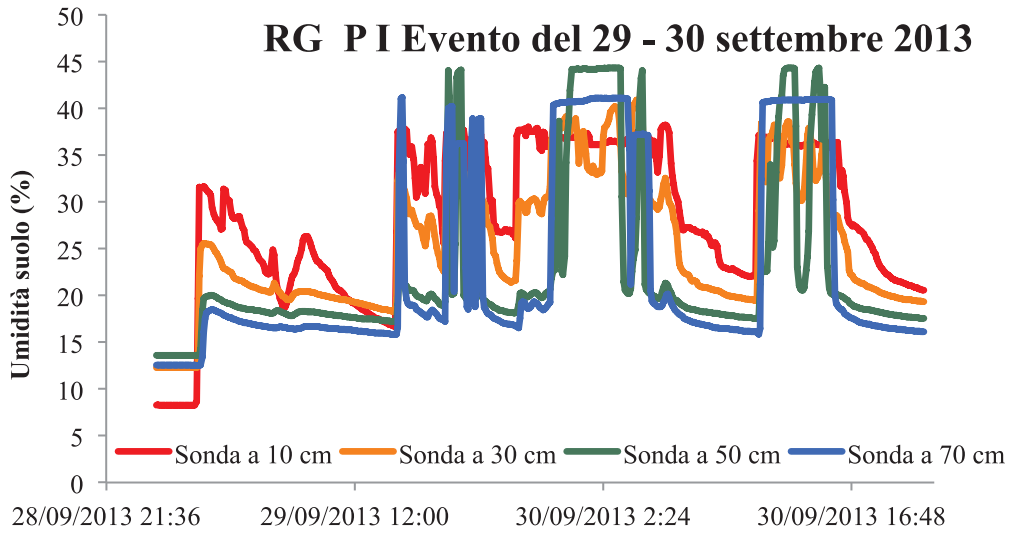


Figura 71: umidità del suolo rilevata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 29 – 30 settembre 2013.

Nella zona esterna del rain garden piccolo l'umidità è progressivamente aumentata nel corso dell'evento (Fig. 72). In particolare i livelli massimi sono stati raggiunti nel corso del picco di 00:40 durante il quale l'umidità ha raggiunto valori vicini al 20% a 10, 30 e 50 cm di profondità. A 70 cm invece l'umidità è arrivata al 41%. Il permanere, seppur per un breve periodo, di valori elevati di umidità sia all'interno che all'esterno può far ipotizzare che dopo gli eventi più intensi ci sia il fenomeno della "falda sospesa".

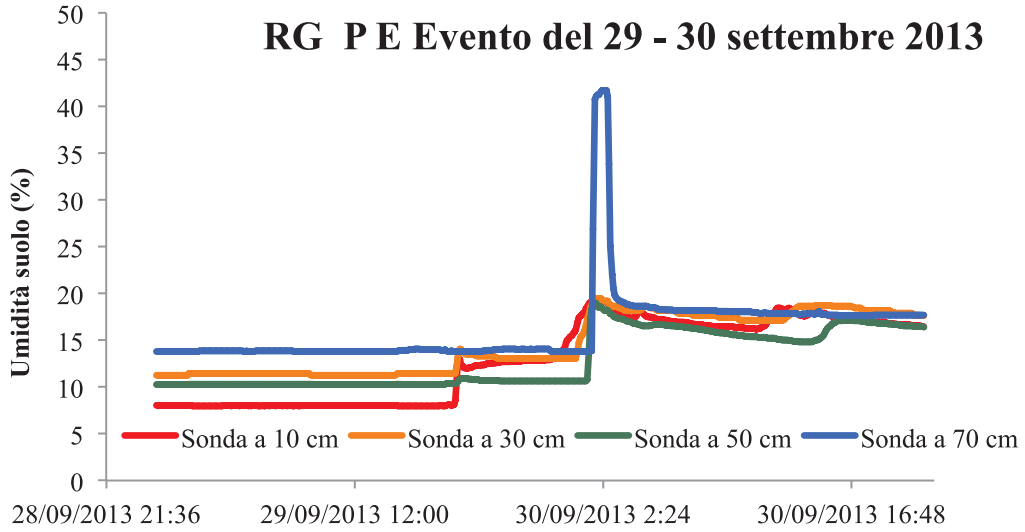


Figura 72: umidità del suolo rilevata nel rain garden piccolo nel corso dell'evento del 29 – 30 settembre 2013.

Evento del 5 – 8 ottobre 2013

Tra il 5 e l'8 ottobre si sono susseguiti una serie di eventi piovosi (Fig. 73). In particolare sono stati individuati cinque fenomeni:

- il primo nella notte del 5 ottobre durante il quale sono caduti 4,2 mm;
- il secondo durante la mattina e il pomeriggio del 6 ottobre durante il quale sono caduti 13,6 mm;
- il terzo nella notte tra il 6 e il 7 ottobre durante il quale sono caduti 26,4 mm;
- il quarto nella notte dell'8 ottobre durante il quale sono caduti 3,8 mm
- il quinto nel pomeriggio dell'8 ottobre durante il quale sono caduti 12,2 mm.

In totale durante le quattro giornate sono caduti 56,4 mm. L'evento più importante è stato quello della notte tra il 6 e 7. Il picco di precipitazione è stato di 1 mm di pioggia in cinque minuti ed è stato raggiunto alle 00:10 e alle 01:05.
Il picco più elevato è però stato raggiunto durante il quarto evento quando alle 4:25 c'è stato un picco di 1,2 mm di pioggia in cinque minuti.

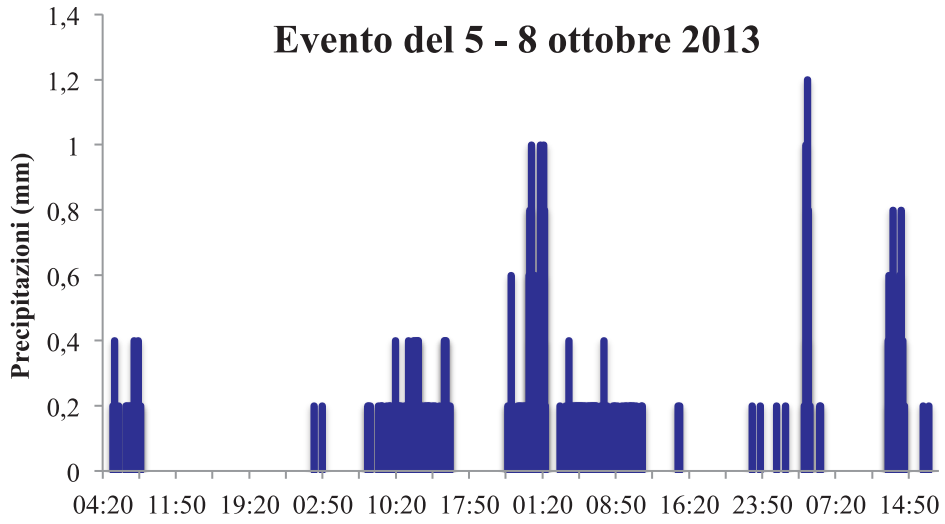


Figura 73: valori di precipitazione misurati ogni cinque minuti nel corso degli eventi tra il 5 e 8 ottobre 2013 (fonte ARPA Veneto).

Il piezometro installato nella vasca a stramazzo ha misurato un volume totale di 3733,6 litri. Dal confronto tra l'andamento delle precipitazioni e le portate misurate, (Fig. 74) si nota una volta di più che la taratura eseguita ha permesso di

ottenere dei risultati corretti. Tra i due parametri si nota, infatti, una certa relazione.

Le portate maggiori sono poi state misurate durante il terzo e quarto evento quando l'intensità è stata maggiore. Per i picchi da 1 mm la portata è stata di 0,34 l/s mentre per il picco da 1,2 mm la portata è stata di 0,41 l/s.

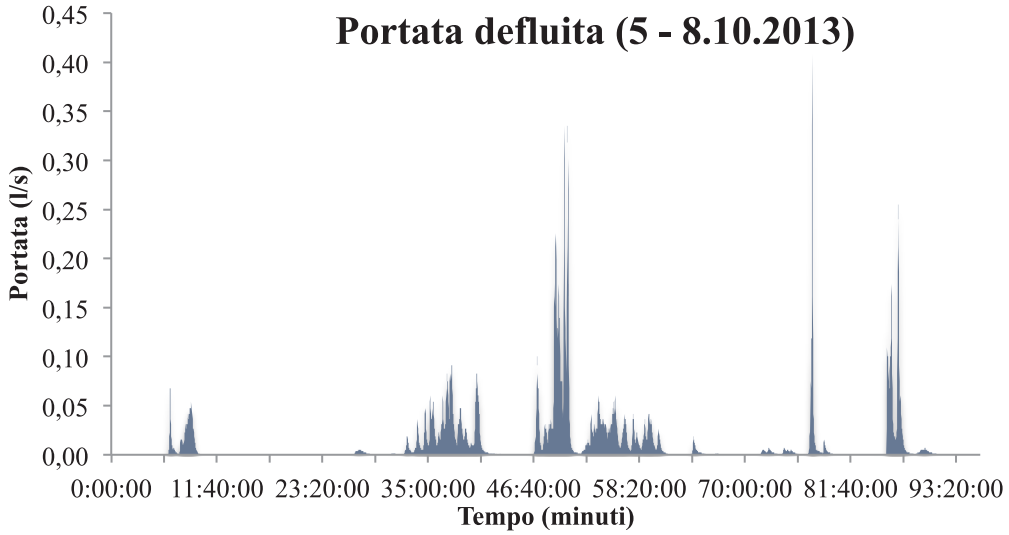


Figura 74: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso degli eventi tra il 5 e l'8 ottobre 2013.

Come è accaduto per tutto gli altri eventi, nella zona centrale del rain garden piccolo sono state misurate numerose oscillazioni dell'umidità a tutte le profondità (Fig. 75). Nonostante gli eventi siano stati molto ravvicinati, si nota come l'umidità sia diminuita sempre al termine delle precipitazioni. Inoltre solo a 50 cm di profondità l'umidità è arrivata al 44%. A profondità diverse invece sono stati raggiunti valori di poco superiori al 40%.

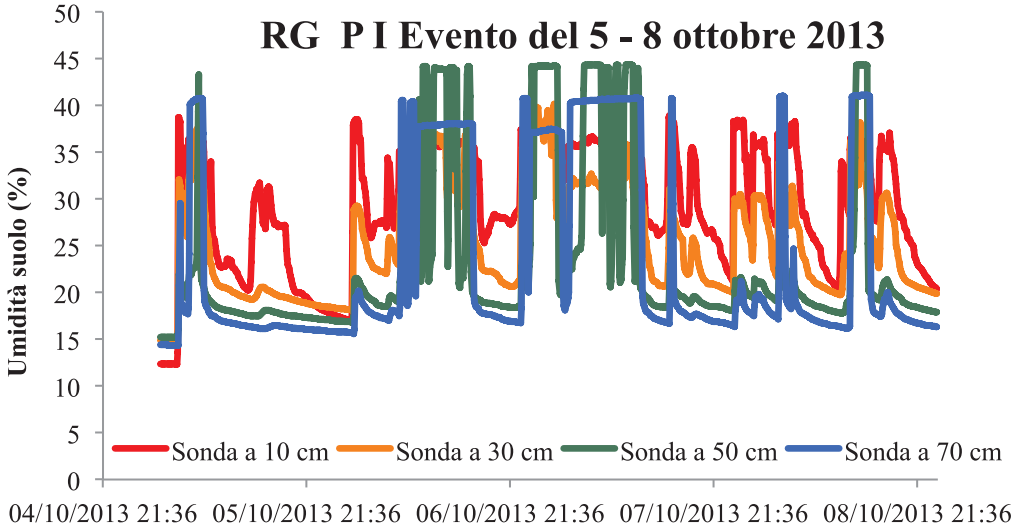


Figura 75: umidità del suolo rilevata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso degli eventi tra il 5 e l'8 ottobre 2013.

Nella zona esterna del rain garden piccolo tutti gli eventi hanno favorito l'aumento dei livelli di umidità (Fig. 76). Questi, come nei casi precedenti sono stati meno marcati rispetto alla zona centrale. Solo a 70 cm di profondità l'umidità raggiunta nel corso del terzo evento è stata simile a quella misurata nella zona centrale alla medesima profondità.

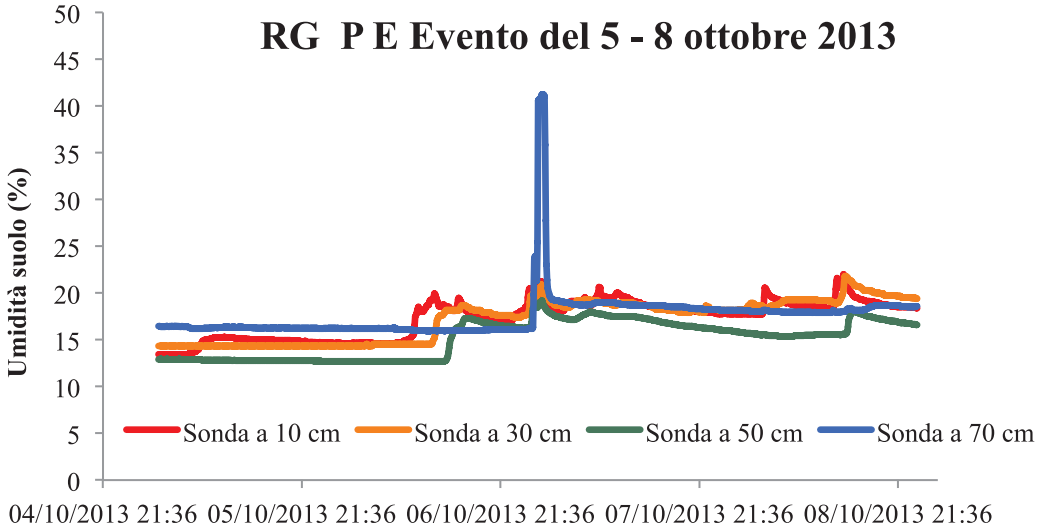


Figura 76: umidità del suolo rilevata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso degli eventi tra il 5 e l'8 ottobre 2013.

Evento del 20 ottobre 2013

Nel pomeriggio del 20 ottobre si è verificato un evento piovoso di forte intensità. In totale sono caduti 30,6 mm di pioggia e ci sono stati due picchi importanti. Il primo di 3,4 mm di pioggia in cinque minuti alle 17:00 e il secondo di 2,2 alle 17:25 (Fig. 77).

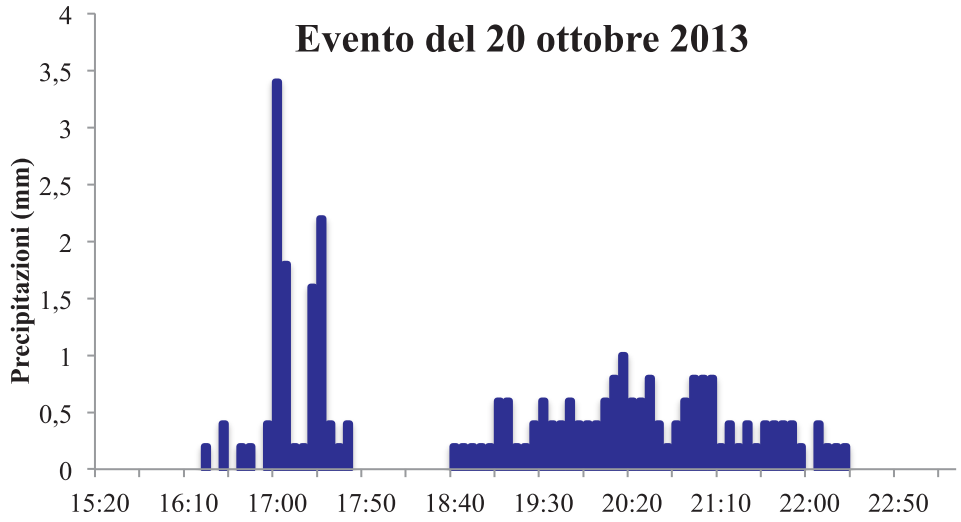


Figura 77: valori di precipitazione misurati ogni cinque minuti nel corso dell'evento del 20 ottobre 2013 (fonte ARPA Veneto).

Il piezometro ha misurato un volume totale di 2049,6 litri. Le portate misurate in corrispondenza dei due picchi di precipitazione sono state di 1,91 l/s e 1,2 l/s (Fig. 78). Valori di tali proporzioni erano stati raggiunti solo nel corso dell'evento del 13 luglio 2013.

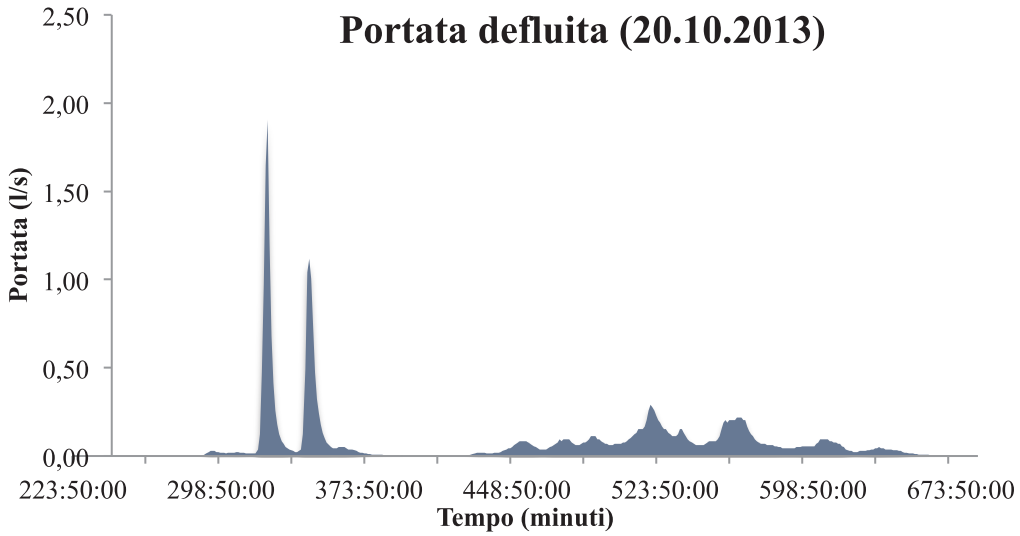


Figura 78: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 20 ottobre 2013.

Nella zona centrale del rain garden piccolo l'umidità è aumentata durante l'evento (Fig. 79). Da notare però che questa volta i valori non sono stati simili a tutte le profondità.

A 10 cm di profondità la sonda ha misurato dei valori di poco inferiori al 40%. Ciò che è più importante è che questi sono rimasti molto elevati tra la prima fase dell'evento (terminato verso le 17:30) e la seconda fase (iniziata verso le 19:30).

A 30 cm di profondità le oscillazioni misurate sono state numerose. Comunque i picchi raggiunti sono stati più bassi rispetto alle altre quote ed inoltre sono durati per meno tempo. A 50 cm di profondità c'è stato un forte aumento dell'umidità durante la prima parte dell'evento. I livelli sono però rapidamente scesi nella pausa che ha preceduto la seconda fase per poi risalire fino al 44%.

I livelli di umidità raggiunti a 70 cm di profondità sono stati simili a quelli misurati dalla sonda posta a 10 cm. Al termine della prima fase dell'evento, però, l'umidità è scesa solo al 20%.

Il substrato ha raggiunto quindi la saturazione nella zona centrale ma l'acqua con estrema velocità si è infiltrata nel terreno. L'andamento delle curve risulta infatti simile all'inizio e alla fine delle precipitazioni. Solo a 10 cm di profondità i livelli si sono mantenuti elevati. Una spiegazione di tale andamento può essere data considerando che l'esaurimento delle portate dopo un evento è molto lungo. È stato visto, infatti, che sullo stramazzo permangono per lungo tempo carichi di 1-2 mm. Analizzando le portate è stato visto che tra la prima e la seconda parte

dell'evento solo per 43 minuti non sono stati misurati deflussi. L'umidità misurata dalla sonda posta a 10 cm di profondità è stata probabilmente influenzata da questo lento esaurimento del fenomeno durante il quale le portate erano inferiori a 0,01 l/s.

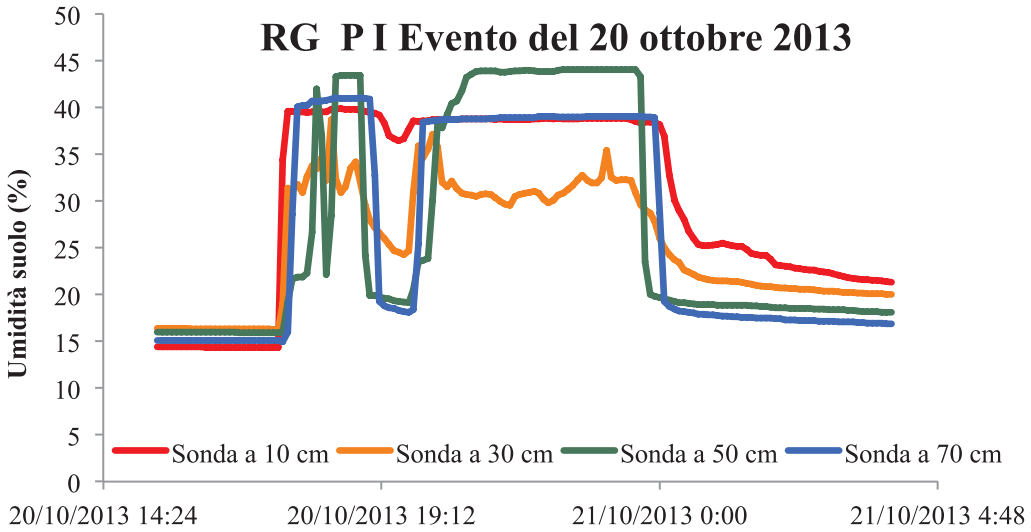


Figura 79: umidità rilevata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 20 ottobre 2013.

Nella zona esterna del rain garden piccolo l'umidità è aumentata progressivamente durante l'evento (Fig. 80). Come nei casi precedentemente analizzati, a 70 cm di profondità sono stati raggiunti dei livelli simili a quelli rilevati dalla sonda a 50 cm posta nella zona centrale. È interessante notare che il tempo durante il quale ci sono stati tali valori corrisponde circa alla metà rispetto al centro ed inoltre il picco cala molti minuti prima.

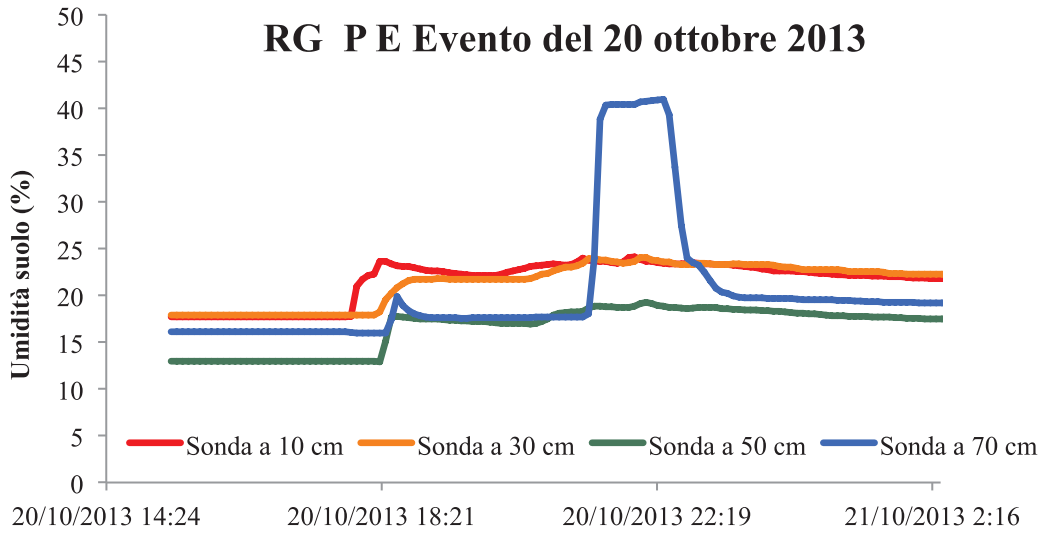


Figura 80: umidità rilevata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 20 ottobre 2013.

