



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI
Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali
Curriculum in Progettazione e Gestione delle Aree Verdi

**GESTIONE SOSTENIBILE DEI DEFLUSSI DI PIOGGIA
NELLA PIANURA VENETA: RISULTATI PRELIMINARI DEI
MICROCOSMI DI TETTO VERDE AD AGRIPOLIS**

Relatore

Dott.ssa Lucia Bortolini

Correlatore

Dott. Francesco Bettella

Dott. Giampaolo Zanin

Laureando

Alessandro Simonato

Matricola n. 1034054

ANNO ACCADEMICO 2014 - 2015

INDICE

RIASSUNTO	6
ABSTRACT	8
PREMESSA	9
1. INTRODUZIONE	11
1.1. L'EVOLUZIONE NEL TEMPO DEI GIARDINI PENSILI.....	11
1.1.1. DALL'ANTICHITA' SINO AL 1865.....	12
1.1.2. DAL 1865 AL SECONDO DOPOGUERRA.....	16
1.1.3. AI GIORNI NOSTRI.....	16
1.2. ASPETTI GENERALI	17
1.2.1. ECOSYSTEM SERVICES.....	17
1.2.2. S.U.D.S. (Sustainable Urban Drainage Systems).....	18
1.3. I BENEFICI DI UNA COPERTURA A TETTO VERDE	20
1.3.1. BILANCIO ENERGETICO E RIDUZIONE DEI COSTI.....	22
1.3.2. U.H.I. – ISOLA DI CALORE URBANO	26
1.3.3. MIGLIORAMENTO DELLA QUALITA' DELL'ARIA.....	29
1.3.4. ISOLAMENTO ACUSTICO	31
1.3.5. AUMENTO DELLA DURATA DEL TETTO NEL TEMPO.....	32
1.3.6. BIODIVERSITA' E PROTEZIONE DI SPECIE ANIMALI E VEGETALI.....	32
1.3.7. AMENITA'.....	33
1.3.8. GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE METEORICHE (ACCUMULO E DRENAGGIO).....	34
1.3.9. TETTI VERDI E PANNELLI FOTOVOLTAICI.....	37
1.4. NORMATIVE DI RIFERIMENTO, LEGGI NAZIONALI E POLITICHE DI SOSTEGNO ALLA REALIZZAZIONE DI TETTI VERDI.....	39
1.4.1. LA NORMA UNI 11235:2007	39

1.4.2.	LA NORMATIVA NAZIONALE	42
1.4.2.1.	LA LEGGE REGIONALE DEL VENETO.....	44
1.4.2.2.	L'INDICE R.I.E. DELLA CITTA' DI BOLZANO	44
1.4.3.	LA NORMATIVA EUROPEA	46
2.	LE DIVERSE TIPOLOGIE DI TETTO VERDE	46
2.1.	ASPETTI GENERALI.....	46
2.1.1.	IL VERDE PENSILE ESTENSIVO	47
2.1.2.	IL VERDE PENSILE INTENSIVO.....	48
2.1.2.1.	TETTO VERDE INTENSIVO LEGGERO.....	51
2.2.	LA COMPOSIZIONE DI UN TETTO VERDE.....	52
2.2.1.	GLI STRATI E GLI ELEMENTI DI UN TETTO VERDE.....	52
3.	OBIETTIVI DELLA TESI.....	62
4.	MATERIALI E METODI	63
4.1.	FASI PREPARATORIE E ANALISI DEL SITO SCELTO PER LA PROVA	63
4.1.1.	DESCRIZIONE E RACCOLTA DEL MATERIALE VEGETALE	64
4.1.1.1.	ANALISI DELL'AREA DEL MEDIO CORSO BRENTA.....	84
4.1.2.	PROPAGAZIONE DELLE SPECIE RACCOLTE.....	88
4.2.	INQUADRAMENTO DELL'AREA SCELTA PER LA PROVA.....	91
4.3.	FASI COSTRUTTIVE.....	96
4.3.1.	DESCRIZIONE DEI MATERIALI UTILIZZATI	96
4.3.2.	ASSEMBLAGGIO DEL MATERIALE PER LA PROVA.....	104
4.3.3.	MESSA A DIMORA DELLE PIANTE.....	107
4.3.4.	SONDE DI UMIDITA' E TEMPERATURA	108
4.4.	PESO DIRETTO DELLE CASSETTE.....	110
4.5.	SIMULATORE DI PIOGGIA.....	110