Evento del 14 – 15 novembre 2013

Nel corso dell'evento che si è verificato tra il 14 e 15 novembre sono caduti 41 mm di pioggia. Le precipitazioni sono state comprese tra 0,2 e 0,4 mm di pioggia ogni cinque minuti e c'è stato un solo picco di 1 mm di pioggia in cinque minuti alle 7:10 (Fig. 81).

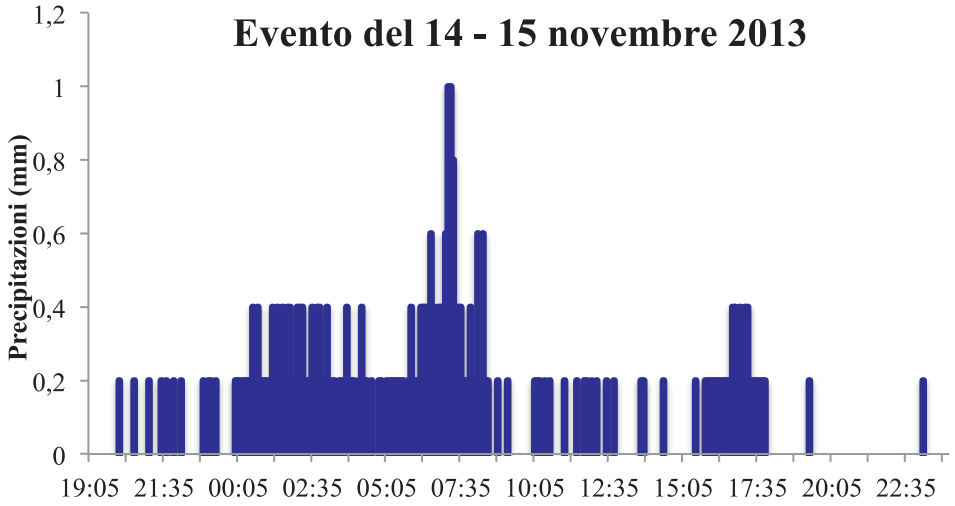


Figura 81: valori di precipitazioni rilevati ogni cinque minuti nel corso dell'evento del 14 – 15 novembre 2013 (fonte ARPA Veneto).

Il piezometro ha misurato un volume totale di 2734,1 litri. Il valore teorico era di 2747 quindi anche questa volta il margine di errore è stato molto basso. La portata

media dell'evento è stata di 0,03 l/s mentre quella massima è stata di 0,26 l/s (Fig. 82).

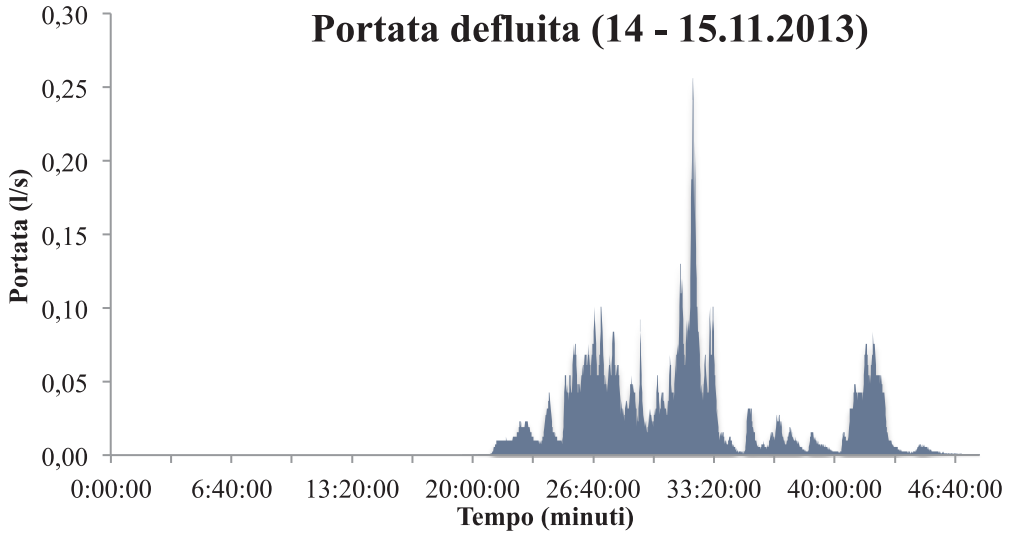


Figura 82: andamento della portata defluita nel rain garden rilevata dal piezometro nel corso dell'evento del 14 – 15 novembre 2013.

Come per l'evento precedente, l'umidità rilevata nella zona centrale ha subito numerose oscillazioni a 30, 50 e 70 cm di profondità mentre a 10 cm è rimasta costante (Fig. 83). Rispetto agli eventi che si sono verificati nel corso dell'estate si nota che i valori raggiunti sono stati più bassi a 10 e 30 cm mentre nelle zone più profonde sono stati raggiunti ugualmente livelli più alti.

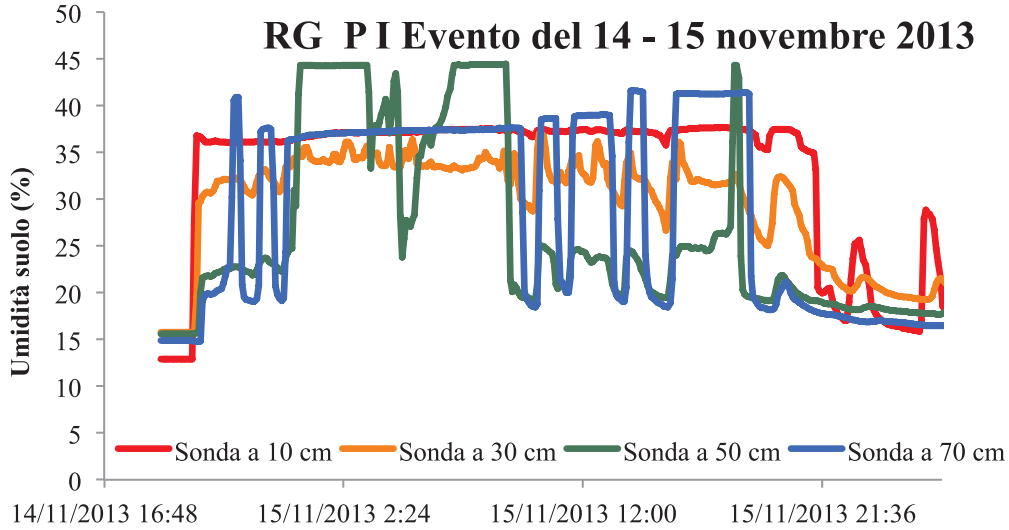


Figura 83: umidità del suolo rilevata nella zona centrale del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 14 – 15 novembre 2013.

Nella zona esterna del rain garden piccolo i livelli di umidità sono cresciuti progressivamente durante l'evento (Fig. 84).

La sonda che ha rilevato per prima la variazione è stata quella posta a 10 cm e di seguito quelle a profondità superiori. Contrariamente a quello che era accaduto nel corso degli ultimi eventi analizzati non c'è stato il forte aumento dell'umidità a 70 cm. Questo significa che il substrato non è andato in saturazione probabilmente perché la portata non è stata eccessivamente elevata e l'infiltrazione è avvenuta nella zona più prossima al centro.

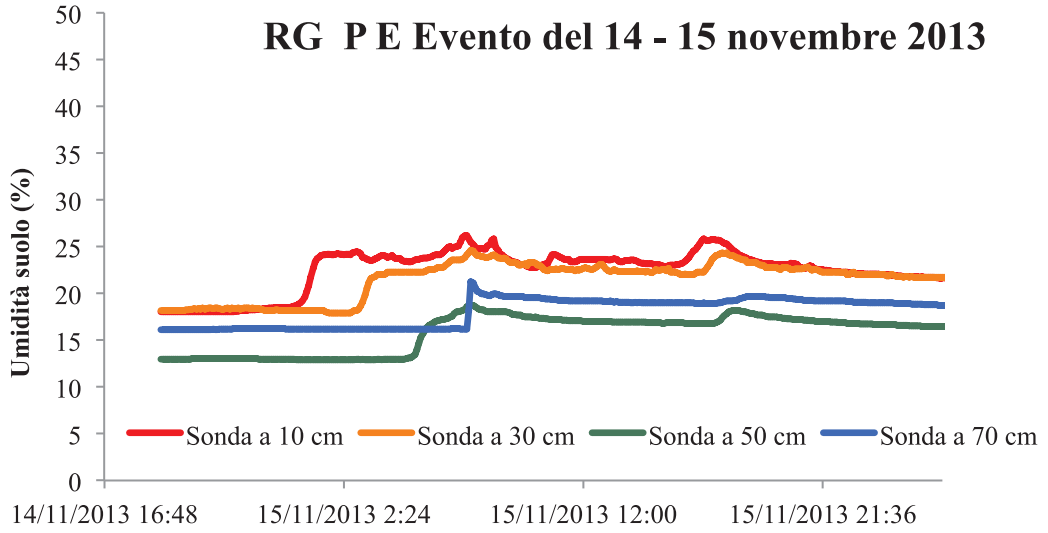


Figura 84: umidità rilevata nella zona esterna del rain garden piccolo nel corso dell'evento del 14 – 15 novembre 2013.

Bilancio idrico

Considerando il rain garden come un elemento dai confini definiti, è possibile stilare un bilancio idrico semplificato utile per valutare la sua capacità di gestione dei deflussi.

L'ammontare delle precipitazioni che ci sono state nel semestre giugno – novembre 2013 è stato di 389,2 mm. In totale sono giunti nel rain garden piccolo 30160 litri, dei quali 4090 litri sono caduti direttamente sulla superficie del rain garden mentre gli altri 26070 litri sono defluiti dal tetto della Centrale Tecnologica. La stima di acqua persa per evapotraspirazione è stata di circa 3930 litri. Dato che solo durante l'evento del 13 luglio una minima parte dell'acqua è stata defluita attraverso il troppopieno, si può affermare che praticamente tutti i

deflussi sono stati sottratti dalla rete di drenaggio urbana nel periodo giugno – novembre 2013 (Tab. 19).

Considerando che si tratta dei deflussi generati da un tetto di soli 67 m^2, fatte le debite proporzioni è facile immaginare l'impatto positivo sull'ambiente che tali sistemi possono avere in termini di controllo sostenibile del runoff urbano.

Tabella 19: volumi d'acqua gestiti dal rain garden piccolo nel periodo giugno – novembre 2013.

Volumi IN e OUT	Litri
Dal tetto	26 070
Precipitazione caduta direttamente	4 090
Totale efflussi	30 160
Evapotraspirazione	-3 930
Infiltrati nel suolo	26 230

Si può notare anche come il volume d'acqua direttamente evapotraspirato sia stato molto simile a quello della pioggia caduta direttamente sul rain garden e, analizzando più in dettaglio l'andamento mensile degli apporti di pioggia e delle perdite per ET, è evidente come non si siano verificate condizioni di deficit idrico (Fig. 85), ovvero di stress idrico per le piante.

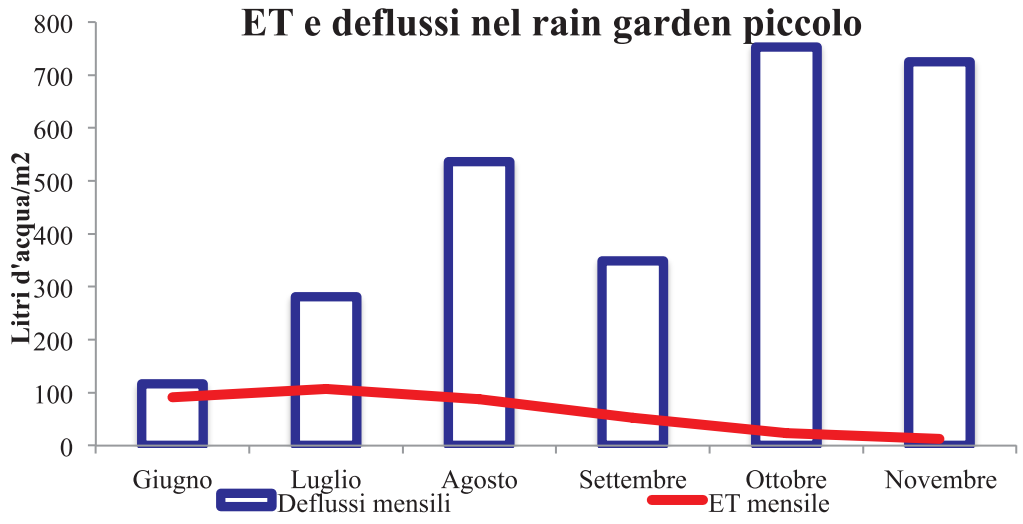


Figura 85: bilancio tra volumi persi per evapotraspirazione e volumi defluiti nel rain garden piccolo nel semestre giugno – novembre 2013.

Sul rain garden grande l'acqua è giunta solo attraverso la pioggia diretta. Nel semestre giugno – novembre 2013, data la superficie doppia rispetto a quella del

rain garden piccolo, il volume che è giunto è stato di circa 8170 litri. L'acqua persa per evapotraspirazione è stata invece pari a 7865 litri. Le condizioni che si sono andate a creare per le piante sono state quindi più limitanti nel giardino grande. In particolare si può notare che nel corso dei mesi di giugno e luglio si sono verificate condizioni di deficit idrico molto forti (Fig. 86), tra l'altro evidenziati con chiari segni di insofferenza da parte delle piante presenti.

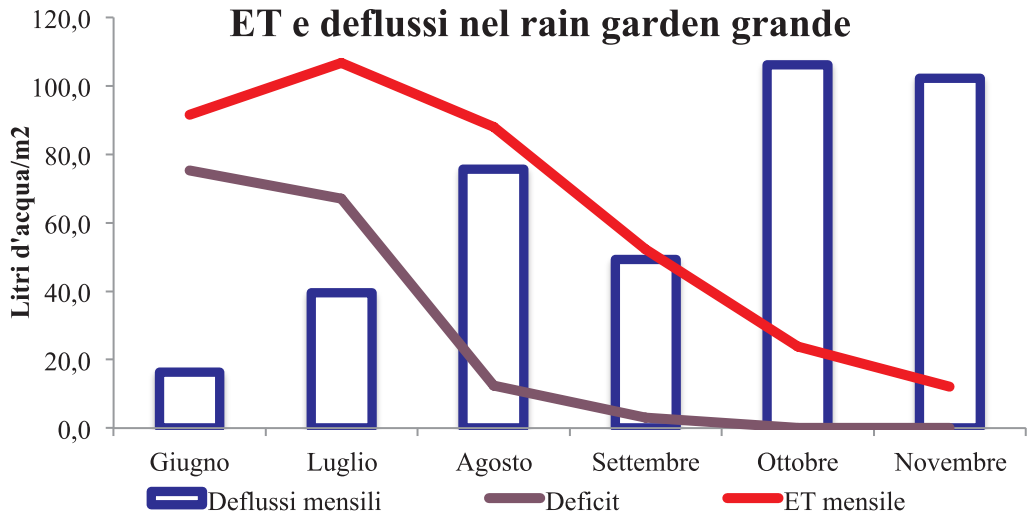


Figura 86: bilancio tra volumi persi per evapotraspirazione e volumi defluiti nel rain garden piccolo nel semestre giugno – novembre 2013.

Le prove che sono state eseguite hanno confermato che l'acqua che defluisce dal tetto giunge totalmente nel rain garden piccolo. È stato possibile quindi estendere i risultati all'intero periodo di prova (luglio 2012 – novembre 2013) per valutare i volumi che sono stati complessivamente gestiti dal rain garden. Dal luglio 2012, da quando cioè tutti i deflussi della porzione di 67 m^2 di tetto sono scaricati nel rain garden piccolo, fino al 30 novembre 2013 la precipitazione totale è stata 1489,2 mm. I volumi caduti direttamente sul rain garden sono stati di circa 16380 litri mentre quelli pervenuti dal tetto sono stati 99770 litri. Nel complesso quasi tutti i volumi defluiti, pari a circa 116150 litri, sono stati gestiti dal giardino, la maggior parte per infiltrazione nel terreno (circa 106950 litri pari al 92%) mentre una parte è stata restituita all'atmosfera per evapotraspirazione (stima di circa 9200 litri pari all'8%) (Tab. 20) (Fig. 87). Anche in precedenza, infatti, solo durante pochi eventi volumi minimi di acqua erano defluiti attraverso il

troppopieno e quindi non gestiti dal sistema rain garden (Brusaferro, 2013; Simeoni, 2013).

Tabella 20: volumi d'acqua gestiti dal rain garden piccolo nel periodo luglio 2012 – novembre 2013.

Volumi IN e OUT	Litri
Tetto	99 770
Precipitazione caduta direttamente	16 380
Totale efflussi	116 150
Evapotraspirazione	-9 200
Infiltrati nel suolo	106 950

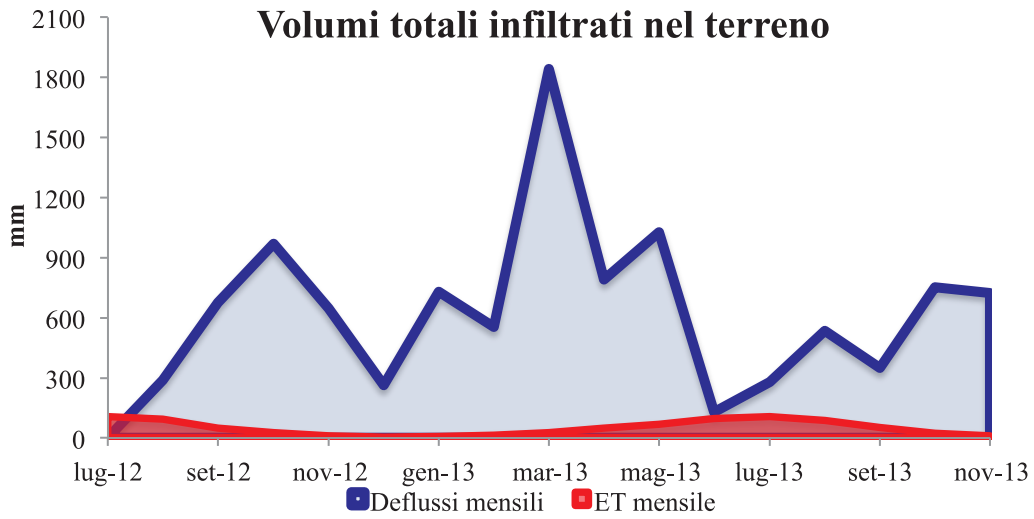


Figura 87: bilancio tra volumi persi per evapotraspirazione e volumi defluiti nel rain garden piccolo nel periodo luglio 2012 – novembre 2013. L'area compresa tra le due curve è uguale ai volumi infiltrati e quindi sottratti alla rete di drenaggio.

4.4 ANALISI DELLA COMPONENTE VEGETAZIONALE

I risultati qui riportati sono relativi ai tre rilievi che sono stati eseguiti sulla vegetazione durante l'estate e l'autunno del 2013.

Il primo, eseguito il 23 luglio 2013, ha riguardato la misura di altezza, diametro, numero di fiori o infiorescenze e di accestimenti. Il secondo, eseguito il 6 novembre 2013, ha riguardato la misura di altezza, diametro e numero di accestimenti.

Il terzo rilievo invece, è stato eseguito il 14 novembre 2013 ed ha riguardato la misura del peso secco della parte aerea delle piante (biomassa prodotta durante la stagione) precedentemente poste in stufa a 105 °C per 48 ore.
Per ogni specie, al fine di valutare il diverso comportamento delle piante nei due giardini pluviali, sono riportate delle figure comparative.
È importante ricordare che nel corso della stagione vegetativa non si è mai fatto ricorso ad alcun intervento d'irrigazione, nemmeno di soccorso. In questo modo si è potuta avere una visione più chiara di quali siano le reali esigenze di questi giardini che generalmente sono progettati in modo da richiedere limitati interventi e bassi costi di gestione.

Aster novi – belgii 'White Ladies'

Per l'astro, a causa del suo vigoroso sviluppo, non è stato possibile misurare l'altezza delle singole piante ed è stata realizzata una griglia con maglie 20 per 25 cm e rilevata l'altezza ad ogni vertice. È stata calcolata poi la media dei valori misurati ogni 25 cm.
Nel rilievo del 23 luglio si nota che nel rain garden piccolo l'altezza media delle piante è risultata pressoché costante dall'esterno verso l'interno. In quello grande, invece, c'è stata una leggera riduzione dell'altezza man mano che ci si porta verso il centro (Fig. 88).
Nel complesso sembra che lo sviluppo degli *Aster* all'interno dei rain garden sia indipendente rispetto alla posizione in cui si trova.
Questo appare in controtendenza rispetto a quanto era emerso nei precedenti rilievi quando sia Simionato (2011) che Simeoni (2013) avevano affermato che c'è una chiara risposta della pianta alla posizione.
Tale discrepanza può essere dovuta alle abbondanti precipitazioni che ci sono state nel corso della primavera, periodo nel quale si hanno i maggiori accestimenti in altezza delle piante. Infatti, i valori di altezza delle piante misurati a novembre (Fig. 89) sono molto simili a quelli rilevati a luglio.
Bisogna considerare, inoltre, che Aster forma una copertura molto densa che favorisce una riduzione delle perdite d'acqua dal suolo per evaporazione.

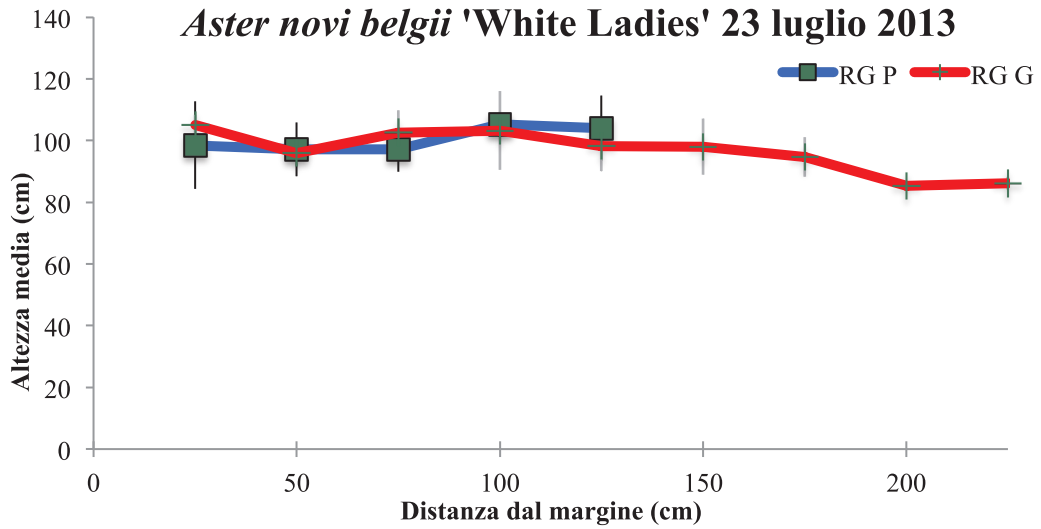


Figura 88: altezza media di *Aster novi belgii* 'White Ladies' in funzione della distanza dal margine nei rain garden nel rilievo del 23 luglio 2013.

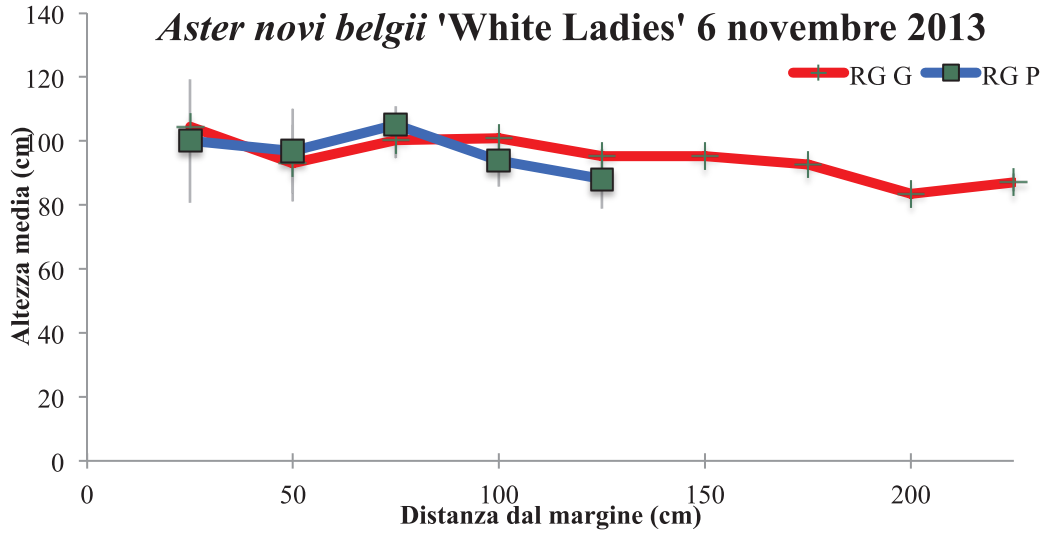


Figura 89: altezza media di *Aster novi belgii* 'White Ladies' in funzione della distanza dal margine nei rain garden nel rilievo del 6 novembre 2013.

Il peso secco delle piante rilevato nei due giardini è invece, aumentato man mano che ci si sposta verso la zona centrale dei bacini. Questo dato è in accordo con quello che era emerso nei precedenti rilievi (Simionato, 2011 e Simeoni, 2013). Tale caratteristica è particolarmente evidente nel rain garden piccolo dove la biomassa prodotta dalle piante più prossime alla zona centrale ha raggiunto valori compresi tra 545 e 560 g/settore (Fig. 90).

Inoltre dalla figura emerge che la biomassa prodotta dalle piante che si trovano più vicine al margine è simile per i due rain garden.

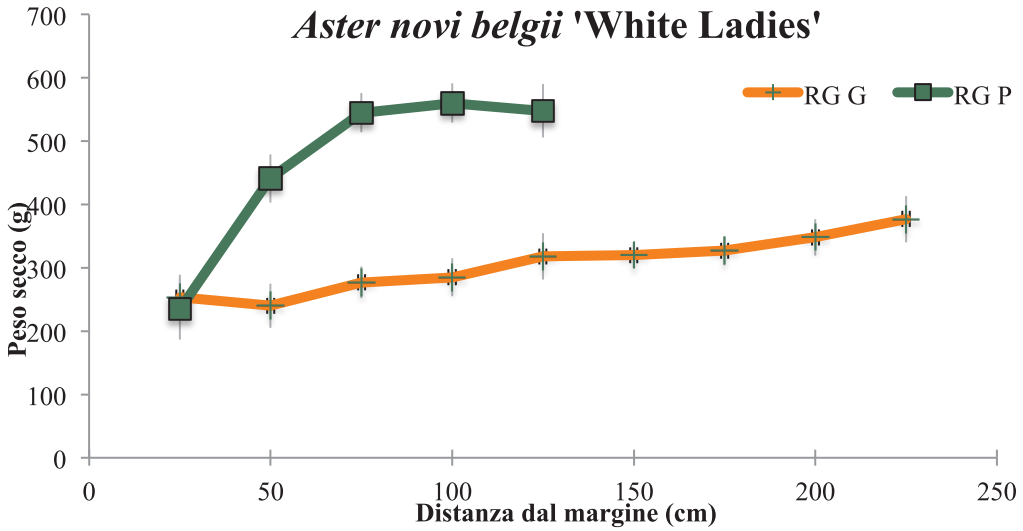


Figura 90: peso secco di *Aster novi belgii* 'White Ladies' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

L'andamento climatico stagionale ha sicuramente favorito lo sviluppo degli *Aster* e ridotto le differenze dovute alle differenti disponibilità idriche.

Nonostante questa specie prediliga gli ambienti umidi (Dunnett e Clayden, 2007), e lo si vede bene nell'accrescimento in termini di biomassa prodotta, essa può essere impiegata in qualsiasi punto di un rain garden.

Anche dal punto di vista estetico non sono stati rilevati problemi di nessun tipo. Possiamo affermare che l'utilizzo di questa specie è ideale per istallazioni di questo tipo.

Echinacea purpurea 'The King'

Lo sviluppo di *Echinacea purpurea* 'The King' ha sofferto per la presenza, nella parcella a fianco di *Aster novi belgi* che con la sua crescita vigorosa è entrato in competizione con l'*Echinacea*.

In entrambi i giardini pluviali mancano due piante che sono morte nel corso dei due inverni precedenti. È interessante rilevare che in quello piccolo, dove nella zona più centrale ci sono valori di umidità maggiori, sono morte le piante poste più lontane dal margine.

Dai rilievi eseguiti è emerso che i valori maggiori si tendono ad avere a distanze intermedie tra bordo e centro dei rain garden. Questa tendenza conferma ciò che era emerso anche l'anno precedente.

Per quanto riguarda l'altezza, nel rilievo del 23 luglio (Fig. 91) il valore massimo misurato è stato di 91 cm nella zona centrale del rain garden grande e 63 cm in quello piccolo. Nel rilievo del 6 novembre (Fig. 92), invece, le due piante del rain garden piccolo hanno confermato i valori di luglio mentre in quello grande c'è stata una riduzione generalizzata dell'altezza dovuta al disseccamento della parte distale delle piante. Solo quella posta più vicina alla zona centrale (che è quindi piantata più in basso) è cresciuta in modo evidente passando dai 55 cm di luglio ai 93 cm di novembre.

Nel rain garden più grande la pianta posta a 30 cm dal margine ha mostrato valori simili a quelli registrati nel giardino pluviale più piccolo. Questa tendenza è stata confermata anche nel rilievo di novembre. Probabilmente questo è dovuto al fatto che le due piante più vicine sono morte e questa ha una minor competizione per l'uso delle risorse.

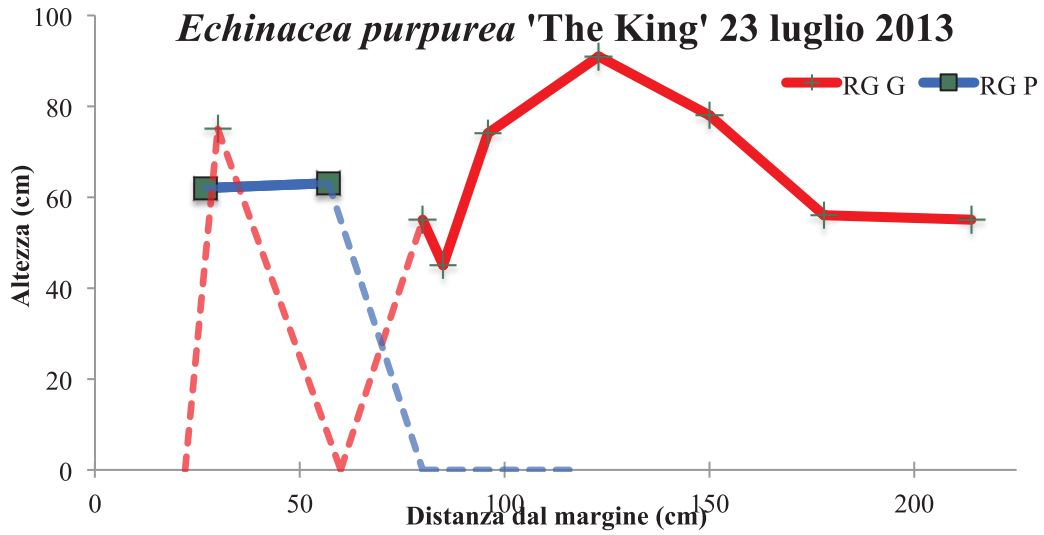


Figura 91: altezza di *Echinacea purpurea* 'The King' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

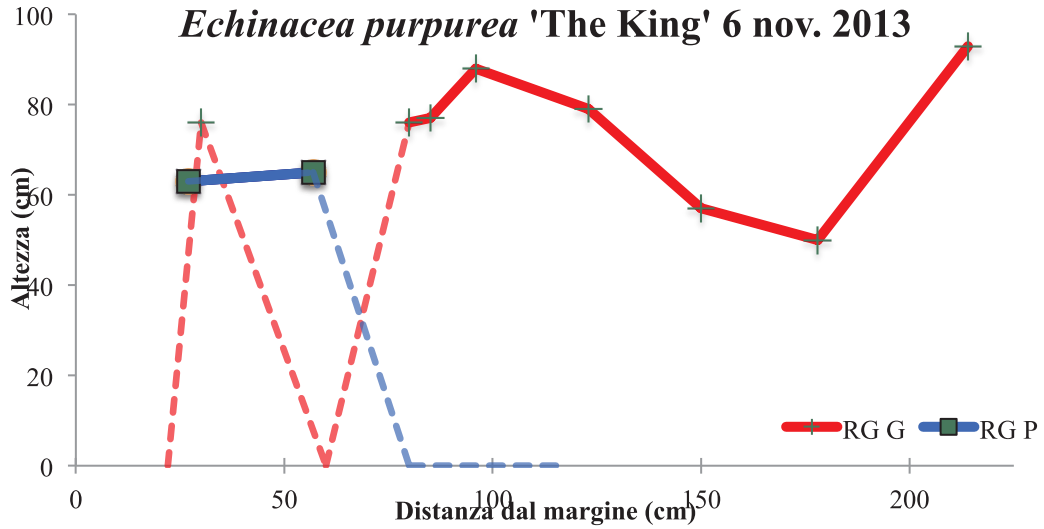


Figura 92: altezza di *Echinacea purpurea* 'The King' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Anche per quanto riguarda il numero delle infiorescenze, nella zona intermedia del rain garden grande, né sono state rilevate un numero maggiore con valore massimo di 73 (Fig. 93). Nel rilievo eseguito in novembre, le piante del rain garden grande non presentavano fiori. In quello piccolo invece erano presenti rispettivamente 13 e 7 fiori per pianta.

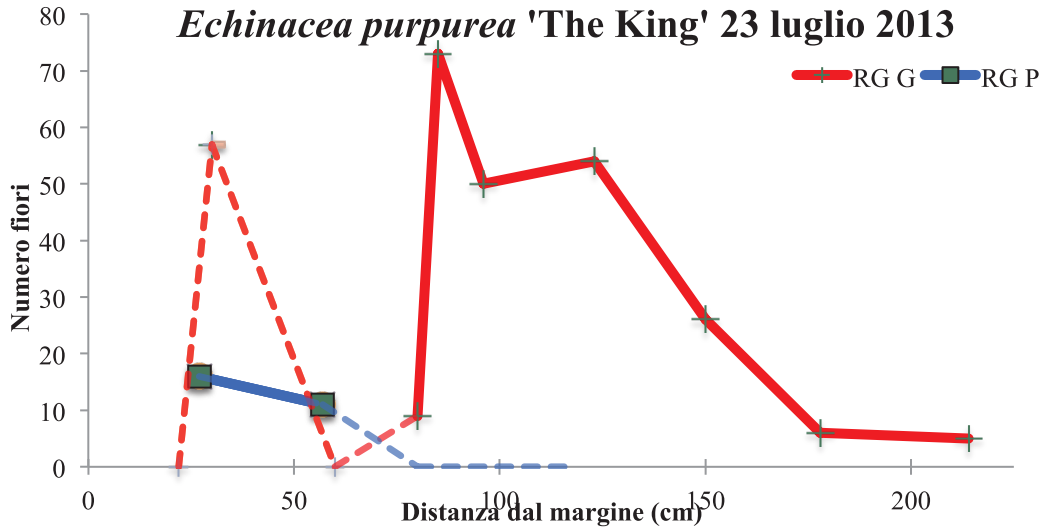


Figura 93: numero infiorescenze di *Echinacea purpurea* 'The King' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013. La linea tratteggiata indica la mancanza, causa morte, di una o più piante.

Per quanto riguarda la sostanza secca, l'andamento osservato è stato simile a quello registrato per gli altri parametri rilevati. Nella parte intermedia c'è stata

una maggiore produzione di biomassa. Da notare che la minor competizione ha favorito lo sviluppo della pianta posta a 30 cm dal margine (Fig. 94).
Quella più vicina alla zona centrale, invece, ha mostrato che al forte incremento in altezza non è corrisposta una analoga produzione di biomassa. Probabilmente questa pianta è eziolata a causa della presenza dell'astro.

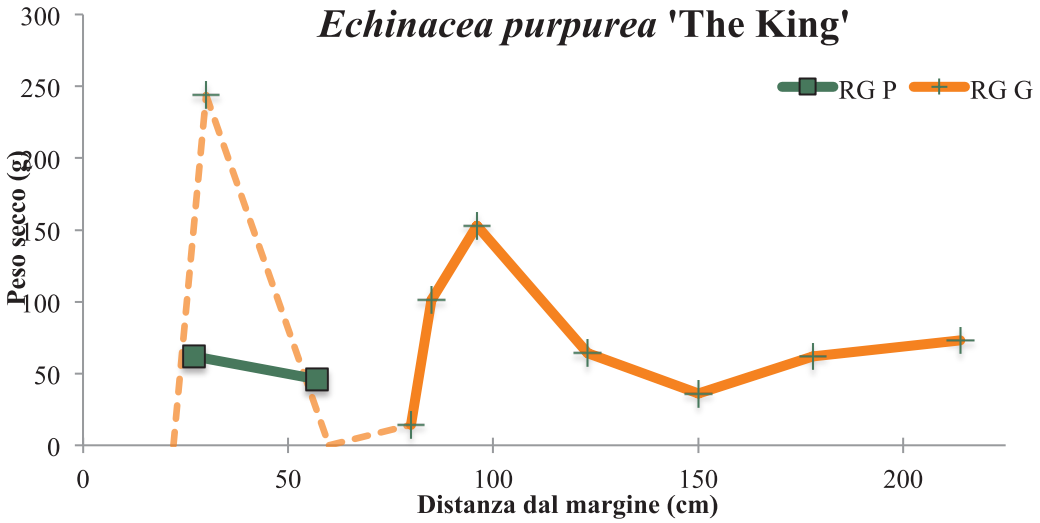


Figura 94: peso secco di *Echinacea purpurea* 'The King' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

All'inizio del 2013 è stato deciso di non ricorrere più ad alcun intervento di irrigazione di soccorso. Durante la primavera e nel mese di giugno le abbondanti precipitazioni hanno consentito un regolare sviluppo delle piante. L'acqua nella prima parte della stagione non è stata un fattore limitante. *Echinacea,* che preferisce suoli freschi ma ben drenati (Dunnett e Clayden, 2007) si è sviluppata meglio nella zona intermedia del rain garden dove ci sono valori di umidità intermedi. Nella seconda parte della stagione vegetativa, quando l'acqua è divenuta un fattore limitante anche per questa specie, la pianta posta più vicina al centro nel rain garden grande ha trovato migliori condizioni di sviluppo.
Dai risultati ottenuti sembra che *Echinacea* possa essere utilizzata nella realizzazione di giardini pluviali. Bisogna prestare attenzione però alla posizione di impianto. Le zone con umidità intermedia sembrano essere quelle ideali.

Gazania rigens

Gazania rigens è stata piantata il 15 maggio 2013. Il rilievo del 23 luglio rappresenta il primo eseguito per questa specie.

L'altezza delle piante, in questo primo periodo, è stata direttamente proporzionale alla distanza dal margine. Questa tendenza è risultata uguale sia nel rain garden grande che in quello piccolo (Fig. 95).

Mediamente, l'altezza delle piante era maggiore nel giardino piccolo rispetto al grande (17,7 cm e 15,8 cm).

Il numero di infiorescenze rilevato il 23 luglio non ha avuto un andamento simile all'altezza. Per prima cosa è stato notato che il numero è stato inferiore nel rain garden piccolo rispetto a quello grande (Fig. 96). Mediamente, in quest'ultimo, ad una distanza intermedia rispetto al centro il numero di infiorescenze che si sono formate è stato simile.

Da notare che la pianta posta più lontana dal margine ha avuto un comportamento simile in entrambi i giardini.

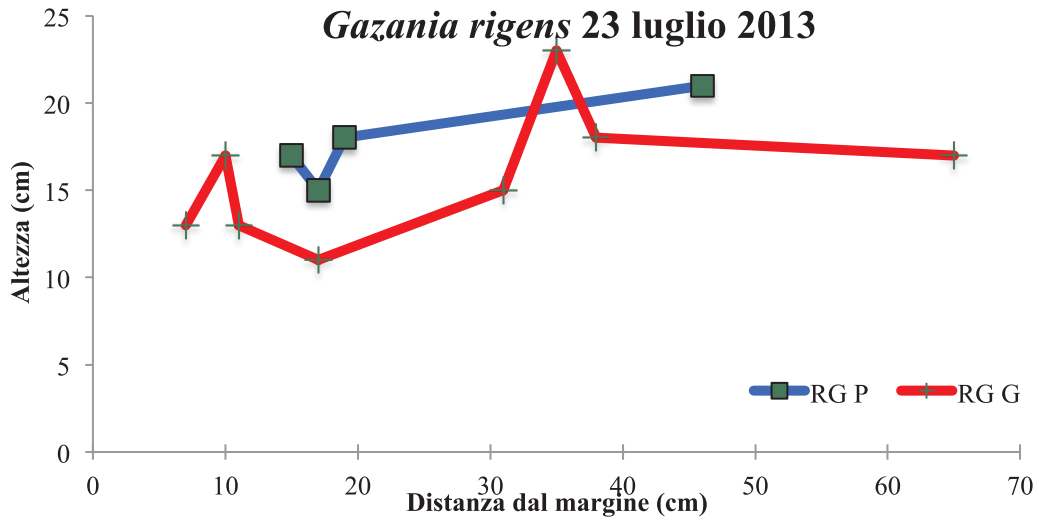


Figura 95: altezza in *Gazania rigens* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

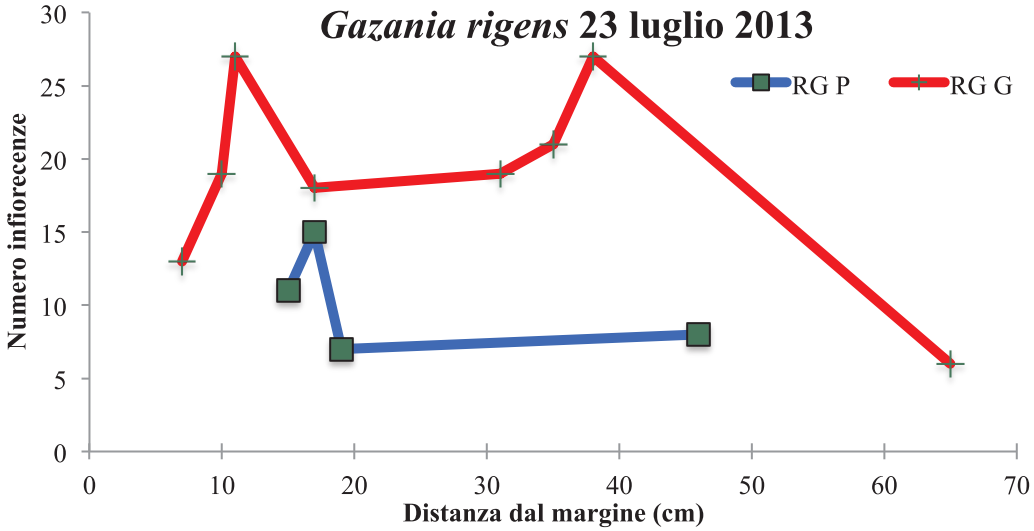


Figura 96: numero infiorescenze in *Gazania rigens* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Nel corso del rilievo del 6 novembre è emerso, invece, che l'altezza delle piante nel rain garden piccolo tende a diminuire man mano che ci si sposta verso il centro (Fig. 97). Il comportamento risulta diverso nel rain garden grande. Le piante più vicine al margine e le due vicine al centro hanno raggiunto delle misure simili. Rispetto al precedente rilievo però le piante più vicine al margine si sono accresciute maggiormente rispetto alle altre in entrambi i rain garden. Questo ci permette di dire che *Gazania* si sviluppa in modo più vigoroso nelle zone dove i valori di umidità sono inferiori.

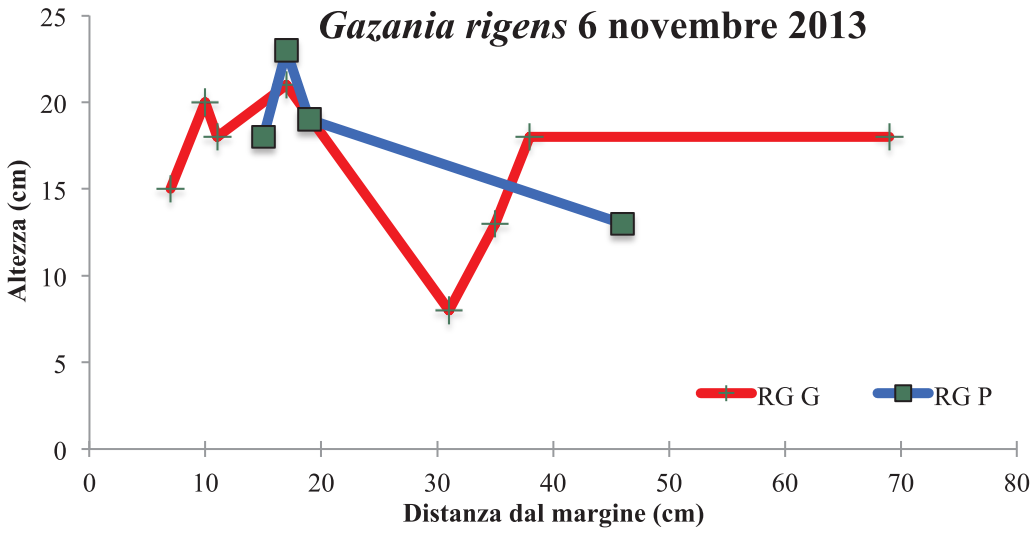


Figura 97: altezza in *Gazania rigens* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Il numero d'infiorescenze contate il 6 novembre è risultato superiore nelle piante vicine al margine. Questo è emerso in entrambi i rain garden anche se in modo meno evidente nel rain garden piccolo (Fig. 98). Probabilmente questo è stato causato dal fatto che mediamente l'umidità del rain garden piccolo è maggiore del grande e questa specie si sviluppa in modo ottimale nei suoli ben drenati (Mackenzie, 2006).