4.5.1.	ANALISI STATISTICO PROBABILISTICA DELLE PIOGGE INTENSE	115
4.5.2.	CARATTERIZZAZIONE PRELIMINARE DEI SUBSTRATI COLTURALI	117
4.5.3.	PROCEDURA DI REALIZZAZIONE DELLE PROVE CON SIMULATORE DI PIOGGIA	118
4.6.	RACCOLTA DEI DATI DI DEFLUSSO E METODO DI ANALISI	118
4.7.	RILIEVO FOTOGRAFICO DELLA COPERTURA VEGETALE	123
5.	RISULTATI E DISCUSSIONE	125
5.1.	SIMULATORE DI PIOGGIA – DATI RACCOLTI E ANALISI.....	127
5.1.1.	TEMPO DI RITORNO 30 ANNI.....	127
5.1.2.	TEMPO DI RITORNO 2 ANNI.....	134
5.2.	SONDE DI UMIDITA’ – DATI RACCOLTI E ANALISI.....	138
5.3.	DEFLUSSI DI PIOGGIA – DATI RACCOLTI E ANALISI.....	144
5.3.1.	ANALISI STATISTICA DEI DATI	150
5.3.1.1.	VALUTAZIONE DEI SINGOLI EVENTI	154
5.4.	PESO DIRETTO DELLE CASSETTE – DATI RACCOLTI E ANALISI.....	169
5.5.	TEMPERATURA DEL SUBSTRATO – DATI RACCOLTI E ANALISI	170
5.6.	LO SVILUPPO DELLA VEGETAZIONE – DATI RACCOLTI E ANALISI	172
6.	CONCLUSIONI.....	178
7.	BIBLIOGRAFIA	181
	ALLEGATI.....	186

RIASSUNTO

L'elemento cardine su cui si basa questo studio è la gestione sostenibile dei deflussi di pioggia, intesa come controllo dei deflussi delle precipitazioni, con gestione *in-situ*, oltre al loro recupero e riutilizzo, favorendo l'infiltrazione verso le falde e la fitodepurazione da parte delle piante. Alla base di questo concetto c'è il ripristino del ciclo dell'acqua, che negli ultimi anni è perseguito dai sistemi di drenaggio sostenibile urbano (S.U.D.S.), tra i quali vi sono i tetti verdi.

Il Progetto di Ateneo *In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain* ha lo scopo principale di analizzare la gestione dei deflussi meteorici mediante i tetti verdi nella pianura veneta, evidenziando come si comportano diverse combinazioni di differenti materiali e miscugli vegetali di origine locale, adatti alle particolari condizioni che si creano al di sopra di una copertura verde.

Gli obiettivi di questa tesi sono: la creazione dei microcosmi di tetto verde nel campus di Agripolis a Legnaro (PD) con diversa stratigrafia e componente vegetale, l'analisi dei volumi di percolazione in seguito ad ogni evento di pioggia, il comportamento idraulico dei diversi sistemi di tetto verde in assenza di copertura vegetale con diverse intensità di pioggia, la valutazione delle oscillazioni della temperatura nel substrato, l'analisi dell'accrescimento della vegetazione. Sono stati raccolti e rielaborati i dati relativi ai volumi drenati, condotte delle prove con simulatore di pioggia in laboratorio e sono state anche eseguite periodicamente delle fotografie della vegetazione per l'analisi della copertura vegetale.

Il materiale vegetale è stato raccolto in aree diverse del Veneto e propagato in serra. La prova è iniziata a fine giugno 2014.

Il periodo di studio è stato caratterizzato da frequenti piogge che hanno permesso di ottenere i primi interessanti risultati. Si è potuto osservare una riduzione dei deflussi nel periodo analizzato variabile dal 53% a quasi il 77% della precipitazione totale a seconda della combinazione di elementi strutturali e miscuglio di piante. In particolare, il sistema con substrato in laterizio abbinato allo strato di drenaggio/accumulo in perlite e copertura vegetale con suffruticose ha permesso di ottenere risultati migliori in termini di gestione dei volumi di pioggia. Stessi risultati si sono ottenuti nelle prove condotte con il simulatore di pioggia sulle strutture senza vegetazione (con Tr di 30 anni circa 178 kg/m²). Diversamente il sistema con substrato vulcanico e strato drenante preformato, soprattutto con copertura a *Sedum*, ha evidenziato un maggior quantitativo di acqua rilasciata come deflusso ed un minor peso registrato a saturazione (con Tr di 30 anni in assenza di copertura vegetale 164 kg/m²).

La vegetazione si è sviluppata in modo più rapido con il substrato in laterizio raggiungendo valori di copertura prossimi al 52% della superficie nel caso delle suffruticose.

La temperatura nel substrato si è discostata mediamente con valori superiori, rispetto alla temperatura dell'aria, di poco più di 3 °C. In condizioni di forti precipitazioni la temperatura di entrambi i substrati ha eguagliato quella dell'aria a 2 metri.

Questi primi risultati positivi evidenziano come i tetti verdi siano strutture idonee in un'ottica di sviluppo sempre più sostenibile per ridurre gli effetti negativi di una sempre maggior edificazione anche nel nostro territorio come ad esempio l'isola di calore urbano, l'aumento dei consumi energetici, il difficile smaltimento delle acque meteoriche, la riduzione degli spazi verdi, ecc.

ABSTRACT

The main point of this research is the sustainable management of runoff in situ and its recycling and reuse with stratum seepage and phytodepuration. The aim is the reactivation of water cycle with the use of urban sustainable drainage systems (SUDS) including the green roofs.