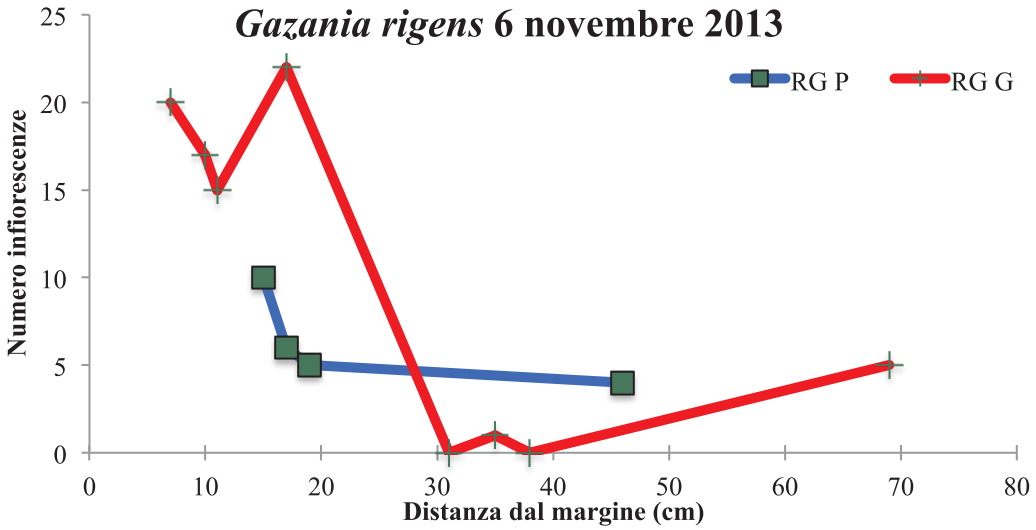


Figura 98: numero infiorescenze in *Gazania rigens* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Il peso secco rilevato a novembre 2013 ha avuto un andamento simile nei due giardini (Fig. 99). Ad una distanza intermedia rispetto al margine le piante hanno prodotto una biomassa quasi identica. Le piante più vicine al centro, invece, hanno risentito degli elevati livelli di umidità e dell'ombreggiamento da parte delle piante delle parcelle adiacenti.

Il deperimento di queste piante è iniziato a metà settembre quando i valori di umidità del suolo sono aumentati e le ore di luce si sono ridotte.

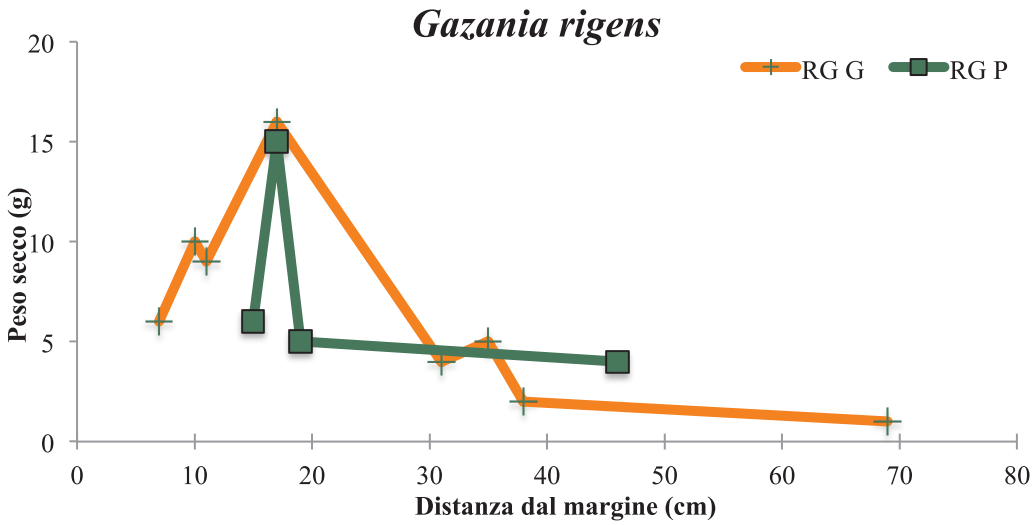


Figura 99: peso secco di *Gazania rigens* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

Gazania rigens alle nostre latitudini è impiegata come pianta annuale per la realizzazione di bordure in zone in pieno sole. Nel corso dell'inverno le condizioni non sono ideali per questa pianta a causa dell'umidità e delle frequenti piogge. Tali condizioni, che favoriscono la morte di *Gazania*, si presentano in modo più spiccato nei rain garden.

Alla luce di queste considerazioni possiamo dire che questa specie può essere impiegata solo nelle zone marginali dei rain garden dove l'umidità è più bassa. Considerando che spesso muore nel corso dell'inverno, bisognerebbe valutare il suo utilizzo solo in quei giardini in cui c'è la possibilità di sostituire le piante stagionalmente.

Rudbeckia fulgida 'Goldsturm'

I risultati emersi nel corso del primo rilievo, eseguito a luglio, nei due giardini pluviali sono stati piuttosto simili. In entrambi i casi è stato registrato un leggero aumento dell'altezza media man mano che ci si sposta verso la zona centrale dei due bacini.

Nel rain garden piccolo l'altezza minima, misurata a 25 cm dal bordo, è stata di 77 cm mentre quella massima, misurata nella parte centrale è stata di 96 cm (Fig. 100).

Nel rain garden grande, invece, l'altezza minima, rilevata sempre a 25 cm dal bordo, è stata di 61 cm mentre quella massima è stata di 89 cm. In questo caso la

misura non corrisponde al punto centrale ma bisogna dire che le altezze delle piante dalla parte mediana fino al centro sono risultate abbastanza simili.
L'andamento simile dei valori è motivato dal fatto che dopo la ripresa vegetativa ci sono state precipitazioni abbondanti e ben distribuite nel tempo.
Comunque nel rain garden piccolo, che riceve i deflussi provenienti dal tetto, la crescita è risultata superiore.

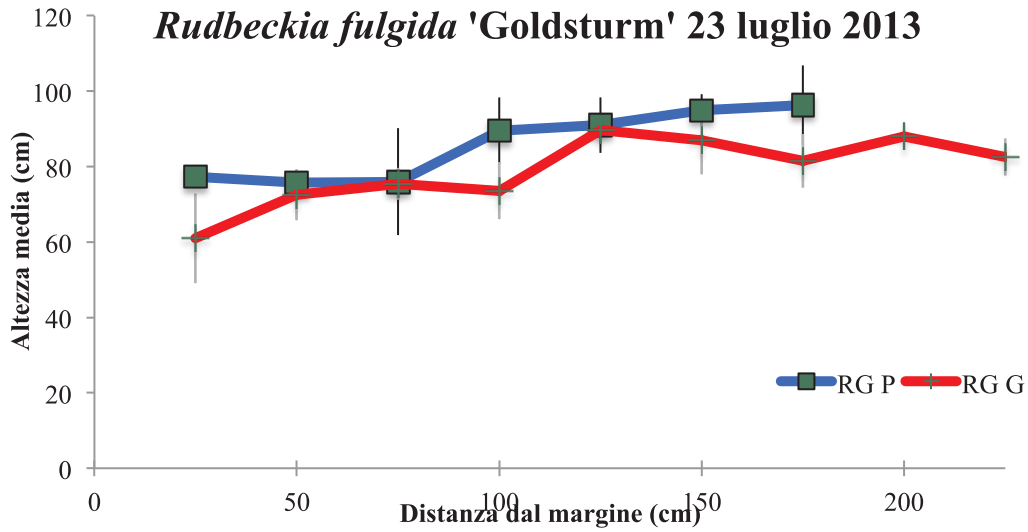


Figura 100: altezza media di *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Al termine della stagione vegetativa il divario, per quanto riguarda l'altezza, è apparso molto più marcato. Dalla metà del mese di luglio le piante di *Rudbeckia* hanno manifestato diffusi appassimenti e bruciature al livello del foglie. Questi sono stati più cospicui nelle piante del rain garden grande. A causa di questo diversi fusti si sono seccati completamente o in parte.
Quindi l'altezza media di *Rudbeckia* nel giardino pluviale grande è risultata inferiore a quella misurata nel rilievo di luglio. L'altezza minima, misurata a 25 cm dal bordo, è stata di 43 cm mentre i valori massimi, compresi tra 60 e 68 cm, sono stati misurati nell'ultimo metro (Fig. 101).
Nel rain garden piccolo gli effetti dello stress idrico sono stati meno evidenti per merito dei deflussi che arrivano dal tetto. L'altezza delle piante ha presentato valori crescenti dal margine (72 cm a 25 cm dal bordo) al centro (104 cm).
Dalla fine di agosto poi c'è stata una ripresa vegetativa particolarmente evidente nelle piante del rain garden grande (Fig. 102).



Figura 101: particolare delle piante di *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' del rain garden grande il 10 settembre 2013 dove si nota la ripresa vegetativa successiva allo stress idrico.

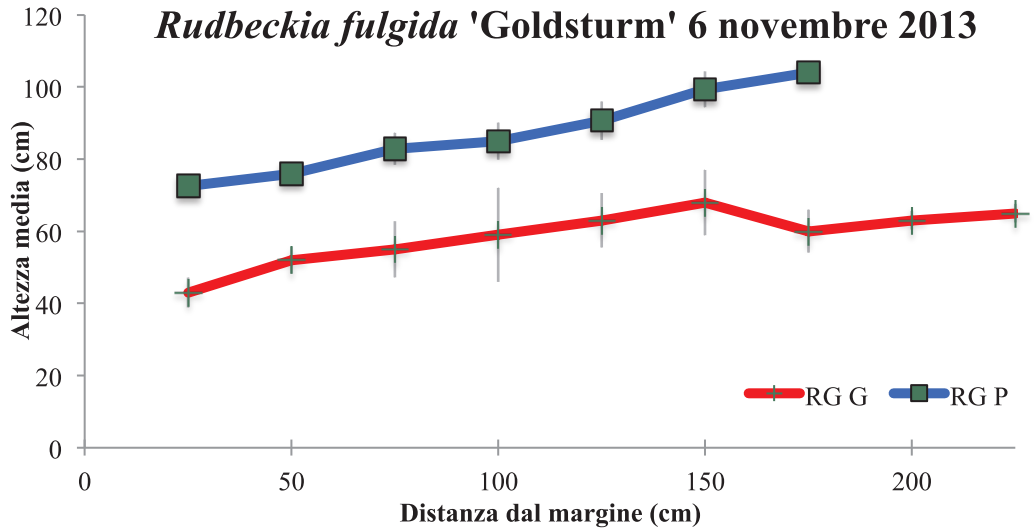


Figura 102: altezza media di *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Lo stress idrico occorso alle *Rudbeckia* del rain garden grande nella seconda parte della stagione vegetativa appare evidente anche analizzando la biomassa prodotta (Fig. 103). I valori sono apparsi nettamente più bassi di quelli delle piante del rain garden piccolo che anzi ha presentato valori crescenti man mano che ci si avvicinava alla zona centrale del bacino.

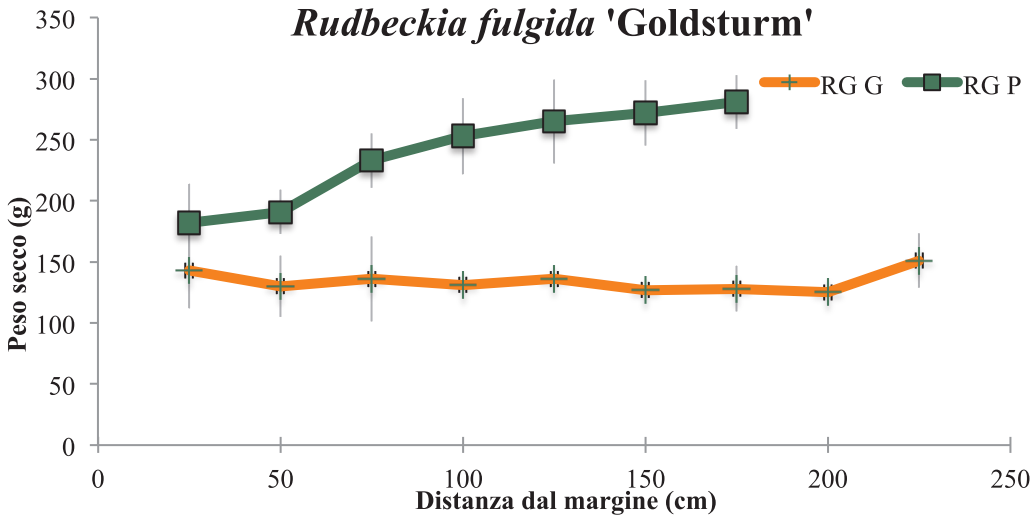


Figura 103: peso secco di *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

I dati ottenuti da questi rilievi confermano quanto già era emerso negli anni precedenti. *Rudbeckia*, che ha come habitat ideale zone umide ma non tollera il ristagno (Dunnett e Clayden, 2007), si sviluppa con maggior facilità dove i valori di umidità sono maggiori.

Bisogna dire che le piante sono piuttosto rustiche e non muoiono anche se sono sottoposte a forti stress idrici. Considerando però che un giardino pluviale assume anche una funzione estetica è preferibile piantare questa specie nella zona più interna e più umida del giardino.

Hemerocallis hybrida 'Glittering Treasure'

I rilievi eseguiti in luglio hanno previsto la misura dell'altezza delle foglie, la conta del numero degli accestimenti ed il numero di fiori. A novembre è stata misurata l'altezza delle foglie e contato il numero degli accestimenti.

Per quanto riguarda il numero degli accestimenti, sembra che nel rain garden grande lo sviluppo sia indipendente dalla posizione rispetto al margine (Fig. 104).

Probabilmente questo è da imputare alle condizioni metereologiche particolarmente favorevoli che hanno contraddistinto la primavera del 2013. Tale tendenza era emersa anche nel precedente rilievo di maggio 2013. Nel rain garden piccolo, invece, le piante che sono più vicine alla zona centrale del bacino hanno prodotto un maggior numero di accestimenti sia rispetto agli altri *Hemerocallis* del rain garden piccolo sia rispetto a quelli del rain garden grande.

Tale andamento nei due giardini è rimasto poi invariato anche nel rilievo autunnale (Fig. 105).

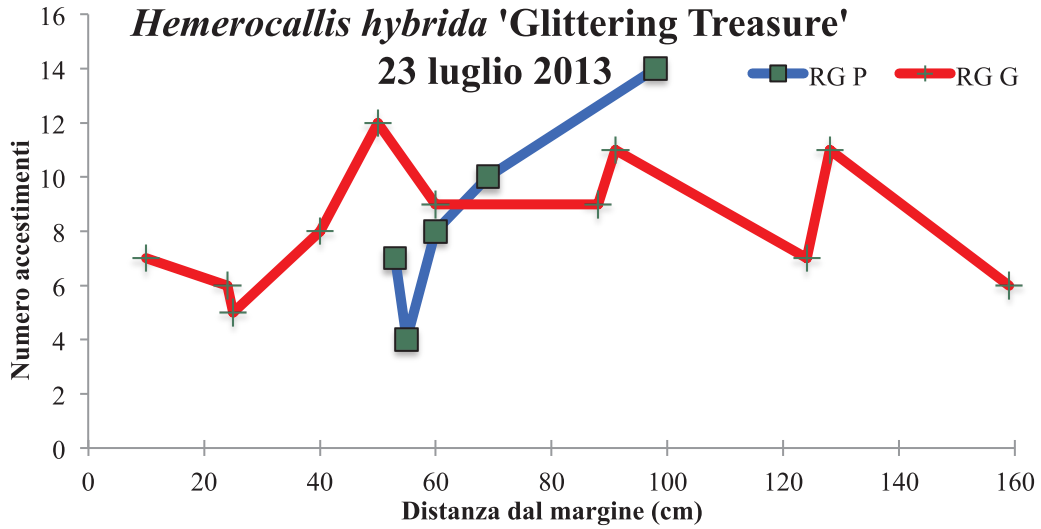


Figura 104: numero degli accestimenti di *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

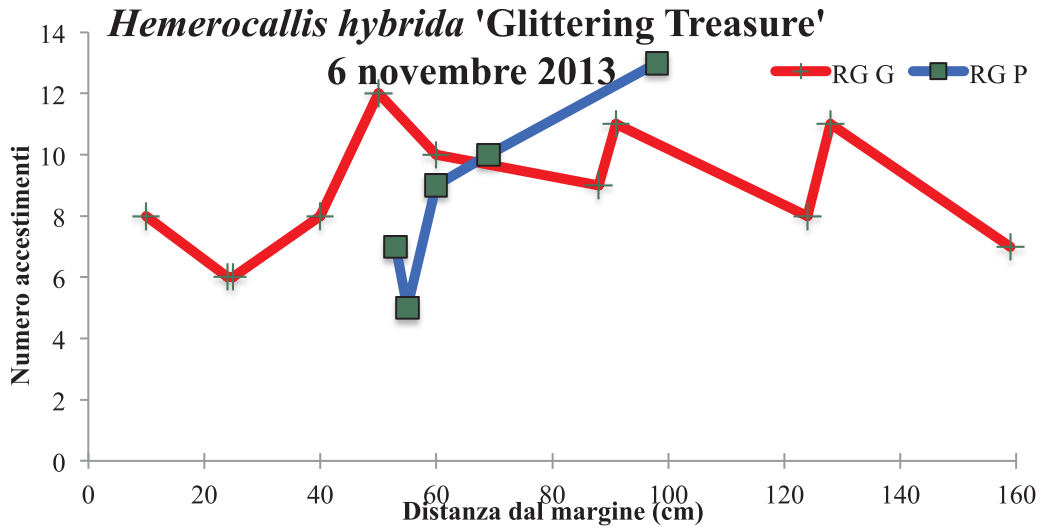


Figura 105: numero degli accestimenti di Hemerocallis hybrida 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Per quanto riguarda l'altezza delle foglie, gli *Hemerocallis* posti più vicini al centro dei bacini, che godono di una maggiore umidità, hanno raggiunto altezze superiori (Fig. 106). Tale tendenza è particolarmente evidente nel bacino più piccolo e si nota sia per il rilievo di luglio che per quello di novembre.

Nel corso dell'estate si è verificato il disseccamento di alcune foglie a causa delle elevate temperature. Questo spiega come mai le altezze misurate in novembre sono mediamente inferiori a quelle di luglio (Fig. 107).

In generale, comunque, le piante non hanno manifestato segni palesi di sofferenza.

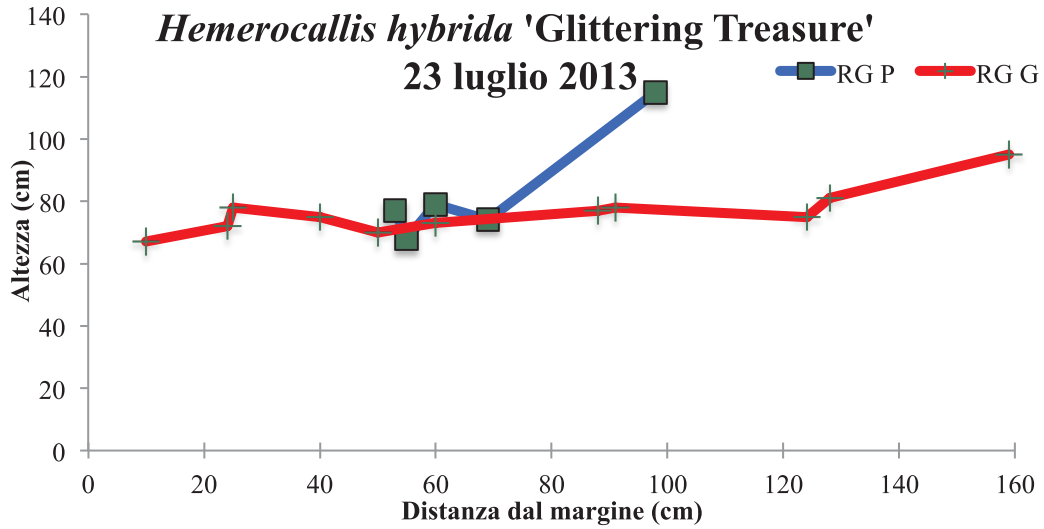


Figura 106: altezza di *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

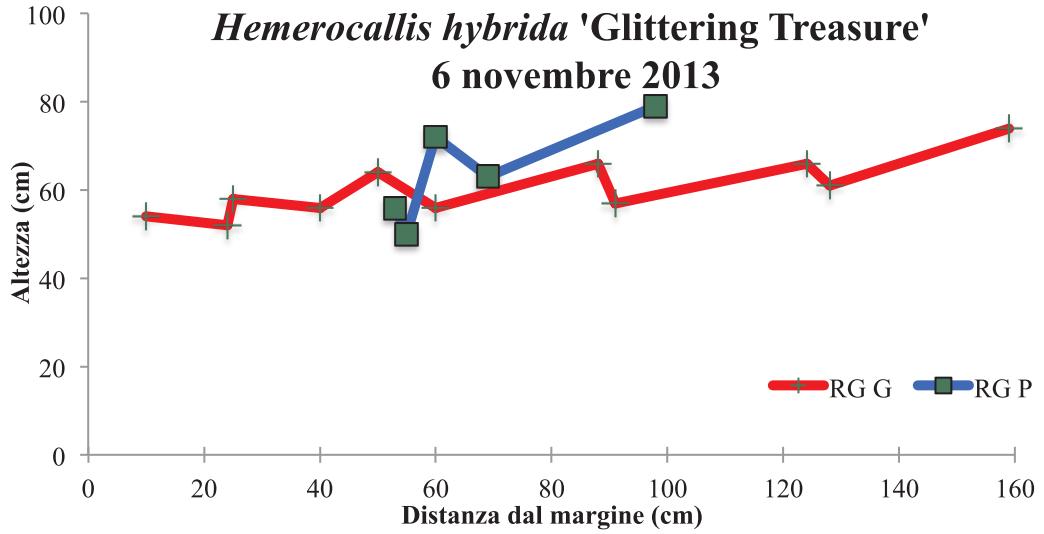


Figura 107: altezza di *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Per quanto riguarda il numero di steli fiorali e di fiori contati nel corso del rilievo di luglio sembra che questi valori non siano stati influenzati dalla posizione (Fig. 108 e 109). Bisogna considerare che tale andamento potrebbe essere stato determinato dalle abbondanti precipitazioni che ci sono state in primavera e che hanno permesso un buon sviluppo delle piante.

Durante il rilievo di luglio 2012 erano state rilevate un maggior numero di infiorescenze nelle piante più vicine al centro del rain garden piccolo. Tale tendenza non è stata confermata nel 2013 in quanto la pianta a 98 cm dal margine ha prodotto un numero di steli fiorali più basso rispetto alla pianta che si trova a 70 cm.

Il minor numero di fiori e di steli fiorali può essere dovuto al maggior grado di ombreggiamento da parte delle piante delle parcelle vicine. L'andamento del grafico, infatti, è piuttosto simile a quello del rilievo del 2012 e differisce solo per le risposte date dall'Hemerocallis più centrale.

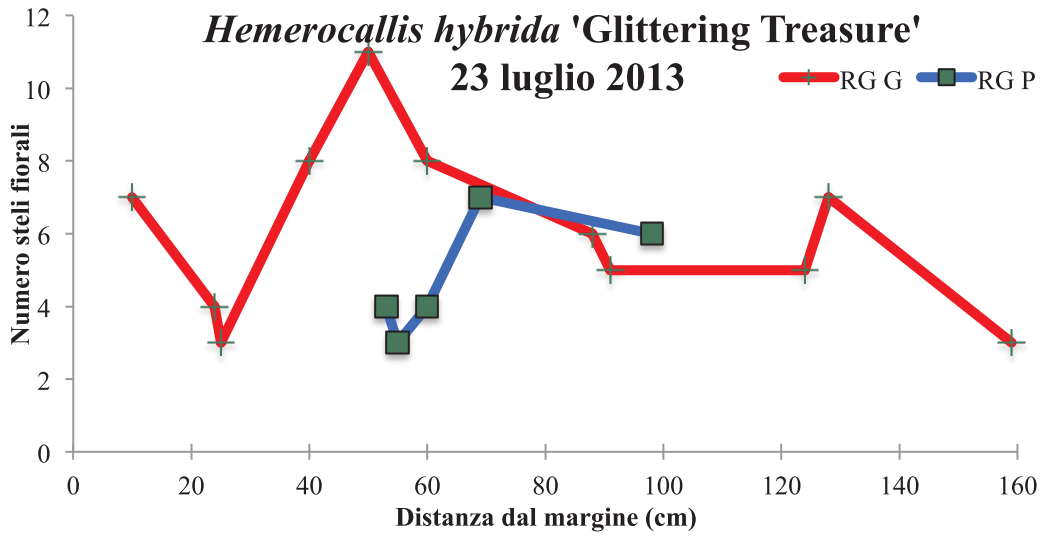


Figura 108: numero di steli fiorali in *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

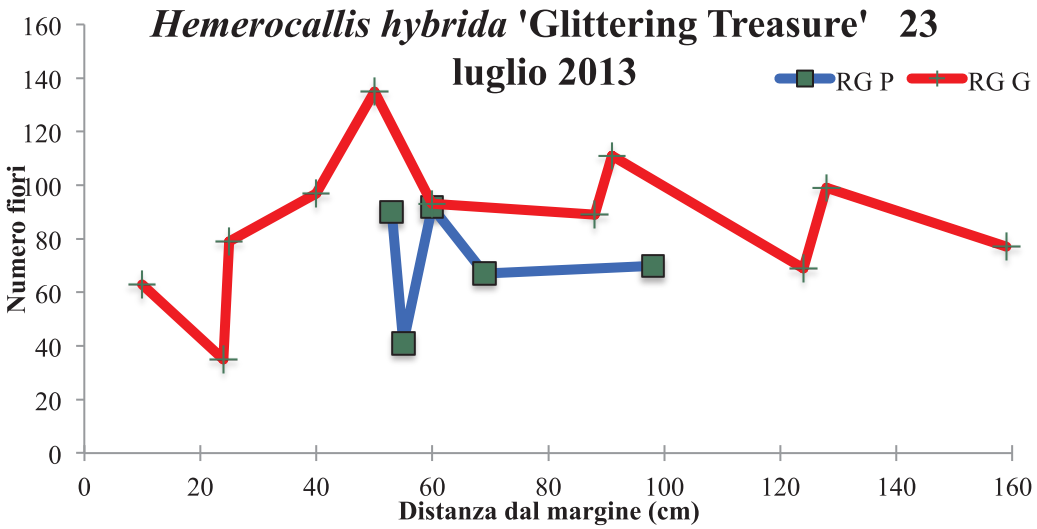


Figura 109: numero di fiori in *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Per quanto riguarda il peso secco, la biomassa prodotta è stata più alta nella zona intermedia e in quella più vicina al centro del rain garden grande (Fig. 109). Questo risultato è in linea con quanto rilevato nel 2012 (Simeoni, 2013).

Nel rain garden piccolo, le piante più prossime al centro hanno avuto una crescita simile. Il peso secco misurato è stato pari a 76, 68 e 72 g. Questi valori si avvicinano al peso rilevato nel 2012 nell'*Hemerocallis* posto più vicino al centro. È interessante notare che in passato le altre piante avevano prodotto una biomassa nettamente inferiore (valore minimo 10 g) rispetto ai 36 g che corrispondono al valore minimo della stagione 2013.

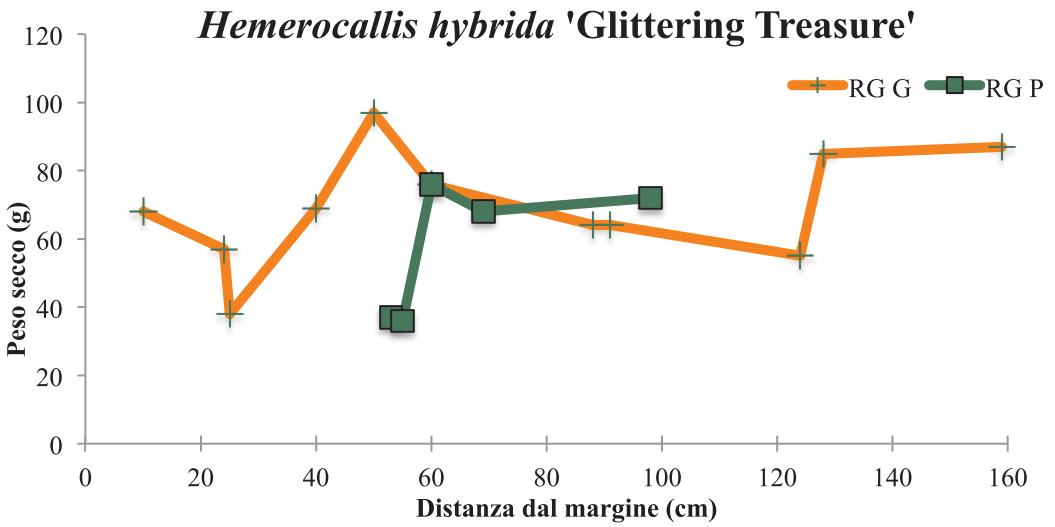


Figura 110: peso secco di Hemerocallis hybrida 'Glittering Treasure' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

Nel complesso l'impiego di *Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure' all'interno dei rain garden sta dando risultati soddisfacenti. Questa specie, come emerso anche con i rilievi, predilige i suoli umidi ma non soffre le condizioni di siccità (Dunnett e Clayden, 2007).

Per questo motivo può essere impiegata in qualunque posizione all'interno di un rain garden.

Iris pseudacorus

Per quanto riguarda *Iris pseudacorus*, nel corso dell'estate e dell'autunno 2013 sono stati eseguiti rilievi sull'altezza raggiunta dalla foglia apicale e sulla biomassa prodotta.

Dalla misura dell'altezza della foglia apicale, eseguita a luglio, è stato notato come l'andamento climatico primaverile abbia inciso in modo positivo sullo sviluppo di tutte le piante. Inoltre i valori sono stati simili in entrambi i giardini pluviali (Fig. 111).

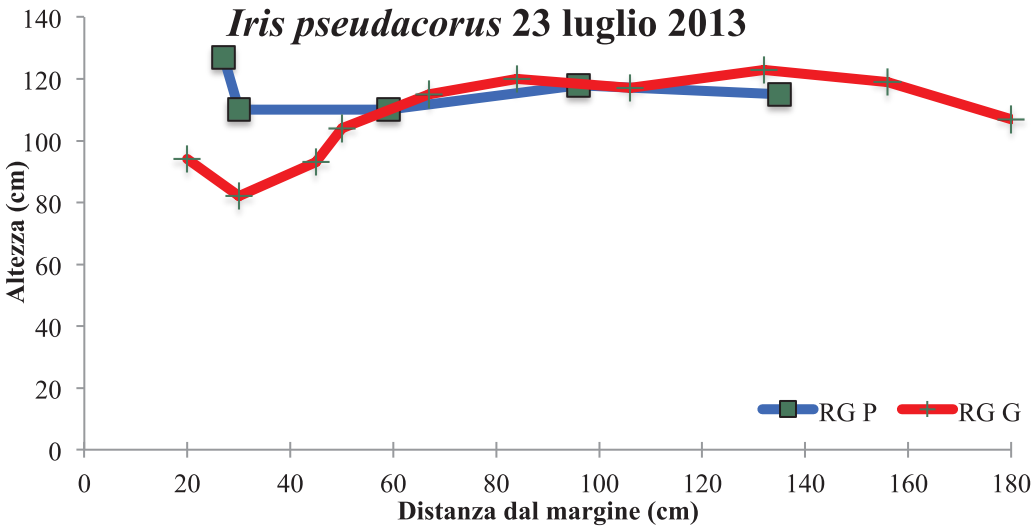


Figura 111: altezza di *Iris pseudacorus* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Durante il periodo estivo le piante del rain garden grande hanno manifestato segni di stress idrico evidenziati dal disseccamento di alcune foglie e un portamento più prostrato delle piante. Tale comportamento è stato molto meno evidente nel rain garden piccolo che riceve i deflussi provenienti dal tetto (Fig. 112). Questa tendenza è risultata anche nel rilievo di novembre (Fig. 113). L'altezza misurata è stata inferiore rispetto al rilievo di luglio e questo effetto dello stress idrico è stato particolarmente evidente nel rain garden grande.



Figura 112: Portamento di *Iris Pseudacorus* nel rain garden grande (sinista) e piccolo (destra).

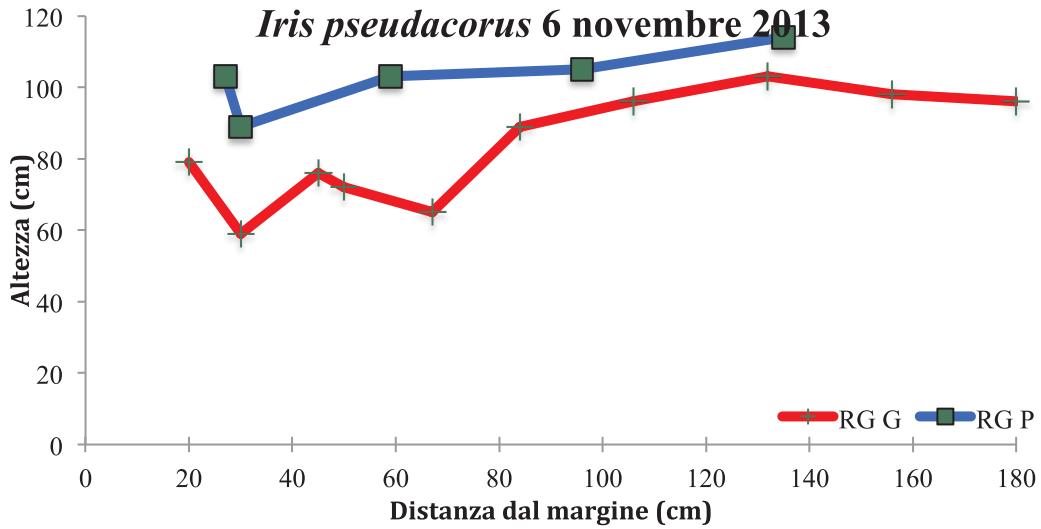


Figura 113: altezza di *Iris pseudacorus* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

I valori di biomassa prodotti dalle piante sono risultati direttamente proporzionali alla vicinanza rispetto alla zona centrale dei rain garden (Fig. 114).
Questo si nota in entrambi i giardini ma è particolarmente evidente nel rain garden piccolo. *Iris pseudacorus* è una specie tipica delle zone umide (Pignatti, 2007) per questo motivo la risposta alla disponibilità idrica è stata così evidente.

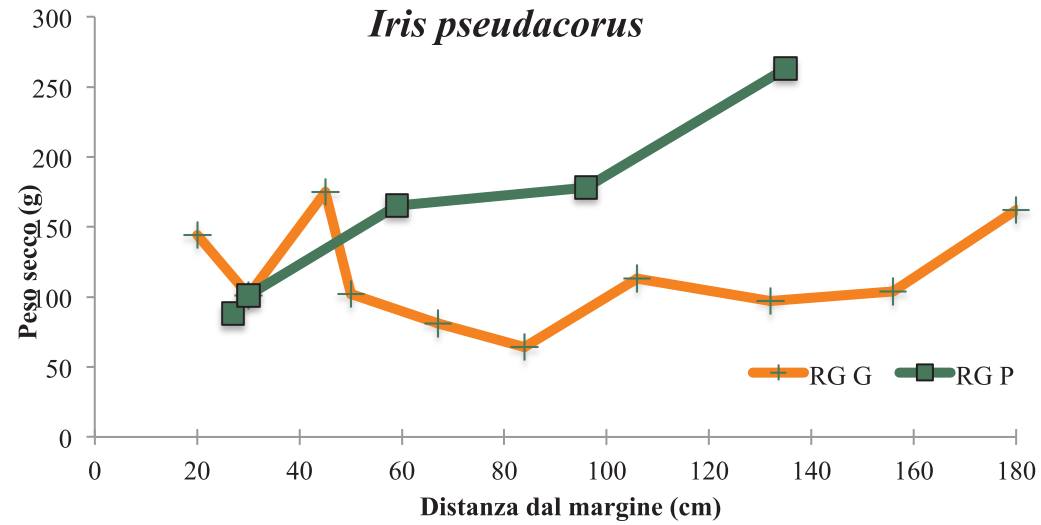


Figura 114: peso secco di *Iris pseudacorus* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

Questa specie, nonostante nel suo habitat naturale si trovi frequentemente sommersa ha dimostrato buona adattabilità alle condizioni di stress idrico presenti nei giardini pluviali. Osservando il suo comportamento nel rain garden piccolo

(che riceve i deflussi provenienti dal tetto) possiamo dire che essa può essere impiegata senza alcun problema all'interno di un giardino pluviale. Sicuramente i risultati migliori sono forniti da quelle piante che beneficiano di una maggiore disponibilità idrica.

Lythrum salicaria 'Robert'

I rilievi eseguiti su *Lythrum salicaria* 'Robert' hanno riguardato il conteggio del numero degli accestimenti e la misura dell'altezza delle piante. In autunno poi è stata determinata la biomassa prodotta.

Il numero degli accestimenti è risultato altalenante e a piante con un numero elevato di accestimenti ne sono seguite altre con valori più bassi (Fig. 115). Come emerso nel rilievo che era stato eseguito a maggio 2013 (Simeoni, 2013), il numero non è influenzato dalla posizione.

Per quanto riguarda l'altezza, nel rain garden piccolo l'andamento è sembrato piuttosto omogeneo con valori medi di circa 70 cm con una leggera tendenza verso valori superiori man mano che si sposta verso il centro del bacino (Fig. 116).

Questa tendenza sembrerebbe confermata anche nel bacino più piccolo anche se la pianta posta a 86 cm dal margine ha avuto una crescita inferiore rispetto a quelle vicine.

L'ipotesi comunque sembra piuttosto verosimile considerando che *Lythrum salicaria* è tipica degli ambienti umidi (Schauer e Caspari, 1987).

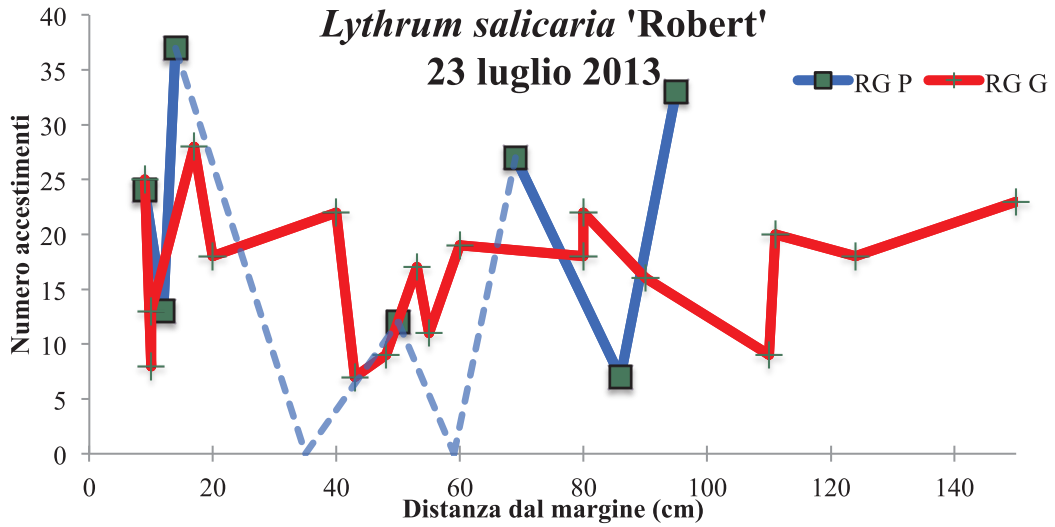


Figura 115: numero di accestimenti in *Lythrum salicaria* 'Robert' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

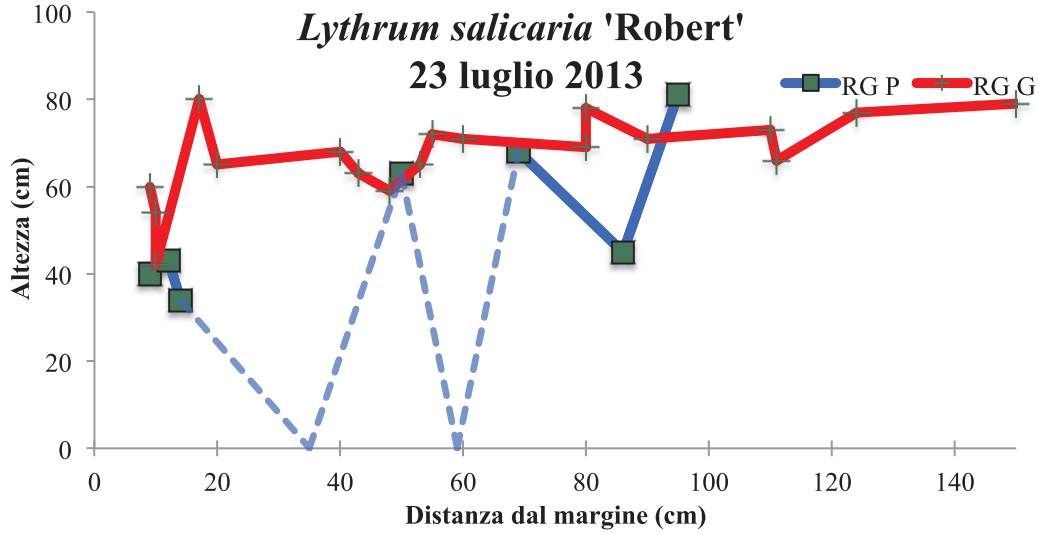


Figura 116: altezza di *Lythrum salicaria* 'Robert' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Nel corso dell'estate tutte le piante sono state colpite da attacchi di *Galerucella* sp. che hanno causato danni diffusi alla parte aerea (Fig. 117). Tali attacchi hanno determinato l'indebolimento delle piante e il disseccamento di molti accestimenti.



Figura 117: piante di *Lythrum salicaria* 'Robert' defogliate a causa degli attacchi di *Galerucella*.

Nel corso dell'estate solo poche piante sono riuscite ad emettere nuovi accestimenti. Dal rilievo eseguito in novembre si nota che solo una pianta del rain garden piccolo ha prodotto nuovi accestimenti ma l'altezza è stata piuttosto trascurabile (7 cm). Le altre invece non hanno mostrato alcun segnale di ripresa vegetativa (Fig. 118).

Nel rain garden grande la situazione è stata simile al giardino più piccolo. Osservando il comportamento delle piante che hanno prodotto nuovi accestimenti, si nota che la posizione rispetto al margine non ha influenzato il numero di accestimenti prodotti.

Per quanto riguarda l'altezza, invece, le piante più vicine al margine hanno avuto incrementi inferiori (3 – 4 cm) rispetto a quelle poste al centro (altezza massima 15 cm) (Fig. 119).

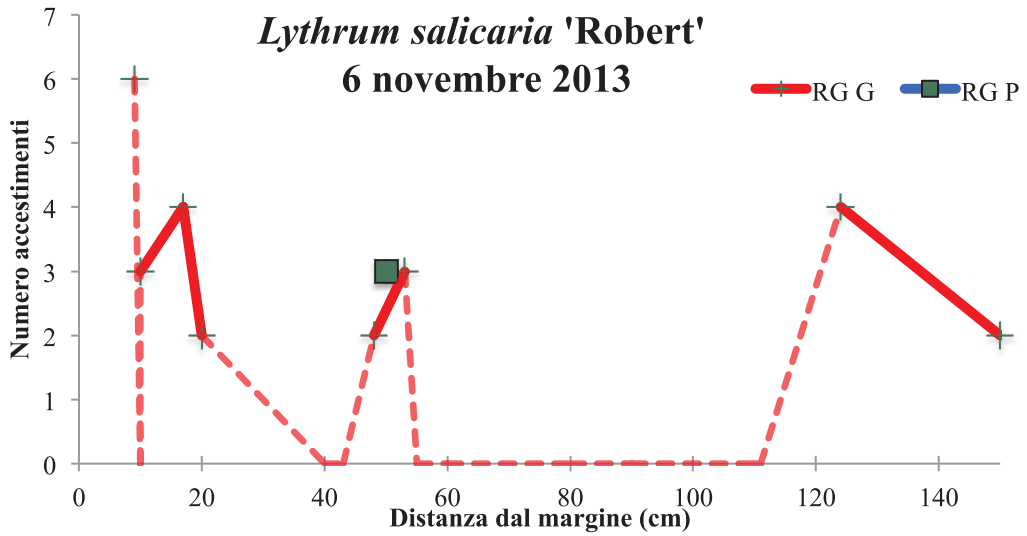


Figura 118: numero di accestimenti in *Lythrum salicaria* 'Robert' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

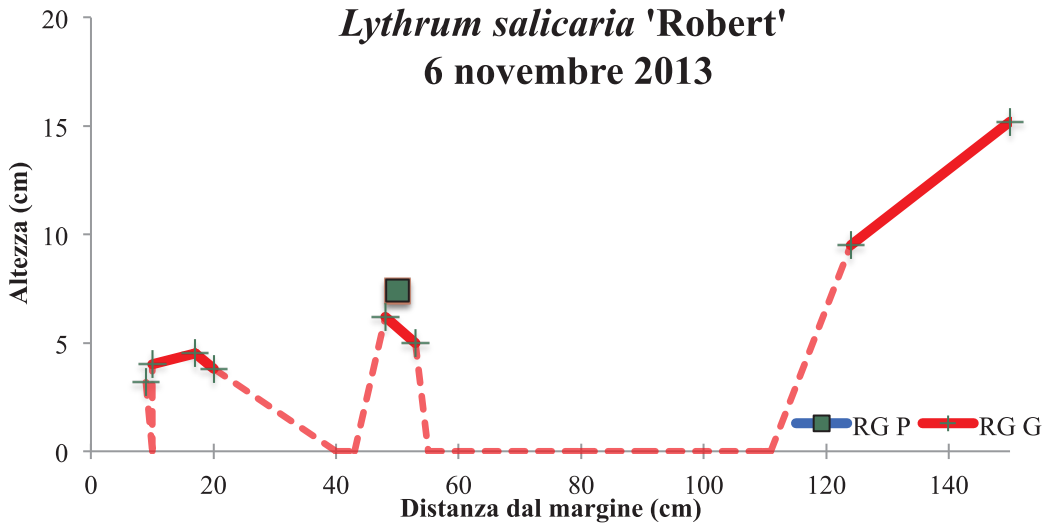


Figura 119: altezza di *Lythrum salicaria* 'Robert' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

La produzione di biomassa è stata influenzata dagli attacchi di Galerucella sp. E' stato notato, comunque, che il peso delle piante tende ad aumentare man mano che ci si sposta verso la zona centrale in entrambi i rain garden (Fig. 120). Gran parte della biomassa derivava dagli accestimenti, parzialmente lignificati, prodotti dalle piante nel corso della primavera.

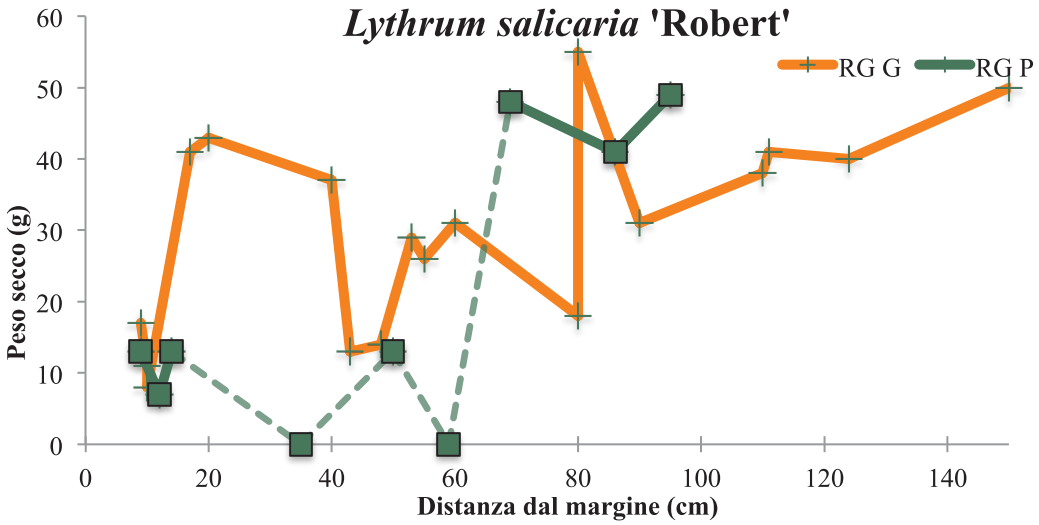


Figura 120: peso secco in *Lythrum salicaria* 'Robert' in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

Lythrum salicaria è una specie tipica degli ambienti umidi ma può adattarsi anche a condizioni di siccità anche relativamente prolungata. Tale caratteristica si manifesta con maggiore chiarezza quando le piante riescono ad affrancarsi (Dunnett e Clayden, 2007).