The University Project, *In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain*, wants to examine and evaluate the management of run off by mean of green roofs in our area. In particular, we are trying to assess how different materials and local plants mixture behave.

The purposes of this thesis are: the creation of microcosms of green roofs in Agripolis Campus in Legnaro, with different stratigraphy and plants, the measurement of water amounts after every rain shower, the reaction of different green roofs with no plants covering with different rain intensity, the evaluation of temperature changes in the substrate, the analysis of plants growth.

We have collected the data of the drained amounts of water, we have made laboratory test using a rainfall simulator and we have taken pictures of the vegetation in order to check its coverage.

Plant material has been collected in different areas of the Veneto region and it has been reproduced in green houses. The test began at the end of June 2014.

The considered period of time has been characterized by frequent rain showers and this gave us interesting results. We observed a reduction of runoff between 53% and 77%, according to different combination on structural elements and plants mixture. In particular, the association of layer with brick substrate, the drainage strata in perlite and suffruticose mix gave us good results in terms of rainwater management. We got the same results in test with the rain simulator in structures with no plants (Rt 30 years 178 kg/m²). Otherwise, the system with volcanic layer, preformed drainage strata and Sedum mix, showed a greater amount of runoff and a less weight to saturation (Rt 30 years 164 kg/m² with no plants). Vegetation grew more quickly with the brick substrate layer, covering about 52 % of the area with the suffruticose mix. The substrata temperature was about 3 °C higher than the air one. In case of heavy rain showers, the temperature in both the layers and in the air at 2 meters was the same. These positive results highlight how the green roofs are structures that can be able to reduce the negative effects of urbanization in our area, such as the urban heat island, the increase in energetic consumption, the complicated rainwater disposal, the reduction of green areas, etc.

PREMESSA

La realizzazione dei tetti verdi non è di certo una novità, già da moltissimi anni in alcuni Stati del mondo si è assistito ad un vero exploit di coperture verdi, dalle forme e tipologie più disparate. E' appurato oramai che le coperture verdi degli edifici presentino benefici assai importanti e contribuiscano al miglioramento dell'ambiente specialmente quello urbano.

La considerazione che si ha delle coperture a verde, nel nostro Paese, è ancora assai dubbia e soggetta a perplessità. Talvolta aspetti che vanno dal puro fattore estetico sino a quello strutturale, senza tralasciare quello economico, inducono le persone ad optare per scelte più semplici e rapide come le coperture tradizionali delle abitazioni o degli edifici industriali. Se da un lato si assiste ad una crescita seppur lenta delle coperture a verde sugli edifici, dall'altro si nota sicuramente come negli ultimi anni si stia assistendo ad un aumento di disagi creati da quella crescita assai più invadente e massiccia di edifici e aree cementificate. Le problematiche economiche, la gestione del verde non accurata e la pianificazione del territorio poco lungimirante rischiano ogni anno di ridurre sempre di più le aree a verde con conseguente disagio nei confronti della collettività.

La conseguenza di queste scelte porta a inevitabili problematiche, trattate successivamente in questa tesi, come l'accumulo di acqua di deflusso a livello del suolo e delle reti di raccolta urbane, l'aumento della temperatura dell'aria e delle superfici con il conseguente effetto isola di calore urbano (UHI), l'accumulo di inquinanti nell'aria e nel suolo ed una riduzione degli aspetti ornamentali e paesaggistici all'interno e all'esterno delle aree urbane (Busato, Lazzarin et al. 2014). Il microclima urbano viene sostanzialmente modificato creando problemi per la salute della popolazione come nel caso dell'Agosto 2003 dove si registrarono quasi 50 000 decessi in Europa (Mirzaei and Haghghat 2010) (Robine, Cheung et al. 2008) a causa dell'aumento della temperatura globale a piccola e a grande scala.

La diminuzione della superficie a verde a livello del suolo può essere più o meno compensata da scelte progettuali sugli edifici che, oltre ai giardini pensili veri e propri, contemplino la presenza di elementi strutturali con piante, come le pareti e i tetti verdi. Studi su quest'ultimi sono stati ampiamente sviluppati nel corso degli anni più recenti, finalizzati alla ricerca di più performanti tecniche di ingegneria, scelta dei substrati migliori, innovazione nei materiali drenanti, ecc. che hanno permesso un crescente sviluppo di questa "tecnologia verde".

E le piante? Se la componente strutturale abiotica è stata ampiamente sviluppata e analizzata, come ci si può confrontare con la parte biotica di una copertura a verde? E' stato evidenziato come le piante

riescano a crescere meglio con minori problemi ove presenti condizioni climatiche simili od uguali alla zona di origine. Ci si chiede quindi se l'insieme di tutti questi fattori, componente abiotica e biotica ideale, non possano accelerare lo sviluppo di una copertura verde con conseguenti benefici per la collettività e per il singolo.

RINGRAZIAMENTI

Un breve cenno per ringraziare chi con pazienza e costanza, o perché semplicemente il confronto quotidiano con gli studenti è il proprio mestiere, mi ha seguito, aiutato confortato, spronato prima, durante ed alla conclusione di questo percorso universitario.