Questa situazione non si è verificata nei rain garden di Agripolis dove negli ultimi due anni le piante non hanno prodotto alcun fiore e nemmeno incrementato la loro biomassa. Quest'anno inoltre con l'eliminazione degli interventi di irrigazione le piante sono state sottoposte a maggiori stress.

Tutto questo, oltre a ridurre il livello estetico ha favorito la diffusione di diverse malerbe.

Per ridurre i problemi sarebbe necessario eseguire alcuni interventi fitoiatrici. Considerando che i giardini pluviali sono delle strutture a bassa manutenzione è forse più indicato procedere alla sostituzione di questa varietà di *Lythrum* con un'altra che ha manifestato maggiore resistenza a questo insetto.

Molinia caerulea

I rilievi che sono stati eseguiti su *Molinia* hanno riguardato la misura dell'altezza e del diametro alla base del cespo (luglio e novembre 2013) e poi la determinazione della biomassa prodotta (novembre 2013).

L'andamento dei parametri misurati a luglio è stato molto simile a quello che era stato rilevato a maggio. Anche in questo caso le abbondanti precipitazioni hanno

favorito uno sviluppo in altezza abbastanza omogeneo delle piante che è parso scarsamente legato alla posizione all'interno dei giardini (Fig. 121).

Per quanto riguarda il diametro del cespo si nota invece che la pianta posta al centro del rain garden piccolo ha avuto uno sviluppo diametrico nettamente maggiore alle altre (Fig. 122).

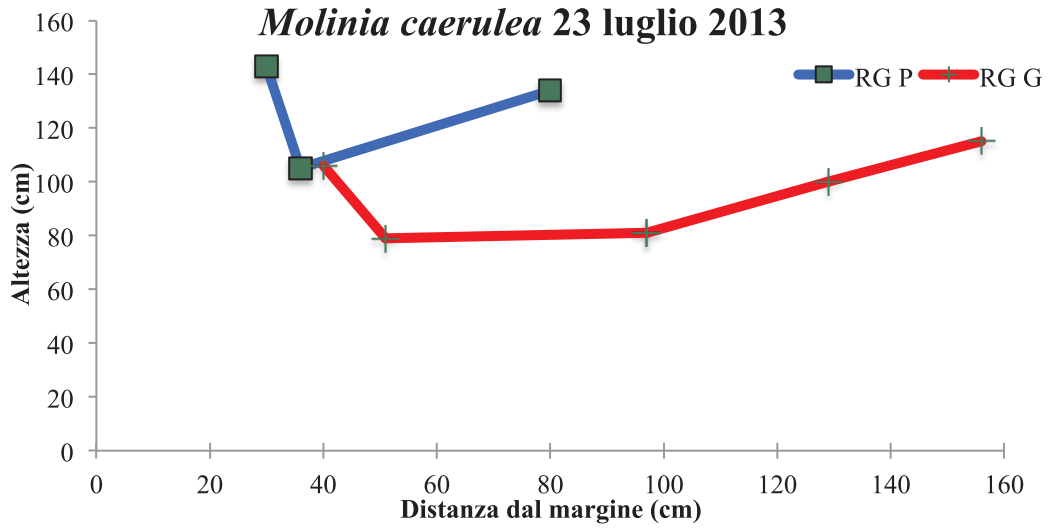


Figura 121: altezza di *Molinia caerulea* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

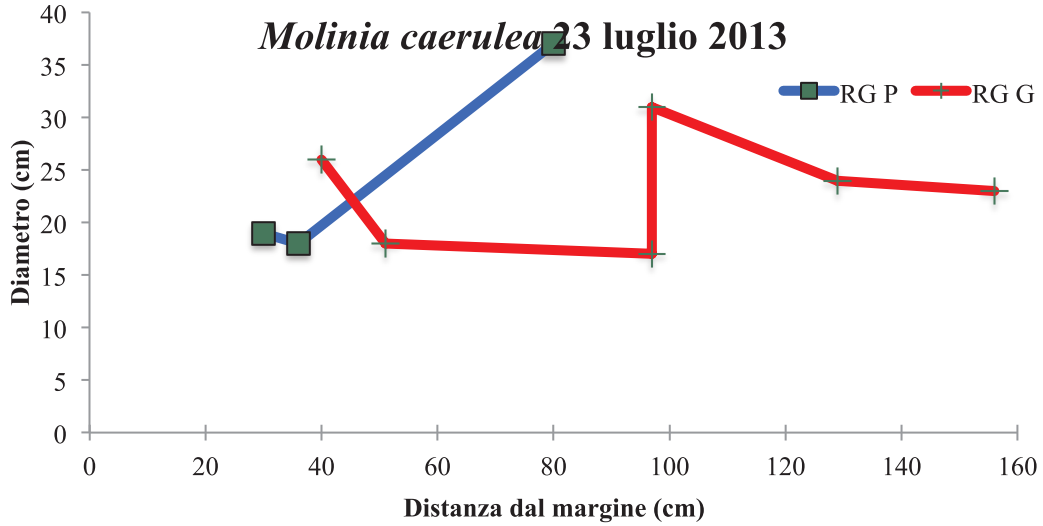


Figura 122: diametro di *Molinia caerullea* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Nel corso dell'estate *Molinia* non ha manifestato gravi segnali di stress. Nel rain garden grande le lamine fogliari erano leggermente accartocciate ed il colore meno scuro rispetto alle piante del giardino piccolo.

In quest'ultimo poi c'è stato un ulteriore incremento in altezza come è emerso nel rilievo di novembre (Fig. 123). Per quanto riguarda il diametro basale, le piante di *Molinia* del rain garden piccolo hanno mantenuto dei valori simili a quelli misurati nel rilievo di luglio (Fig. 124). In quello grande c'è stata invece una riduzione. Questo ci permette di affermare che *Molinia* si sviluppa con maggior vigore negli ambienti con suolo più fresco come quelli del rain garden più piccolo.

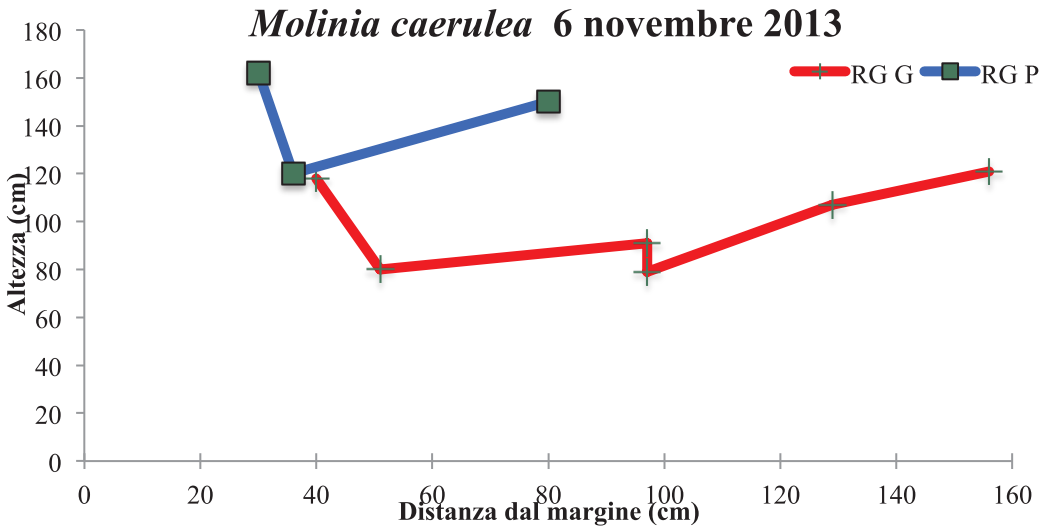


Figura 123: altezza di *Molinia caerulea* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

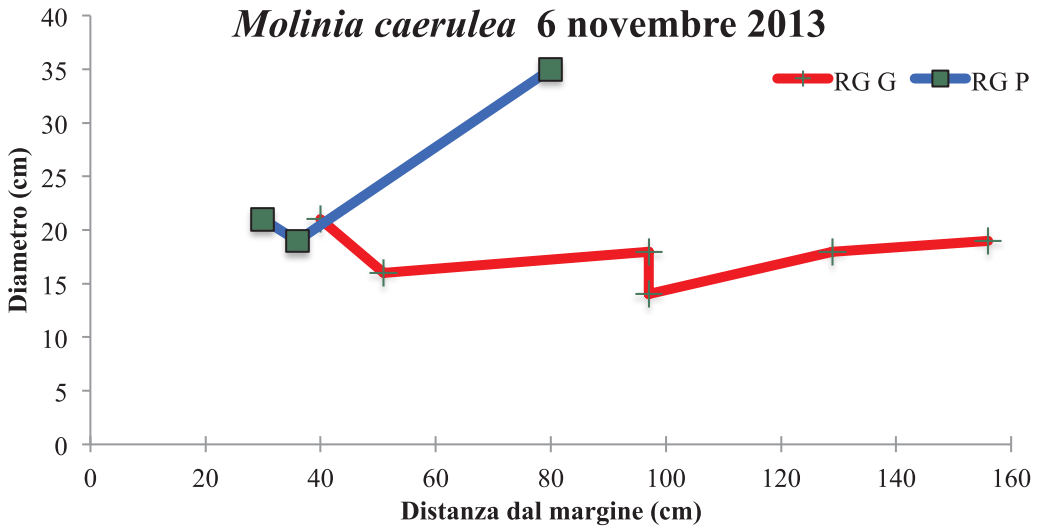


Figura 124: diametro di Molinia caerulea in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

La maggiore attitudine di questa specie allo sviluppo in ambienti umidi emerge anche osservando la produzione di biomassa. Il peso secco delle piante poste più vicine al centro dei giardini è risultato superiore a quello di quelle poste in prossimità del margine (718 g nel rain garden piccolo e 310 g nel rain garden grande) (Fig. 125).

Da notare che rispetto al peso rilevato nel dicembre del 2012 le piante di Molinia del rain garden piccolo hanno raddoppiato la biomassa.

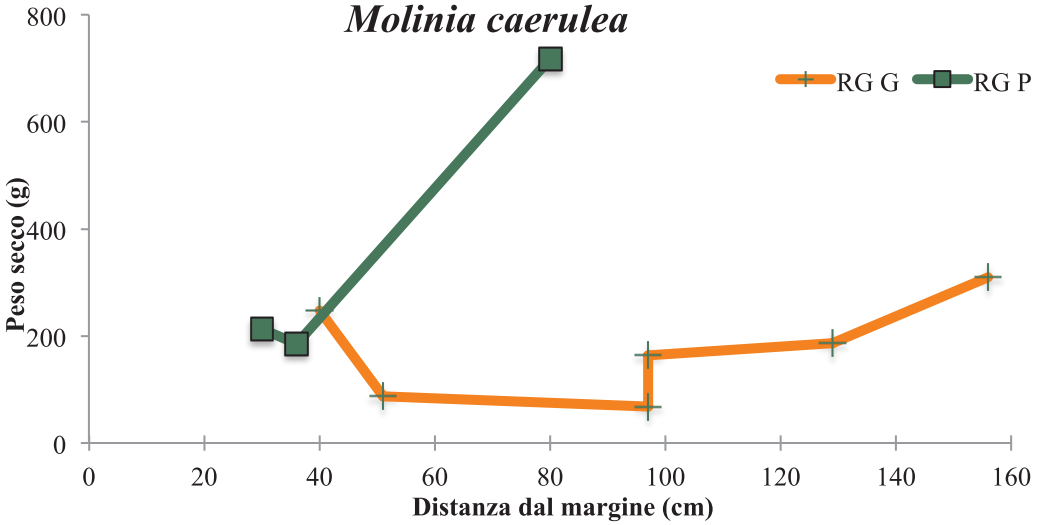


Figura 125: peso secco in *Molinia caerulea* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

Dai rilievi è stato confermato ciò che era stato detto da Simionato (2011) e Simeoni (2013). Le piante si sviluppano meglio in condizioni di maggiore umidità del substrato. Questa teoria è stata avvalorata nel corso dell'estate del 2013 durante la quale non ci sono stati interventi di irrigazione e le piante che si trovano nel rain garden piccolo (dove sono scaricati i deflussi provenienti dal tetto) sono cresciute maggiormente.

Ciò nonostante la relazione tra umidità, accrescimento ed aspetto estetico non ha costituito un problema per *Molinia* che ha dato risultati soddisfacenti in tutte le posizioni.

Saponaria officinalis

Saponaria officinalis è stata piantata il 15 maggio. Dal rilievo eseguito il 23 luglio sembra il numero di accestimenti non sia influenzato dalla posizione rispetto al margine (Fig. 126). Nel rain garden grande il loro numero è abbastanza simile per tutte le piante. In quello piccolo, invece, si alternano piante con un numero maggiore e altre con un numero inferiore.

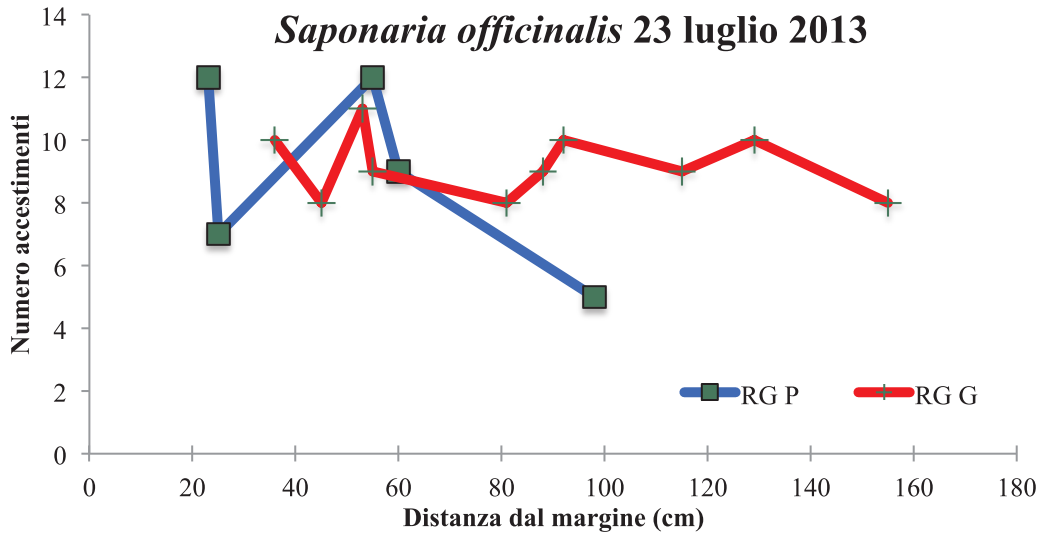


Figura 126: numero accestimenti in *Saponaria officinalis* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

L'altezza delle piante ha avuto invece un comportamento diverso. Nel rain garden piccolo le piante hanno raggiunto valori simili mentre in quello grande c'è stato un graduale aumento dell'altezza passando dal margine alla zona centrale (Fig. 127).

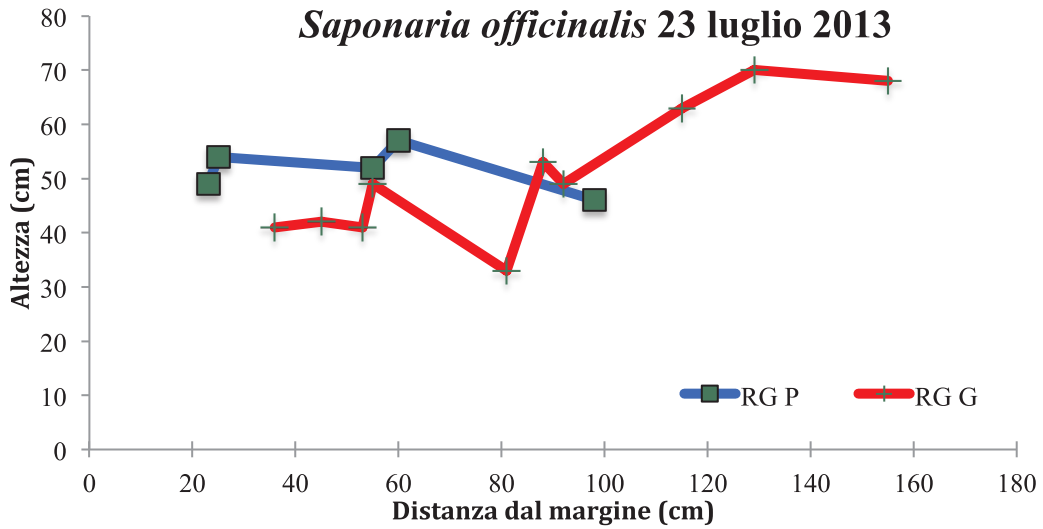


Figura 127: altezza in *Saponaria officinalis* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 23 luglio 2013.

Il 6 novembre sono stati rilevati altezza, numero di accestimenti e infiorescenze. Per quanto riguarda l'altezza, le piante hanno avuto lo stesso comportamento dal margine fin oltre la metà delle parcelle (Fig. 128). In questa zona esse sono cresciute ancora rispetto al rilievo precedente. Le piante più vicine al centro, invece, si sono comportate in modo differente. Rispetto al rilievo precedente, quella del rain garden piccolo è cresciuta ancora anche se meno rispetto alle altre. Nel rain garden grande invece c'è stata una riduzione delle dimensioni. Questo è stato causato principalmente dall'*Iris pseudacorus* posto nella parcella a fianco. Il suo portamento ricadente assunto durante l'estate a causa dello stress idrico, ha ombreggiato parzialmente le piante di *Saponaria* causandone il parziale deperimento.

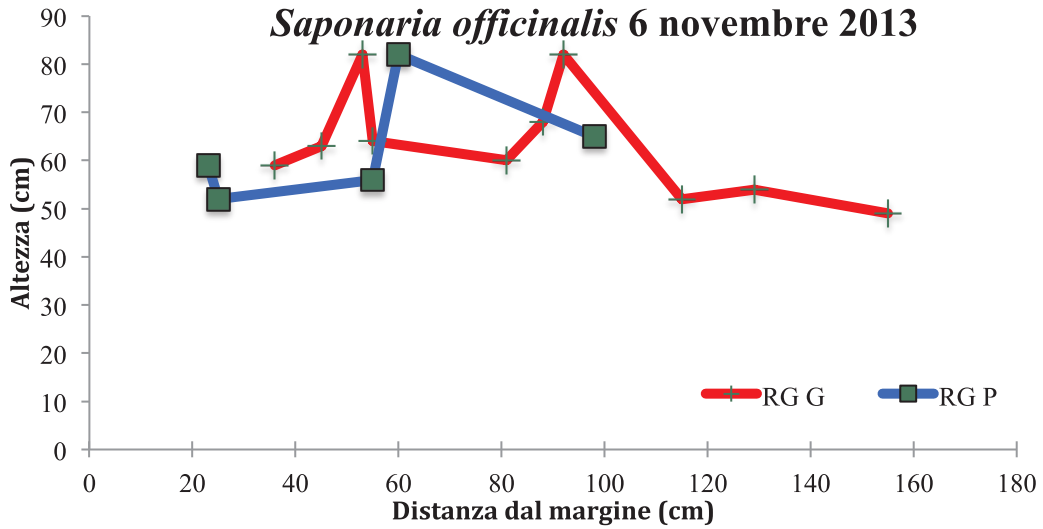


Figura 128: altezza in *Saponaria officinalis* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Anche il numero di accestimenti è stato influenzato dall'ombreggiamento delle piante delle parcelle a fianco. Il loro numero tende ad aumentare dal margine verso la zona centrale in entrambi i giardini (Fig. 129). Questo comportamento è sicuramente favorito dall'aumento dell'umidità che c'è portandosi verso il centro dei giardini. L'ombreggiamento non ha favorito però le piante centrali che infatti hanno prodotto un minor numero di accestimenti. Questa tendenza non è stata causata sicuramente dai maggiori valori di umidità che ci sono in questa zona. Saponaria infatti predilige gli ambienti umidi e soleggiati (Burnie, 1995).

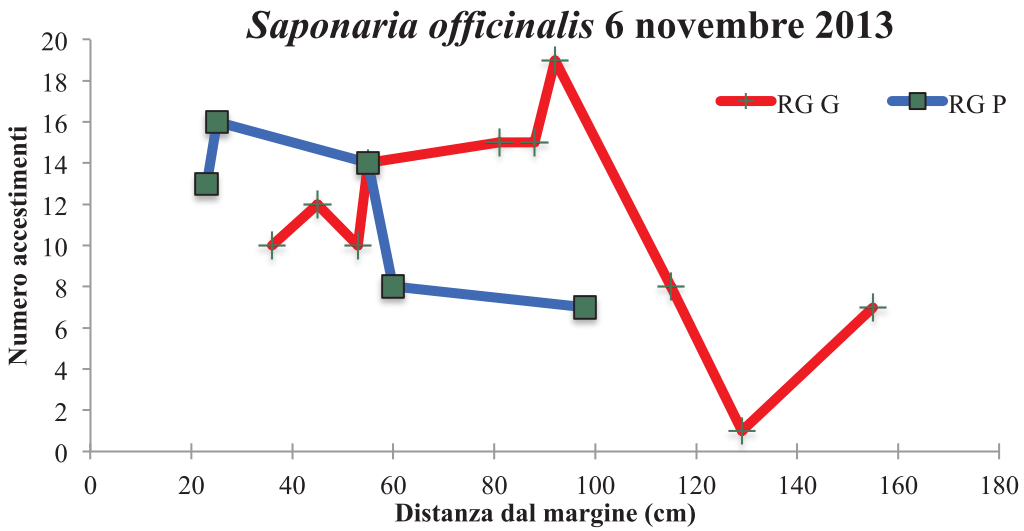


Figura 129: numero accestimenti in *Saponaria officinalis* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Il numero d'infiorescenze contate nel rilievo del 6 novembre è molto simile nei due giardini. Le piante poste più vicine al margine hanno prodotto un numero superiore di fiori rispetto a quelle più vicine al centro (Fig. 130). Da notare che alcune piante, nonostante abbiano prodotto un buon numero di accestimenti, non sono state in grado di produrre molte infiorescenze. Questo è particolarmente evidente per la pianta posta a 92 cm dal margine del rain garden grande che su 19 accestimenti è riuscita a produrre solo 2 infiorescenze.

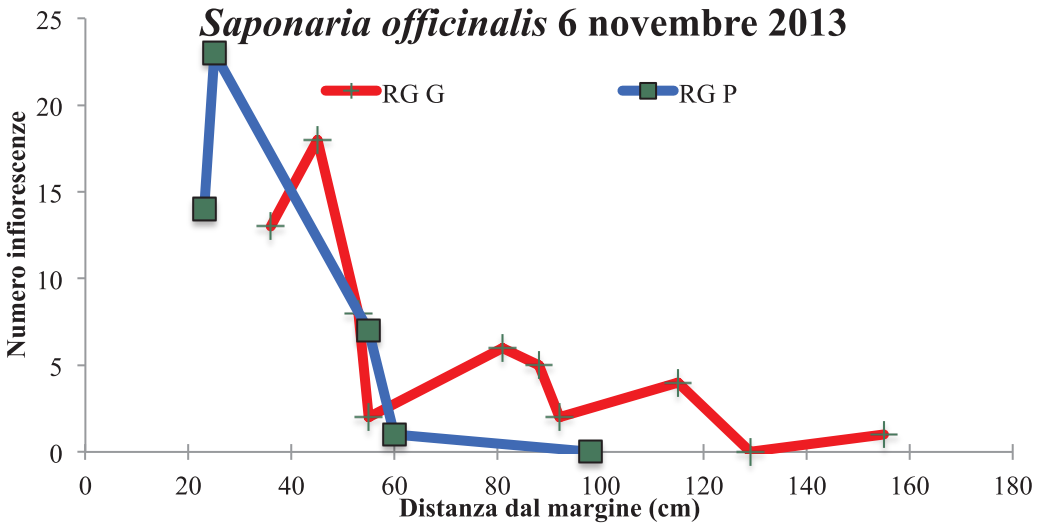


Figura 130: numero infiorescenze in *Saponaria officinalis* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 6 novembre 2013.