Ringrazio soprattutto i miei genitori e la mia cara nonna materna che hanno sicuramente contribuito economicamente e psicologicamente nel permettermi di continuare ed iniziare gli studi un po' di tempo fa.

Ringrazio i miei compagni di corso della laurea triennale con cui abbiamo passato anni bellissimi, ma soprattutto ringrazio i miei compagni di corso della magistrale in particolare Giorgio e Giulia per avermi accompagnato e sopportato in questi ultimi mesi. Accompagnandomi anche nelle occasioni in cui è stato raccolto il materiale vegetale per questa tesi, rendendo quei momenti molto più piacevoli.

Un ringraziamento va anche al tecnico Roberto Stivanello che si è sempre reso prontamente disponibile nell'aiutarmi con il materiale da costruire e con gli strumenti da usare in questa tesi e nella precedente.

Infine un sentito ringraziamento per la collaborazione e la pazienza dedicatami anche ai correlatori il Dott. Francesco Bettella ed il Dott. Giampaolo Zanin.

Sicuramente molte altre persone hanno contribuito nella buona riuscita di questa tesi e nel mio cammino universitario in generale. Non potendo elencarle tutte rivolgo a loro ed alle persone prima menzionate un sentito e profondo GRAZIE!

1. INTRODUZIONE

Partendo dall'evoluzione nella storia del verde pensile, passando per la struttura di un tetto verde ed arrivando alle norme che regolano la gestione e la realizzazione delle coperture a verde si riesce ad avere un quadro generale d'insieme che permette di comprendere i benefici di questa "tecnologia".

1.1. L'EVOLUZIONE NEL TEMPO DEI GIARDINI PENSILI

Si potrebbe pensare, erroneamente, che una copertura a verde sia un'innovazione dei giorni nostri, della comunità moderna in seguito alla scoperta di innovazioni tecnologiche. Sicuramente la tecnologia applicata ad un tetto verde ne ha affinato i propri benefici e le proprie caratteristiche negli anni moderni, ma l'applicazione di una copertura verde ad un edificio è un'invenzione assai antica.

La ricostruzione dell'evoluzione nel tempo di un tetto verde è comunque assai difficile. La difficoltà nel reperire fonti o reperti che possano indicare con certezza dove e quando un edificio era ricoperto di verde, rende tutto più complicato.

Se volessimo indicare in termini storici il momento in cui questa tecnologia ha iniziato ad essere considerata per i suoi benefici questo è sicuramente il periodo della seconda metà dell'Ottocento, per poi proseguire agli anni '70 dove finalmente si ha avuto via via una vera espansione nell'utilizzo di questa tecnologia.

L'evoluzione nel tempo può benissimo esser suddivisa in tre periodi storici (Abram, 2006):

- dall'antichità fino al 1865;
- dal 1865 fino al secondo dopoguerra;
- ai giorni nostri.

1.1.1. DALL'ANTICHITA' SINO AL 1865

L'esempio principale di verde pensile o giardino pensile, in questo caso, è quello relativo alla torre di Babilonia. E' ormai risaputo e ripetuto come l'imponente torre che si ergeva alta per avvicinare l'uomo a Dio presentasse un insieme di terrazzamenti riempiti di piante che rendevano l'intera costruzione (torre ed edifici vicini) un'opera stupenda sia in termini architettonici che paesaggistico-estetici. La torre di Babilonia (Figura 1) è quindi l'esempio principale che viene riportato ai giorni d'oggi come primo edificio con una copertura verde. Sicuramente questi giardini dovevano essere veramente splendidi per rimanere nelle memorie così a lungo associati ad una delle sette meraviglie del mondo antico. Precedentemente si è menzionato la difficoltà nel trovare tracce o reperti, questo è un caso in cui gli unici elementi su cui si sono basati studi e supposizioni sono quelli iconografici e i testi antichi. Si sa sicuramente che Babilonia era stata edificata nel territorio attuale dell'Iraq a 90 km circa a sud di Bagdad.



Figura 1 I giardini pensili di Babilonia Fonte: Wikimedia

“Al suo palazzo egli fece ammassare pietre su pietre, fino a ottenere l'aspetto di vere montagne e vi piantò ogni genere di alberi, allestendo il cosiddetto ‘paradiso pensile’, perché sua moglie originaria della Media ne aveva grande desiderio, essendo tale l'usanza della sua patria” (Antichità giudaiche, X, 226-230).

La presenza del fiume Eufrate nelle vicinanze permetteva di usufruire di tutti i vantaggi connessi. Nabucodonosor II (605-506 a.C.) fu il committente di quest'opera.

La vegetazione utilizzata andava da quella erbacea sino a quella arborea, in primis cipressi e palme, pare inoltre che i giardini fossero localizzati in corrispondenza di un complesso fortificato a nord-ovest della città. L'iconografia fa emergere una bellezza unica di quest'insieme di piante disposta al di sopra di terrazzamenti. Non si hanno certezze sulle tecniche di realizzazione, ma si ipotizza che vi fosse uno strato drenante con uno spessore di substrato appena superiore al metro. Tutti i livelli presentavano approvvigionamento idrico costante.