Il peso secco rilevato a novembre ha mostrato che ad una distanza intermedia dal margine la biomassa prodotta è stata superiore nel rain garden grande (Fig. 131). In quello piccolo invece il peso secco è risultato direttamente proporzionale alla vicinanza al margine. Questi dati possono essere spiegati considerando sempre l'azione ombreggiante esercitata sulle piante più vicine al centro. Attualmente si potrebbe pensare che valori intermedi di umidità favoriscono la produzione di biomassa da parte di *Saponaria*.

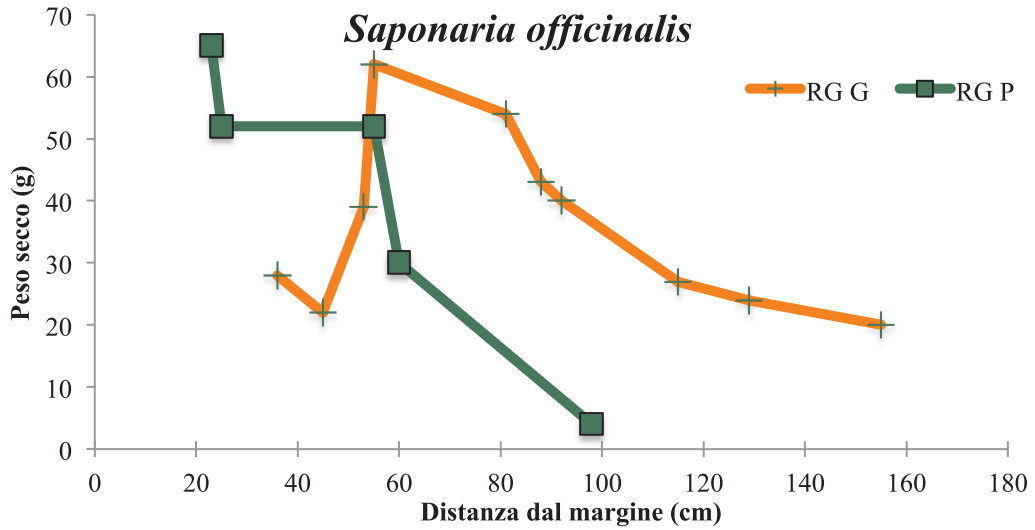


Figura 131: peso secco di *Saponaria officinalis* in funzione della distanza dal margine nel rilievo del 14 novembre 2013.

Al termine del primo anno di sperimentazione possiamo dire che *Saponaria,* nel complesso, ha avuto un buon sviluppo in entrambi i giardini. Anche dal punto di vista estetico i risultati sono stati soddisfacenti. Le piante hanno formato un cuscino molto denso che ha coperto quasi interamente il suolo e impedito la diffusione di malerbe.

Considerazioni su quale possa essere la posizione ideale all'interno di un rain garden dovranno essere fatte dopo ulteriori rilievi.

4.5 RISULTATI PROVE PERMEABILITA'

I risultati ottenuti dalle prove con il Permeametro di Guelph eseguite nei rain garden sono riportati di seguito (Tab. 21).

Tabella 21: risultati delle prove di permeabilità eseguite il 25 ottobre 2013.

Risultati delle misure di permeabilità sui rain garden (metodo di calcolo K_{fs}: two-head analysis)					
Rain garden	**Misura**	**R1 (cm/s)**	**R2 (cm/s)**	**K_{fs} (cm/s)**	**K_{fs} (mm/ora)**
R.G. Grande	Punto centrale*	0,117	0,592	0,0039	139,6
	Punto laterale*	0,020	0,126	0,0009	31,7
R.G. Piccolo	Punto centrale	0,011	0,017	0,0004	14,8
	Punto laterale	0,011	0,022	0,0011	40,3
*misure realizzate con lettura sul cilindro interno					
Risultati delle misure di permeabilità su suolo naturale (metodo di calcolo K_{fs}: one-head analysis)					
Pozzo	**Carico**	**R (cm/s)**	**K_{fs} (cm/s)**	**K_{fs} (mm/ora)**	
1	5 cm	0,009	0,0006	21,1	
2	5cm	0,004	0,0002	9,0	
3	5 cm	0,034	0,0022	79,2	
	10 cm	0,027	0,0010	37,1	
			Valore medio	36,6	

I valori di conducibilità idraulica K_{fs} sono molto diversi tra un giardino pluviale e l'altro. In particolare non sembra realistico il valore calcolato per il centro del rain garden grande.

Considerando che il substrato con il quale sono stati realizzati è identico come anche le piante e gli interventi che sono stati eseguiti, si può affermare che i dati ottenuti non sono attendibili.

Inoltre la permeabilità media del suolo naturale risulta maggiore di quella del substrato rilevata nel centro del rain garden piccolo. Questo dato sicuramente non è reale.

Probabilmente tutto questo è stato causato dai problemi che sono sorti nel corso delle prove.

Le principali problematiche emerse sono:

- deflusso dell'acqua dei cilindri non regolare: ogni tanto questo si bloccava per poi riprendere in modo repentino. I dati che venivano rilevati durante questi deflussi anomali non erano regolari;
- bolle d'aria durante le prove con l'impiego del cilindro interno: nel corso delle prove in cui è stato impiegato il cilindro interno del permeametro c'era una vistosa emissione di bolle d'aria che oltre ad essere anomala non consentiva la lettura corretta dei valori riportati dalle scale graduate.

I valori ottenuti dalla misura dell'umidità relativa % sui campioni di substrato dei giardini pluviali e suolo naturale sono riportati in figura (Tab. 22).

Tabella 22: risultati analisi dell'umidità relativa.

Campione	**Sito**		**Peso suolo umido (g)**	**Peso suolo secco (g)**	**Umidità (%)**
1	Rain garden grande	Punto centrale	251,58	219,96	12,57
2	Rain garden grande	Punto laterale	424,93	363,83	14,38
3	Rain garden piccolo	Punto centrale	561,85	481,06	14,38
4	Rain garden piccolo	Punto laterale	430,6	374,24	13,09
5	Suolo naturale prelevato tra i due rain garden		362,7	282,16	22,21

Da questi emerge chiaramente che nei giardini pluviali dove è stato predisposto un substrato con una elevata percentuale di sabbia, in modo da favorire lo sgrondo dell'acqua, l'umidità relativa percentuale risulta nettamente inferiore a quella del suolo naturale.

Considerando che i deflussi attualmente sono convogliati esclusivamente nel rain garden piccolo ci si potrebbe aspettare dei valori superiori di umidità in questo rispetto al grande in particolare nella zona centrale. Le analisi sono state eseguite però, a fine ottobre dopo un periodo in cui ci sono state abbondanti precipitazioni (100 mm nei 20 giorni precedenti). Questo fattore va sicuramente ad influire sull'umidità rilevata.

Da notare poi che l'umidità misurata dalle sonde inserite al centro dei rain garden è generalmente superiore nel rain garden piccolo rispetto a quello grande. Inoltre il piccolo evento di 0,4 mm è stato rilevato nel giardino pluviale piccolo mentre in quello grande no (Fig. 132).

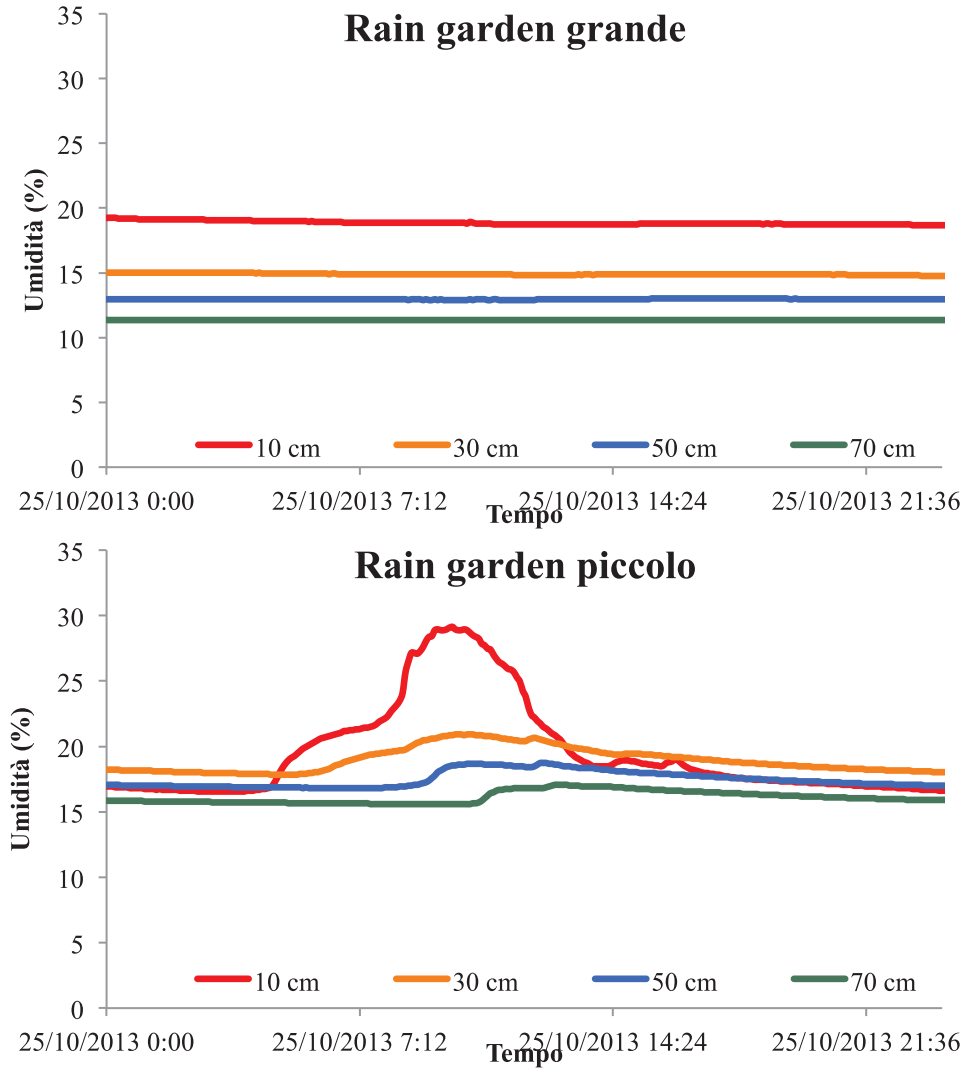


Figura 132: umidità rilevata dalla sonde nei due rain garden nel corso dell'evento del 25 ottobre 2013.

6. CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi ha consentito di effettuare la taratura della strumentazione presente presso i rain garden di Agripolis e il rilievo di dati necessari alla verifica della funzionalità di questo sistema di drenaggio sostenibile dei deflussi di pioggia alternativo ai sistemi tradizionali con caditoie e reti tubate.

La nuova taratura dello stramazzo ha permesso di quantificare in modo corretto i volumi provenienti dal tetto. In particolare, l'equazione empirica che è stata determinata consente di stimare con maggior precisione le basse portate (carichi inferiori a 0,0595 m) che permangono a lungo sullo stramazzo dopo un evento di pioggia, mentre per carichi superiori resta valida l'equazione teorica.

La prova ha permesso di rilevare che il rain garden piccolo di circa 10 m^2 è in grado di gestire i deflussi meteorici provenienti dalla falda di tetto di 67 m^2, dimostrando quindi la bontà del suo dimensionamento pari a circa il 15% dell'area drenante. Infatti, nel corso del periodo giugno – novembre 2013, i volumi totali pervenuti nel giardino pluviale sono stati pari a 30160 litri. La maggior parte dell'acqua (26230 litri pari a circa l'87%) si è infiltrata nel terreno mentre i restanti 3930 litri sono stati persi per evapotraspirazione. Considerando il numero e l'intensità delle precipitazioni analizzate si può affermare che il sistema è adeguato alle condizioni climatiche tipiche della zona.

Nel periodo luglio 2012 – novembre 2013, da quando cioè i deflussi sono scaricati solo nel rain garden piccolo, i volumi totali pervenuti sono stati pari a 116150 litri. Circa 106950 litri (pari a circa il 92% del totale) si sono infiltrati nel suolo mentre i restanti 9200 litri sono stati persi per evapotraspirazione.

Per quanto riguarda l'umidità del substrato, le sonde poste nel rain garden piccolo hanno misurato valori sempre maggiori rispetto a quelli del rain garden grande in virtù dei volumi di drenaggio dal tetto defluiti. La particolare forma a catino del rain garden, che permette l'accumulo di acqua con altezze maggiori nella parte centrale, è stata evidenziata anche dal comportamento dell'umidità del suolo rilevato dalle sonde; infatti, nella zona centrale i valori sono stati più elevati rispetto a quella esterna.

Le condizioni differenti che si sono create tra il centro e la zona marginale, hanno influito sullo sviluppo delle piante. Questo è emerso in entrambi i giardini ed è stato più evidente in quello piccolo in cui più frequentemente si verificavano condizioni di ristagno idrico e più evidente era la differenza di umidità del suolo tra la parte centrale e la parte esterna. I rilievi condotti sulle piante hanno confermato che la disponibilità idrica primaverile è la più importante per l'accrescimento delle specie impiegate.

Essi comunque hanno permesso di evidenziare alcune differenze:

Aster novi belgii 'White Ladies' ha prodotto una biomassa superiore nella zona centrale dove l'umidità è superiore. Dal punto di vista estetico non sono stati rilevati problemi e questa specie può essere impiegata in qualsiasi zona di un rain garden.

Echinacea purpurea 'The King' ha mostrato uno sviluppo migliore nella zona intermedia del rain garden dove l'umidità ha valori intermedi. In particolare questa specie sembra soffrire i ristagni idrici durante l'inverno.

Gazania rigens tollera molto bene le condizioni di stress idrico. L'aumento dell'umidità nel periodo autunnale ha però causato il deperimento di molte piante. Il suo impiego è da valutare solo nei giardini ad elevata manutenzione o comunque dove l'inverno è meno umido.

Rudbeckia fulgida 'Goldsturm' ha confermato che le zone con umidità più elevata consentono a questa specie di svilupparsi con maggior vigore. Nel rain garden grande dove lo stress idrico è stato più elevato, le piante sono deperite ma, grazie all'elevata rusticità che contraddistingue questa specie non sono morte. È preferibile comunque utilizzare questa specie nelle zone più umide del giardino.

Hemerocallis hybrida 'Glittering Treasure' preferisce gli ambienti umidi ma non soffre le condizioni di siccità. Essa può essere impiegata indifferentemente in qualsiasi punto del rain garden. In entrambi i giardini, infatti, non sono emersi segni evidenti di stress.

Iris pseudacorus che ha come habitat naturale gli ambienti umidi ha mostrato comunque buona adattabilità anche a condizioni più xeriche. Il suo impiego è preferibile però dove l'umidità del substrato risulta più elevata.

Lythrum salicaria 'Robert' ha sofferto in modo evidente a causa degli attacchi di *Galerucella sp.* che ne hanno ridotto il valore estetico ma che hanno anche

compromesso lo sviluppo delle piante. Questa specie ha dimostrato comunque di preferire le zone con umidità più elevata.

Molinia caerulea si sviluppa meglio in condizioni di maggiore umidità del substrato. Questo fattore non ha però influito sull'aspetto estetico delle piante che hanno dato buoni risultati in tutte le posizioni.

Saponaria officinalis al termine del primo anno d'impiego ha dato buoni risultati sia come sviluppo che dal punto di vista estetico in tutte le posizioni. Non è ancora possibile valutare però quale sia la migliore posizione d'impianto.

I rilievi effettuati hanno confermato i risultati conseguiti precedentemente e il rain garden dimostra di essere una soluzione ideale, in ambito urbano, per la gestione sostenibile dei deflussi meteorici. Esso fornisce poi numerose esternalità positive in quanto accresce il valore estetico, economico e favorisce l'aumento della biodiversità dell'area dove è installato.

ALLEGATO 1

Descrizione delle specie vegetali

Aster novi – belgii L. (sin. *Symphyotrichum novi – belgii* GL Nesom)

Aster novi – belgii fa parte della famiglia delle *Asteraceae.* Questa è una famiglia con distribuzione cosmopolita e tra le spermatofite è quelle con il più elevato numero di specie.

Il genere *Aster* comprende piante annuali o perenni che possono raggiungere e in alcuni casi superare il metro di altezza. La forma biologica prevalente è emicriptofita scaposa[8] ma sono presenti anche piante a ciclo biologico annuo con forma biologica differente. Le piante di questo genere sono rizomatose e presentano fusto eretto e ramificato. Le foglie sono di due tipi: quelle basali sono disposte a rosetta, intere e a forma oblanceolata con superficie lievemente pubescente; quelle cauline sono disposte in modo alterno e hanno forma spatolato – lanceolata o lineare – lanceolata nella parte superiore. I bordi sono interi o finemente seghettati e la superficie è pubescente. I fiori sono zigomorfi e attinomorfi e sono raccolti in modo da formare un'infiorescenza di tipo corimboso.

L'Astro del Nuovo Belgio o Astro Settembrino (Fig. 133) è una specie originaria del Nord America dove è diffusa lungo la fascia della costa orientale dalla Terranova alla Georgia. La cultivar scelta nella prova è 'White Ladies' che presenta un portamento eretto e molto ramificato nella parte superiore.

[8] Secondo il sistema Raunkiær le emicriptofite sono piante erbacee, bienni o perenni con gemme svernanti al livello del suolo. Le emicriptofite scapose si caratterizzano per avere asse fiorale eretto e spesso privo di foglie.



Figura 133: Aster novi – belgii L.

L'altezza massima raggiungibile è di circa 80 – 90 cm mentre il diametro è di 60 – 80 cm.

I fusti, dritti, sono spesso lignificati nella parte basale mentre nella parte superiore sono pubescenti e di color rossastro.

Le foglie sono larghe da 0,6 a 1,1 cm e lunghe da 1,7 a 6,0 cm. Quelle basali sono picciolate, patenti, lucide, di color verde scuro, con margine intero o debolmente crenato e consistenza membranoso – carnosa. Le foglie del fusto, invece, sono disposte in modo alterno, sono più piccole delle basali, sessili e con la base cuoriforme.

L'infiorescenza è un corimbo con diametro da 2,5 a 3,0 cm formato da diversi capolini.

La cultivar presenta fiori ligulati esterni semi – doppi e disposti su un'unica

circonferenza. La corolla è ligulata con ligula molto allargata color bianco e a tratti magenta tenui. I fiori interni, invece, sono tubolosi, ermafroditi e presentano un colore giallo acceso bruno. Le squame dell'involucro, infine, hanno una disposizione embricata su più serie e patente.

Il frutto ad achenio oblungo è di circa 0,2 – 0,4 cm ed è sormontato da un pappo setoloso e di colore giallo – biancastro.

L'*Aster novii – belgii* 'White Ladies' ha una fioritura estivo – autunnale e in genere avviene tra fine agosto ed ottobre.

Questa cultivar è diffusa nelle zone umide come le fasce ripariali e le zone paludose con substrato calcareo o siliceo e pH tendenzialmente neutro. L'astro è eliofilo ma si sviluppa abbastanza bene anche a mezz'ombra nelle zone a clima particolarmente caldo.

Come tutte le cultivar di Aster, anche quella del Nuovo Belgio, è sensibile all'oidio (*Oidium spp.*), marciumi radicali e tracheomicosi.

Nonostante questo però la specie è adeguata per l'impiego nei giardini pluviali grazie alla sua elevata adattabilità ambientale e pedoclimatica.

Dal punto di vista della manutenzione, l'*Aster novii – belgii* richiede concimazioni sia di tipo organico che minerale in modo da poter supportare la grande quantità di fitomassa prodotta. I cespi, inoltre, andrebbero suddivisi ogni tre anni in modo da restituire vigoria e forza alle piante invecchiate.

Echinacea purpurea (L.) Moench

Echinacea purpurea (L.) Moench è una specie poliennale appartenente al genere *Echinacea*.

Questo genere presenta apparato radicale fascicolato, fusto eretto con un'altezza compresa tra i 50 – 150 cm recante una pubescenza più o meno evidente. Le foglie, disposte in rosetta basale e distribuite lungo il fusto sono lanceolate od ellittiche con margine intero o seghettato e sono provviste di peli.

I fiori, riuniti in un capolino terminale lungamente peduncolato sono di due tipi: quelli della corolla sono ligulati e hanno colore che va dal bianco – rosato al rosa – purpureo mentre quelli centrali sono tubulosi e di colore bruno.

Il frutto è un achenio quadrangolare provvisto di pappo.

Secondo il sistema di classificazione Raunkiær la forma biologica del genere è emicriptofita scaposa con riposo vegetativo invernale.

Nella prova è stata impiegata la cultivar 'The King' (Fig. 134). Questa è originaria del nord dell'America dove è diffusa soprattutto in Virginia, Michigan e Ohio.



Figura 134: *Echinacea purpurea* (L.) Moench

Essa presenta un portamento eretto e ramificato con fusti pubescenti e rossastri. La cultivar raggiunge un'altezza di 70 – 80 cm mentre il diametro massimo è di circa 50 cm. Le foglie, lunghe 6 – 7 cm, hanno lamina lanceolata – ovale di colore verde scuro, consistenza rugosa e margine più o meno seghettato.

Gli steli fiorali sono rigidi e poco ramificati e alla sommità portano una singola infiorescenza a capolino di circa 10 cm. Questa presenta disco centrale con fiori tubulosi di color bruno – aranciato mentre all'estremità del disco sono inseriti i

fiori ligulati di circa 5 – 6 cm di colore rosa – porpora. Essi inizialmente sono piatti mentre a fine fioritura tendono ad essere ricurvi verso il basso.

L'*Echinacea* è una specie che mostra una notevole adattabilità alle diverse condizioni ambientali. Essa preferisce comunque suoli freschi, fertili, ben drenati tendenti al sabbioso con esposizione soleggiata.

Grazie alla sua ampia adattabilità questa specie è molto utilizzata per la realizzazione di giardini pluviali sia nel continente americano che in quello europeo. Un ulteriore pregio di questa specie è la sua fioritura appariscente e prolungata che inizia a giugno e si protrae poi fino a settembre.

Gazania rigens (L.) Gaertn

Gazania rigens (L.) Gaertn fa parte del genere *Gazania* originaio dell'Africa meridionale e composto da piante erbacee perenni.

Le specie appartenenti a questo genere presentano rosette basali di foglie con pagina superiore lucida e di colore verde scuro e pagina inferiore glauca. In alcune specie entrambe le pagine sono ricoperte da una leggera pubescenza.

Dal centro della rosetta di foglie le Gazanie producono numerosi fusti carnosi alti 15 – 30 cm che portano infiorescenze a capolino di colore giallo – rosso più o meno intenso. Ogni fiore può produrre numerosi semi fusiformi ed appuntiti caratterizzati da una corona di peli piumosi.

Gazania rigens (Fig. 135) è una emicriptofita cespitosa[9] caratterizzata da una elevata resistenza alla siccità.

Questa specie presenta foglie sempreverdi poste in rosetta basale, di forma allungata, lunghe 10 – 13 cm e larghe 12 – 13 mm. Esse sono grigio - verde scuro e lucide sulla pagina superiore mentre sulla pagina inferiore sono coperte da peli bianchi.