Sicuramente si può definire come uno dei primi esempi di verde pensile intensivo.

Dal IX secolo a.C. possiamo trovare in Italia esempi e reperti ancora intatti risalente al periodo degli Etruschi, come le tombe. Il concetto si basava sullo spostare il terreno prelevato ed asportato per scavare una fossa, posizionandolo successivamente al di sopra della struttura.

In seguito il verde pensile è stato utilizzato anche dai romani. Anche in questo caso poco o nulla si è conservato ed un esempio al quale si può far riferimento è quello del mausoleo di Augusto a Roma (29 a.C.) (Figura 2). Il cipresso era la specie più utilizzata, simboleggiava la vita e la gloria eterna, ed anche in questo caso come nei giardini di Babilonia veniva utilizzato.

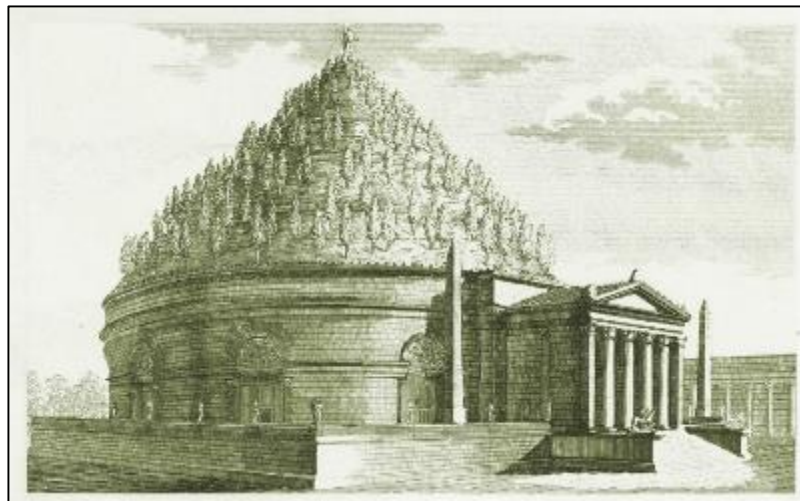


Figura 2 Mausoleo di Augusto a Roma Fonte: Wikimedia

Il secondo mausoleo era quello di Adriano (130 d.C.), molto simile al mausoleo di Augusto, ma che oggi viene identificato come Castel Sant'Angelo in seguito ad una importante ristrutturazione e modifica. Anche questo ricoperto soprattutto da cipressi.

Non solo mausolei, ma anche ville. Le ville nel periodo romano erano molto importanti per la loro presenza di verde e di acqua. La villa dell'Imperatore Adriano a Tivoli (92 d.C.) (Figura 3) è sicuramente una delle più conosciute oltre a villa Laurentina e la villa in Toscana (I secolo d.C.), come citato da Plinio il Giovane nelle sue epistole, in cui ne rivela la bellezza e l'imponenza mettendo in risalto il paesaggio circostante che si unisce con le opere edili atte a contenere il giardino pensile.



Figura 3 Modellino della Villa di Adriano a Tivoli
Fonte: Wikimedia

Altri esempi da menzionare sono il mausoleo di Pomponio Grecino (II-I secolo a.C.) a Gubbio, il Santuario della Fortuna Primigenia (II-I secolo a.C.) a Roma e la villa di Marone a Cassino.

Proseguendo nel tempo si arriva in un periodo in cui il verde pensile si distingue in due tipologie differenti. Nel medioevo si riscontrava un verde pensile presente all'interno dei chiostri dei monasteri ed un verde pensile nelle fortificazioni. Nel primo caso veniva utilizzato per la coltivazioni di orti, mentre nel secondo era principalmente un elemento di disturbo nei confronti di attacchi nemici ed un più rapido ripristino dei danni subiti.



Figura 4 Villa D'Este a Tivoli
Fonte: Wikimedia

Altri esempi molto significativi sono: La villa di Fiesole di Giovanni de' Medici (1451), Palazzo Piccolomini a Piacenza, il castello di Collepardo (1500), Villa D'Este a Tivoli (Figura 4), villa Aldobrandini, il castello di Saint-Germain en Laye di Enrico IV, la reggia di Versailles a Parigi (1600), il castello Marchesi Longhi de Polis a Fumone (1600), Palazzo Torrigiani a Lucca (1600), Palazzo di Monte (1600-1700), il Palazzo Reale a Napoli (1600), il Palazzo Ducale, il chiostro del Palazzo Ducale di Urbino e i giardini Belvedere in Vaticano (Figura 5) (Abram, 2006).



Figura 5 Giardini Belvedere in Vaticano
Fonte: Wikimedia

1.1.2. DAL 1865 AL SECONDO DOPOGUERRA

L'architetto tedesco Von Rabitz diede ufficialmente inizio alla nascita del moderno concetto di verde pensile. In quell'anno infatti si diede origine al trattato sull'impiego del giardino pensile come mezzo per raggiungere la salubrità negli ambienti densamente antropizzati. Vengono descritti i vantaggi del verde pensile nelle città. Nel 1867, vennero elencati i benefici di questa nuova forma di copertura che stava prendendo sempre più piede evidenziandone una serie di vantaggi importanti. Descritto come una copertura di tetto naturale di cemento vulcanico ne vengono già evidenziati i benefici in termini di temperatura all'interno dell'abitazione nelle varie stagioni, la durata nel tempo, la poca manutenzione rispetto ai tetti di tegola, ardesia o zinco. Inoltre si descrive il tetto verde come sistema che riduce o annulla, prevenendone anche l'insorgenza.

Nel 1922 Le Corbusier iniziò ad utilizzare il verde pensile come elemento che unirà l'ambiente alla società.

1.1.3. AI GIORNI NOSTRI

Al sopraggiungere degli anni '60 si ha un aumento considerevole delle coperture a verde soprattutto in Europa. Non in modo uniforme fra Stati, ma con modi e tempi differenti. Sicuramente la crisi economica tra le due guerre fu un freno alla crescita degli edifici privati a favore invece di opere pubbliche molto impattanti, piani regolatori o progetti spesso assai carenti di scelte logiche per il futuro accompagnate da disinteresse nei confronti dell'ambiente. Tutto questo ha permesso poi di riscoprire il verde pensile come metodo di miglioramento dell'ambiente urbano, soprattutto per fronteggiare la carenza di spazi verdi pubblici e privati.

Era proprio negli anni '70 che si assisteva ad un aumento della sensibilità verso gli aspetti ambientali. Le metodologie che permettevano di recuperare spazi verdi anche in favore di un ambiente più salubre erano sicuramente ben viste. Fattori come il dissesto idrico dovuto a grandi complessi industriali che versavano grandi quantità di acqua al suolo ed il peggioramento del microclima urbano hanno permesso di focalizzare maggiormente l'attenzione verso i tetti verdi.

Quali sono gli Stati che hanno deciso di intraprendere una svolta in questa direzione?

Sicuramente i Paesi dell'Europa centrale e del Nord Europa, poi la Svizzera, Austria, Finlandia, ma soprattutto la Germania. Proprio in questo Stato viene emanata una legge sulla protezione dell'ambiente che identifica il verde pensile come strumento di compensazione ambientale. Anche se

dal 2001 sino al 2005 vi è stata una flessione nella scelta delle coperture a verde dovuta alla crisi economica tedesca (F. Hammerle, 2005).

In Italia la crescita del verde pensile è lenta, ma continua. Anche grazie all'inserimento delle coperture verdi all'interno di leggi nazionali (legge 14 gennaio 2013 n. 10) con l'aggiunta di incentivi fiscali.

1.2. ASPETTI GENERALI

Può una copertura a verde portare a dei benefici per il singolo? Può altresì portare benefici in termini economici, di salute, ambientali ad una comunità?

Ebbene, analizzando attentamente ogni singolo aspetto possiamo sicuramente definire un tetto verde come un elemento che porta un beneficio.

1.2.1. ECOSYSTEM SERVICES

Ecosystem services, è un termine utilizzato per identificare i benefici che le persone ottengono dall'ecosistema (Figura 6) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) è l'unione, quindi, di due elementi molto importanti: l'ecosistema ed il benessere dell'uomo. Le interazioni e i legami che si creano fra questi due elementi definiscono le diverse categorie di servizi ecosistemici.