[9] Piante erbacee bienni o perenni con gemme svernanti a livello del terreno e con aspetto di ciuffi serrati. Le gemme, protette dalla neve, dal fogliame caduto o dalle parti aeree morte della pianta stessa fruiscono del calore latente accumulato al suolo.



Figura 135: *Gazania rigens* (L.) Gaertn

I fiori, che raggiungono in media un'altezza di 7 – 8 cm, sono posti in infiorescenza a corimbo.

Quelli posti sulla corona sono ligulati e di colore arancio mentre quelli al centro sono tubulosi, di colore marrone scuro e punteggiati di bianco. Se posta in coltivazione in pieno sole questa pianta riesce a fiorire da giugno a settembre. Essa non sopporta i ristagni idrici e per questo motivo si sviluppa bene su suoli sabbiosi. In estate tollera la siccità mentre in inverno, alle nostre latitudini, deve essere riparata e innaffiata solo se strettamente necessario. Proprio per queste caratteristica, Gazania si presta alla realizzazione di bordure annuali in pieno sole in condizioni di elevato deficit idrico.

Rudbeckia fulgida Ait.

Questa specie fa parte del genere *Rudbeckia* che comprende piante erbacee annuali o perenni con infiorescenza tipica delle *Asteraceae* a capolino. Il genere *Rudbeckia* non presenta una forma biologica prevalente ma, in base al sistema di

classificazione Raunkiær, ci sono specie con forma biologica emicriptofita e altre geofite.

L'apparato radicale è in genere rizomatoso mentre il fusto è eretto e poco ramificato. Le foglie possono essere sia intere che composte a disposizione alterna e opposta. La forma (anche delle foglie composte) può essere ovata o lanceolata con apice appuntito. I margini sono in genere dentati. Le foglie basali sono picciolate mentre quelle cauline possono essere sub – sessili. L'infiorescenza è formata da capolini medio – grandi e sono posti alla sommità di lunghi peduncoli terminali. Essi presentano la struttura tipica dei fiori delle *Asteraceae.*

Nel giardino pluviale è stata impiegata Rudbeckia fulgida varietas Sullivantii, cultivar Goldstrum (Fig. 136).



Figura 136: *Rudbeckia fulgida* Ait.

Essa presenta un portamento eretto e arrotondato con un'altezza massima di 70 – 80 cm e un diametro di 50 – 60 cm. La forma biologica è geofita bulbosa[10] con apparato radicale di tipo rizomatoso con grossi rizomi che formano un cespo basale dal quale si originano fusti eretti, leggermente pubescenti e di color verde

[10] Le geofite sono piante perenni erbacce che portano le gemme in posizione sotterranea. Durante la stagione avversa non presentano organi aerei e le gemme si trovano in organi sotterranei come bulbi, tuberi e rizomi. Le geofite bulbose sono provviste di bulbo che è un organo di riserva che annualmente produce nuovi fusti, foglie e fiori.

scuro.

Le foglie della parte basale hanno forma ovato – lanceolata o lanceolato – ellittica con base leggermente cuoriforme e di colore verde scuro brillante. La lamina è leggermente tomentosa con margine intero o scarsamente seghettato. Le foglie della parte basale sono di forma simile alle altre ma più allungate e allargate superiormente.

Gli steli fiorali sono glabri e molto ramificati e portano da due a sette infiorescenze a capolino con diametro che può arrivare a 12 cm. Il capolino presenta disco centrale di forma ovoidale con fiori tubulosi color marrone scuro e fiori ligulati color giallo dorato scuro. La fioritura inizia nel mese di luglio e si protrae fin oltre settembre quando le condizioni sono favorevoli. Nel periodo autunno – invernale questa specie è in grado di conservare un certo interesse dal punto di vista estetico dato dal disco centrale dell'infiorescenza che permane sulla pianta. In questo periodo inoltre la pianta è in grado di fornire nutrimento per gli uccelli attraverso i semi.

Rudbeckia fulgida predilige un substrato mediamente umido e ricco di sostanza organica con esposizione in pieno sole o ombra parziale.

Rudbeckia è largamente utilizzata per la realizzazione di rain garden negli Stati Uniti. Essa necessità, infatti, di un livello di umidità medio e riesce a tollerare molto bene gli sbalzi idrici.

Hemerocallis hybrida L.

Questa specie fa parte, attualmente, della famiglia delle *Xanthorrhoeaceae*. La classificazione APG III del 2009 ha suddiviso tale famiglia in tre sottofamiglie: *Asphodeloideae, Hemerocallidoideae* e *Xanthorrhoeoideae* che in precedenza erano considerate come tre famiglie a se stanti. Il genere *Hemerocallidoideae* comprende tutte specie erbacee perenni decidue, semipersistenti o sempreverdi, originarie del Giappone, della Cina, dell'Asia Nord-Orientale e dell'Europa Orientale.

Le specie appartenenti a questo genere sono molto numerose grazie al lavoro svolto dagli ibridatori che hanno eseguito diversi miglioramenti di tipo estetico e genetico tali da favorire l'adattamento a situazioni pedoclimatiche molto differenti. Queste piante sono rustiche e in grado di resistere a temperature da + 60 °C a – 20 °C ed a lunghi periodi di siccità.

Per questa prova è stata scelta la cultivar 'Glittering Treasure' (Fig. 137), specie semipersistente.



Figura 137: *Hemerocallis hybrida* L.

Secondo il sistema di classificazione Raunkiær questa specie è una geofita bulbosa. Essa presenta un portamento eretto con foglie che si dipartono da un cespo basale. Questa specie è in grado di raggiungere un'altezza massima di 70 – 80 cm e un diametro di circa 60 cm.

L'apparato radicale è di tipo rizomatoso con radici fascicolate e molto carnose in grado di accumulare molta acqua. Tale peculiarità consente a queste piante di resistere a lunghi periodi di siccità.

Le foglie sono lineari, lanceolate, nastriformi e arcuate e lunghe circa 50 – 60 cm e larghe 1 – 2 cm. Esse presentano lamina lucida e sono riunite in ciuffi di colore verde chiaro.

I fiori, che sono posti al di sopra delle foglie, sono riuniti in infiorescenze a

racemo con cinque – nove fiori di tipo imbutiforme lunghi 8 – 12 cm e larghi 12 – 14 cm. La loro caratteristica peculiare è che la loro durata è limitata ad un solo giorno.

I fiori degli *Hemerocallis* presentano corolla di tipo gamopetalo con tre petali e calice gamosepalo con tre sepali. Ognuno presenta una venatura dello stesso colore o di un colore contrastante mentre la parte centrale del fiore, chiamata gola, ha un colore diverso rispetto alle aree più distali dei petali. La cultivar del giardino pluviale presenta fiori singoli di colore giallo vivo, arricciati e profumati a comparsa estiva tra la fine di giugno e la metà di agosto.

Gli *Hemerocallis* sono largamente impiegati nei giardini pluviali perché sono piante molto gradevoli dal punto di vista estetico per la fioritura e per la capacità di formare una copertura bassa e uniforme a maturità e poi sono in grado di sopportare lunghi periodi di siccità.

Iris pseudacorus L.

L'*Iris pseudacorus* o Giaggiolo d'Acqua è una specie erbacea perenne della famiglia delle *Iridaceae*.

La famiglia delle *Iridaceae* è rappresentata da un piccolo gruppo di specie, circa 900, piuttosto omogeneo nelle forme e distribuito in tutti i continenti. Si tratta di piante erbacee provviste di bulbo, tubero o rizoma, con foglie generalmente alterne e senza stipole. I fiori sono attinomorfi o più raramente zigomorfi, tetraciclici e trimeri. Il perigonio è formato da due verticilli di tre tepali. L'androceo presenta un solo verticillo di tre stami e il gineceo tre carpelli concresciuti in un ovario infero triloculare o uniloculare per riduzione dei setti. Il frutto è una capsula. L'impollinazione è entomogama od ornitogama.

Iris pseudacorus L. (Fig. 138) è una specie presente in tutta Europa classificata secondo il sistema Raunkiær come geofita rizomatosa[11].

[11] Le geofite sono piante perenni erbacce che portano le gemme in posizione sotterranea. Durante la stagione avversa non presentano organi aerei e le gemme si trovano in organi sotterranei come bulbi, tuberi e rizomi. Le geofite rizomatose sono piante perenni dotate di rizoma, un fusto sotterraneo dal quale ogni anno si dipartono radici e fusti aerei.



Figura 138: *Iris pseudacorus* L.

Essa presenta portamento eretto con un'altezza variabile tra 40 cm e 130 cm e un diametro di 50 – 60 cm.

L'apparato radicale è formato da rizomi striscianti di grosse dimensioni di colore bruno all'esterno e rossastro e con consistenza spugnosa all'interno.

I fusti sono glabri, arrotondati e ramificati in alto e compressi. Le foglie sono, invece, larghe e piatte e a forma di spada. Esse sono raggruppate alla base in mazzetti di 5 – 10 foglie: sono lunghe come il fusto e lo avvolgono fino ad un terzo. Alcune foglie sono presenti anche lungo lo stelo fiorale ma differiscono dalle altre perché sono più corte.

I fiori sono posti in un'infiorescenza a spadice che può presentare fino a dodici

fiori. I singoli fiori, grandi 7 – 10 cm, sono di colore giallo intenso e sono posti su lunghi peduncoli. Essi presentano tre petali riflessi verso l'esterno con striature radiali di colore scuro e tre interni, dritti più lunghi che larghi. La fioritura è precoce e avviene da fine aprile a giugno.

Il frutto è una capsula ellittico – trigona, contenente semi appiattiti di colore marrone, che a maturazione si apre consentendo il rilascio dei semi stessi.

Iris pseudacorus è una pianta largamente diffusa in tutta Italia (tranne Valle d'Aosta) fino a 300 m s.l.m. soprattutto nelle zone umide che si formano lungo fiumi, laghi o rogge dove sono presenti anche substrati umidi e fertili. Essa è molto resistente e facilmente coltivabile e per questo motivo è impiegata negli interventi di restauro ecologico di zone umide e paludose.

Lythrum salicaria L.

La salcerella fa parte della famiglia delle *Lythraceae* che comprende piante per lo più erbacee ma anche arbusti e alcuni alberi. La maggior parte delle specie di questa famiglia sono diffuse nelle zone tropicali ma esse sono presenti anche nelle regioni a clima temperato.

Le foglie sono generalmente opposte ma alcune specie presentano anche foglie alterne o verticillate. La lamina è pennata a margine liscio. Le foglie possono poi essere provviste di stipole ridotte in alcuni casi ad una fila di peli.

I fiori sono a simmetria radiale o bilaterale e presentano 4 – 8 sepali e petali. Una caratteristica peculiare dei fiori di questa famiglia è data dai petali che fin da subito sono accartocciati e rugosi.

Nella prova è impiegato *Lythrum salicaria* 'Robert' (Fig. 139). Questa è una pianta erbacea diffusa soprattutto nel nord dell'Africa, Europa e Asia Occidentale. Secondo il sistema di classificazione Raunkiær essa è una emicriptofita scaposa.



Figura 139: *Lythrum salicaria* L.

La Salcerella è una pianta in grado di formare un cespuglio legnoso alla base alto 60 – 70 cm e con un diametro massimo di 60 cm formato da numerosi fusti.
L'apparato radicale è un rizoma ingrossato e nodoso a forma di fuso mentre il fusto è eretto a sezione quadrangolare e di colore rossastro nei getti più giovani.
Le foglie, lunghe fino a 10 cm, sono opposte o verticillate a gruppi di 2 - 3 nella parte basale mentre sono alterne o sparse nella parte più alta del fusto. Esse hanno forma lanceolata – acuta con base arrotondata o cuoriforme e apice acuminato. Esse inoltre sono sessili e debolmente pubescenti.
I fiori sono posti in infiorescenze a spiga lunghe 20 – 30 cm. I singoli fiori sono di colore rosso carmino e sono riuniti in falsi verticilli alle ascelle di brattee terminali. Essi hanno sei sepali triangolari e sei petali patenti, lanceolati e ottusi.

La fioritura della cultivar adottata nel giardino avviene tra luglio e ottobre.
Il frutto è una capsula deiscente di 0,3 – 0,4 cm contenete numerosi semi di colore bruno – giallastro.
La Salcerella, come *Iris pseudacorus*, è diffusa negli ambienti umidi. Essa, comunque, è in grado di sopportare lunghi periodi all'asciutto quando è ben insediata.
Proprio per queste peculiarità e per la sua ornamentalità essa è ampiamente utilizzata nei rain garden. L'unico problema che presenta è che in condizioni di sviluppo ottimali essa tende a divenire invasiva.

Molinia caerulea (L.) Moench

La gramigna liscia fa parte della famiglia delle *Poaceae* (sin. *Graminaceae*). Questa è una famiglia molto omogenea che comprende circa 5000 specie, quasi tutte erbacee, annue o perenni, distribuite su tutta la superficie terrestre. Spesso costituiscono da sole il principale componente di molti ambienti erbacei, quali pascoli, praterie, savane o steppe e si adattano a sopravvivere in condizioni climatiche estremamente variabili.
I fusti detti culmi si presentano cilindrici divisi in nodi e internodi, con foglie alterne formate da una parte inferiore avvolgente il culmo (guaina) e una parte superiore libera lineare o filiforme (lamina).
I fiori sono ermafroditi o unisessuali con perianzio ridotto formato dalla glumetta superiore (palea) e da 1-2 squamette poco visibili dette lodicule. Gli stami sono da uno a sei (generalmente 3) mentre l'ovario è supero monocarpellare e uniloculare.
I fiori sono raccolti in infiorescenze a spighetta. La spighetta, che può essere formato da uno o più fiori, è provvista di un asse detto rachilla alla cui base sono poste due brattee sterili opposte, le glume, al di sopra delle quali si trovano i fiori.
Le spighette sono riunite in infiorescenze composte, che possono essere a spiga, capolino o pannocchia. Le graminacee hanno un'impollinazione per lo più anemogama.
Nell'ambito delle singole specie esiste un'ampia variabilità relativamente all'epoca di fioritura.
Il frutto delle graminacee è un particolare tipo di achenio, detto "cariosside", caratterizzato da un abbondante albume farinoso, ricco di amido.
Molinia caerulea (Fig. 140) è un'erbacea poliennale appartenente alla sottospecie

Graminae. Essa si è diffusa partendo dall'Europa e dall'Asia settentrionale e Sud – Occidentale e ha forma biologica di tipo emicriptofita cespitoso.



Figura 140: *Molinia caerulea* (L.) Moench.

Essa presenta un portamento eretto e ricadente nella parte più alta e tende a formare cespi la cui forma, grandezza e colore sono molto variabili. Di norma i culmi raggiungono un'altezza di 80 – 120 cm e un diametro di 50 – 60 cm. Questi presentano nodi corti nella parte bassa e più lunghi in quella alta. In alcuni casi possono essere anche assenti.

Le foglie sono larghe fino a 0,6 cm, sono piane e leggermente convolute. La pagina superiore è scabra e leggermente cigliata lungo il margine che risulta essere inoltre tagliente. La ligula è sostituita da ciuffi di peli brevi. Il colore della lamina è blu – verdastro grigio.

Le infiorescenze, lunghe fino a 30 cm, sono di tipo a pannocchia di spighette (quest'ultime lunghe 0,6 – 0,8 cm), sono prive di resta ed ermafrodite. Queste sono prima dense e contratte e poi lasse ed espanse e fioriscono verso la fine

dell'estate. Esse presentano un colore che va dal blu – ardesia al verde – violaceo. Il frutto, una cariosside tipica della famiglia delle Poaceae, è di color bronzo e contiene semi che persistono sulla pianta durante l'inverno.
La Molinia è una specie calciofila, diffusa in ambienti umidi quali torbiere basse e di transizione, prati umidi torbosi, boschi torbosi a pinete e peccete, boschi misti a caducifogli come ontaneti, pioppeti e frassineti umidi. Essa comunque presenta una buona plasticità tanto da essere in grado di adattarsi anche a condizioni di forte aridità.
Tali caratteristiche hanno portato all'utilizzo di questa specie nei giardini pluviali di Agripolis.

Saponaria officinalis L.

Saponaria officinalis fa parte della famiglia delle *Caryophyllaceae*. Questa famiglia comprende specie erbacee sia annuali che perenni con fusti che presentano nodi ben evidenti e foglie opposte. I fiori sono ermafroditi a simmetria raggiata dipoclamidati o eteroclamidati con cinque sepali liberi o concresciuti, cinque petali liberi, cinque o dieci stami, un ovario supero e frutto a capsula contenente semi spesso con forma reniforme.
Saponaria officinalis (Fig. 141) è una specie della famiglia delle Caryophyllaceae classificata come emicriptofita scaposa dal sistema di classificazione Raunkiær.
Essa presenta apparato radicale di tipo stolonifero e fusti eretti normalmente glabri. Questi sono disposti lassamente creando un cuscino che ricopre completamente il terreno e che dona alla pianta un aspetto scomposto.



Figura 141: *Saponaria officinalis* L.

Le foglie sono ovate – lanceolate, lunghe 4 – 7 cm, prevalentemente sessili, con apici appuntiti e tre nervature parallele.

I fiori sono raggruppati in dense infiorescenze opposte con gruppo terminale alla cima dello stelo. I singoli fiori sono pressoché sessili, hanno petali rosa a margine intero e calice spesso sfumato di rosso.

Il frutto è una capsula cilindrica che si fessura per liberare i semi.

Questa pianta predilige ambienti umidi in pieno sole o parzialmente ombreggiati. Essa non è esigente dal punto di vista pedologico e può essere trovata su terreni argillosi, ghiaiosi o sabbiosi. Gli habitat ideali sono le sponde dei corsi d'acqua, i bordi delle strade e delle ferrovie. È originaria dell'Europa dove è presente fino alla Siberia.

Essa si diffonde in modo anche aggressivo grazie agli stoloni di cui è provvista e

alla sua resistenza a parassiti e malattie riuscendo a formare una copertura compatta che contrasta lo sviluppo delle infestanti.

Bibliografia consultata

Burnie, D. 1995. Fiori spontanei del Mediterraneo. Fabbri editori, Milano.

Dalla Fior, G. 1985. La nostra flora. G. B. Monauni, Trento.

Darke, R. 2004. Timber press pocket guide to ornamental grasses. Timber press, Portland.

Di Sabato, T. – Aust. 2006. The well- tended perennial garden. Timber press, Portland.

Dunnett, N., Clayden A. 2007. Rain gardens: managing water sustaunably in the garden and designed landscape. Timber Press, Portland.

Lewis, E. 2001. Water gardens. Meredith corporation, Des Moines.

Linnegar, S. 1990. Iris. P. 196 – 197. In Brickell, C. (a cura di), La grande enciclopedia delle piante e dei fiori. Arnoldo Mondadori editore, Milano.

Mackenzie, D. S. 2006. Timber press pocket guide to ground covers. Timber press, Portland.

Phillips, R. e Rix, M. 1991. The random house book of perennials, Vol. 1. Randon house, New York.

Phillips, R. e Rix, M. 1991. The random house book of perennials, Vol. 2. Randon house, New York.

Pignatti, S. 1982. Flora d'Italia. Edagricole, Bologna.

Still, S. M. 1980. Manual of herbaceous ornamental plants. Stipes publishing, Champaign.

BIBLIOGRAFIA

AA. VV., 2000. Low impact development – A literature review. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.

AA. VV., 2005. Climate change and river flooding in Europe. European Environment Agency, Copenaghen.

AA. VV., 2006. Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual. Cahill Associates Inc. West chester, Pennsylvania, U.S.A. 642 pp.

AA. VV., 2009a. Rain garden – Rain garden manual for South Carolina. Clemson university public service activities, Clemson.

AA. VV., 2009b. The Vermont rain garden manual. "Gardening to adsorb the storm". Vermont Association of Conservation Districts, Waitsfield.

AA. VV., 2011a. Acqua per la vita: il contributo della direttiva quadro sulle acque alla salvaguardia delle risorse europee. Commissione europea. Lussemburgo, 25 pp.

AA. VV., 2011b. L'ambiente in Europa: seconda valutazione – Degrado del suolo. European Environment Agency, Copenaghen.

AA. VV., 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. European Environment Agency, Copenaghen.

AA. VV., 2013. Carta dei suoli della provincia di Padova. ARPAV-Servizio Osservatorio Suolo e Bonifiche.

Bannerman, R. e Considine, E., 2003. Rain gardens – A how to manual for homeowners. Wisconsin Department of Natural Resources , U.S. Geological Survey. Board of Regents of the University of Wisconsin System. 32 pp.

Bigolaro Varotto, A., 2007. Valutazione ed impiego di un modello per la simulazione del bilancio idrico nel terreno. Relatore Borin M. Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzione Vegetali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro

Boschet, A. F., Hunt, D. T. E., Lack, T. J., Lallana, C., Nixon, S.C., 2000. Uso sostenibile dell'acqua in Europa? Stato, prospettive e problemi. European Environment Agency, Copenaghen.

Brusaferro, D., 2013. Analisi dei flussi d'acqua piovana nel giardino pluviale di Agripolis. Relatore Bortolini L., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Castellari, S. 2013. Focal point IPCC per l'Italia. Centro Euro – Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Lecce.

Colomb, V., Correale Santacroce, F., Dupraz, C., Freyssinel, G., Hamon, X., Liagre, F. 2011. Agroforestazione, produrre con gli alberi per un'agricoltura differente. Veneto Agricoltura, Legnaro.

Commissione europea, 2010. Carenza idrica e siccità nell'Unione europea. EU Book shop, Lussemburgo.

Conte, D., 2012. Aree pedonali e carrabili per il riequilibrio idrologico. Relatore Bortolini L., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Correale Santacroce, F., Dalla Valle, C., Rizzi, A. 2011. Fasce boscate lungo le arterie viarie. Veneto Agricoltura, Legnaro.

Davis A.P., Shokouhian M., Sharma H., Minami C., 2006. Water quality improvement through bioretention media: nitrogen and phosphorus removal. Water Environ. Res., 78(3), 284-293.

Dietz, M. E. 2007. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions. Water air soil pollut 186, 351 – 363.

Gisonni, C., Hager, W. H. 2013. Idraulica dei sistemi fognari: dalla teoria alla pratica. Springer, Berlino.

Hager, W. H. 1990. Scharfkantiger Dreieckuberfall [Stramazzi triangolari in parete sottile]. Springer, Berlino.

Hinman, C., e WSU extension faculty. 2007. Rain garden handbook for Western Washington homeowners. WSU Extension Pierce County, Tacoma.

IPCC. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Cambridge university press, New York.

Kerry, E. 2008. Piccola lezione sul clima. Società editrice il mulino, Bologna.

Merzi, E., 2013. Gestione sostenibile delle acque meteoriche: caso studio in un parcheggio di Verona. Relatore Bortolini L., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Michielan, E., 2013. Le piante del rain garden di Agripolis. Valutazione dell'adattabilità alle condizioni idriche. Relatore Bortolini L., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Press, F., Siever, R., Grotzinger, J., e Jordan, T. H. 2006. Capire la terra. Zanichelli editore, Bologna.

Prince George's County Department of Environmental Resources Programs and Planning Division. 2001. The Bioretention Manual, Maryland.

Simeoni, E., 2013. Relatore Bortolini L., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Simionato, D., 2012. Progettazione, realizzazione e prime valutazioni idrologico – vegetazionali del rain garden di Agripolis. Relatore Bortolini L., Dipartimento Territorio e Sistemi Agro – Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Smith, T. M. e Smith, L. S. 2009. Elementi di ecologia. Pearson Paravia Bruno Mondadori, Torino.

Ubertini, L. 2009. La mitigazione del rischio idraulico. Società geologica italiana, Roma.

Violante, P. 2005. Chimica del suolo e della nutrizione delle piante. Edagricole, Bologna.