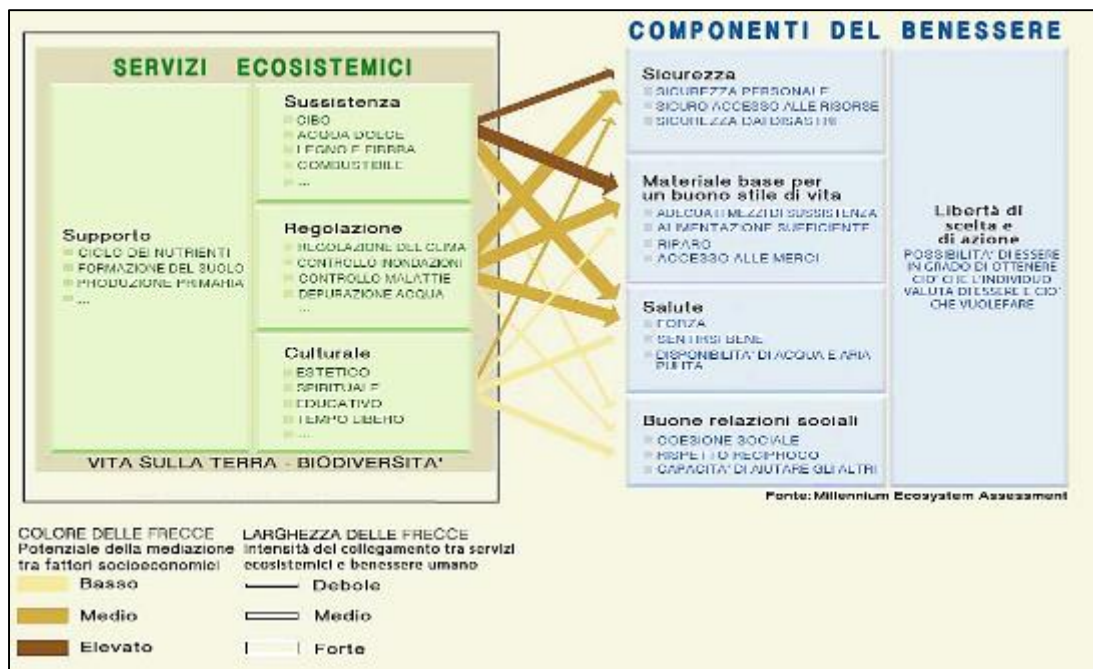


Figura 6 Ecosystem Services Fonte: (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

All'interno della categoria *Regulating* sono inseriti la regolazione climatica, il controllo del disagio/malattia, la depurazione dell'acqua, ecc. Si vedrà in seguito come questi elementi siano direttamente collegabili alla realizzazione di un tetto verde perché direttamente collegati alla sicurezza, al buon stile di vita e alla salute.

1.2.2. S.U.D.S. (Sustainable Urban Drainage Systems)

Se ad ampia scala le coperture a verde pensile permettono una serie di benefici molto importanti, a scala più ridotta i benefici che si ottengono sono anch'essi un elemento essenziale per migliorare i benefici all'interno, ad esempio di una città.

Con il termine SUDS si identificano tutti quei sistemi di drenaggio urbano sostenibile. La gestione dell'acqua è un elemento fondamentale all'interno di un conglomerato urbano, dalle zone intensamente cementificate sino alle zone di periferia. Il concetto è focalizzato sulla riduzione o meglio, sul controllo del run-off (Figura 7), che generalmente in un contesto cittadino identifica il lavoro di scolo delle acque per mezzo degli impianti fognari. L'approccio ai giorni d'oggi va sicuramente modificato ed il semplice e solo concetto di creare *serbatoi più grandi per raccogliere l'acqua* è sicuramente un metodo di pensare sorpassato che non identifica o non osserva attentamente il problema alla fonte, individuando tutta una serie di alternative e migliori.

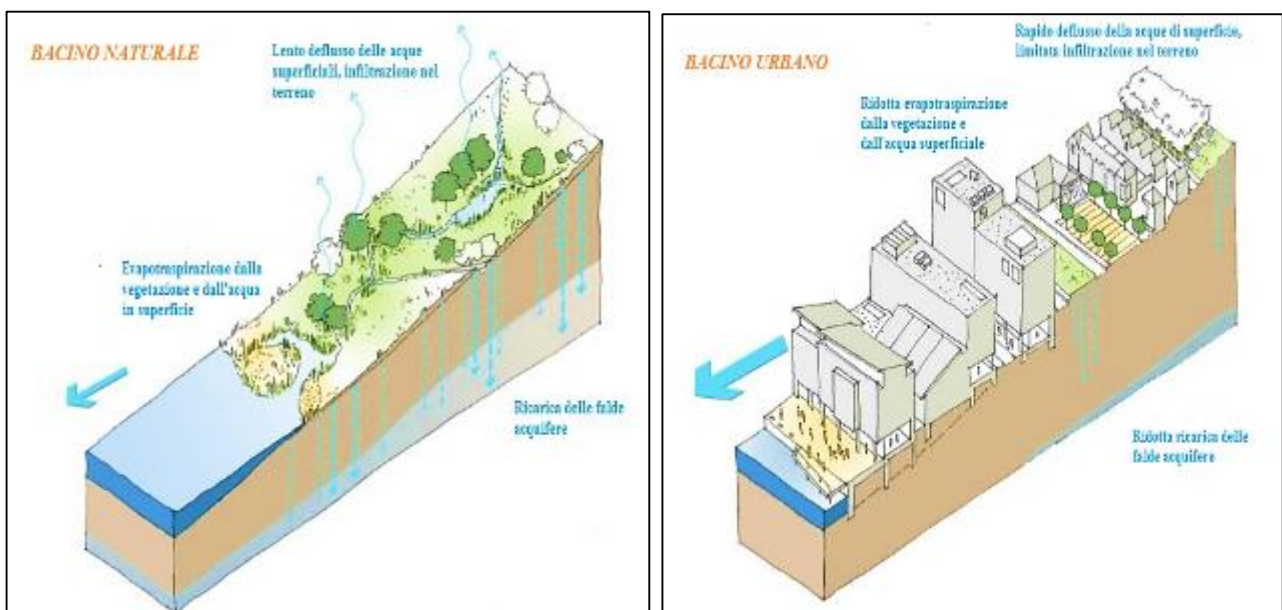


Figura 7 Confronto fra bacino naturale e bacino urbano Fonte: susdrain.org

I sistemi di drenaggio sostenibile fanno riferimento ad approcci indirizzati al miglioramento della qualità dell'acqua, al contenimento dei volumi di deflusso superficiale, ma anche al miglioramento dell'aspetto estetico-ornamentale.

I concetti alla base possono essere così riassunti:

- accumulo di acqua di deflusso con rilascio graduale nel tempo;
- miglioramento dell'infiltrazione dell'acqua nel terreno;
- trasporto dell'acqua più lento sulla superficie con sedimentazione dei solidi sospesi;
- filtrazione degli elementi inquinanti;

I SUDS comprendono diverse metodologie di drenaggio sostenibile, ciascuna atta a svolgere funzioni ben precise e localizzata in contesti differenti uno dall'altro.

Vi sono sistemi di controllo alla sorgente che comprendono i tetti verdi, sistemi di raccolta dell'acqua piovana (es. cisterne) e superfici permeabili (es. asfalti porosi). Altri sono riferibili a canali di convogliamento e raccolta superficiali (es. canali inerbiti).

I sistemi di filtrazione comprendono i bacini di bioritenzione (compresi i rain gardens) (Figura 8), i filtri a trincea e a strisce, i contenitori filtranti alberati. Vi sono anche sistemi definiti come ritenzione e trattenuta dell'acqua (bacini di detenzione e stagni di bioritenzione) e le aree umide (wetlands).



Figura 8 Esempio di rain garden al parco d'Europa a Padova

Riassumendo possiamo dire che i SUDS presentano numerosi vantaggi (susDrain, 2012):

- vantaggi in termini di gestione del rischio di alluvione;
- vantaggi in termini di gestione della qualità dell'acqua;
- aumento della biodiversità e amenità;
- benefici in termini di gestione delle risorse idriche;
- benefici in termini comunitari;
- benefici ricreativi;
- benefici educativi;

1.3. I BENEFICI DI UNA COPERTURA A TETTO VERDE

I tetti verdi o i giardini pensili o il verde pensile (Figura 9), a seconda del termine che si preferisce utilizzare, identificano un particolare sistema finalizzato soprattutto al risparmio energetico ed alla gestione delle acque meteoriche soprattutto in ambito urbano

Si hanno dei benefici sia quando si associano i tetti verdi agli Ecosystem services sia quando si parla di sistemi di drenaggio urbano sostenibili. Il tetto verde ha comunque una serie di benefici diretti ed indiretti. Ciascuno di questi apporta dei miglioramenti all'edificio stesso ed alla comunità o all'ambiente in senso lato.



Figura 9 Esempio di tetto verde presso l'Hotel Radisson a Londra
Fonte: (ZinCo Italia)

Se volessimo suddividere i benefici di una copertura verde in quattro macro gruppi potremmo indicarli con: energia, inquinamento, ambiente e acqua.

In termini di energia il tetto verde esercita:

- riduzione dei costi;
- miglioramento dei bilanci energetici dei singoli edifici;
- riduzione dell'effetto dell'isola di calore urbano (Urban Heat Island) migliorando il microclima;
- miglioramento della gestione dei rifiuti organici incrementando la catena del detrito¹ a livello di substrato e strato vegetale;

La correlazione fra inquinamento e tetto verde permette di evidenziare i benefici come:

- miglioramento della qualità dell'aria;
- miglioramento dell'isolamento acustico;
- “assorbimento” di polveri e sostanze nocive;
- allungamento della durata del tetto stesso evitando la sostituzione dei materiali di protezione dagli agenti atmosferici, con conseguente produzione di rifiuti;

Il terzo gruppo comprende una serie di benefici sia estetici che funzionali in termine di ambiente urbano e naturale:

- promozione della biodiversità e la protezione delle specie animali e vegetali;
- miglioramento dell'aspetto esteriore e paesaggistico delle coperture degli edifici;
- creazione di spazi per scopi ricreazionali (orti, aree di svago e relax);
- promozione del miglioramento in termini di salute umana e di benessere.

L'ultima categoria comprende una delle funzioni principali, cioè la capacità di trattenere e rilasciare gradualmente l'acqua meteorica, in sintesi si potrebbe dire che si ha:

- effetto sulle strategie di gestione sostenibile delle acque piovane.

¹ La catena del detrito viene definita come una catena alimentare in cui i detritivori consumano lettiera o detrito per lo più vegetale, con conseguente trasferimento di energia ai vari livelli trofici. (Thomas & Smith, 2009)

1.3.1. BILANCIO ENERGETICO E RIDUZIONE DEI COSTI

Un tetto verde accumula o rilascia energia al pari di un qualsiasi organismo vegetale o animale. Ovviamente il tetto verde è un “sistema” composto da più elementi inorganici ed organici come la componente vegetale. Prendendo come esempio una pianta: la differenza fra quantitativi di radiazione solare che questa riceve e quelli che riflette ed emette nell’ambiente identificano il bilancio energetico netto della pianta (R_n). Le onde corte emesse dal sole, siano esse dirette o diffuse, raggiungono la superficie del terreno o della foglia (sia la pagina superiore che quella inferiore). La superficie fogliare emette onde lunghe verso il cielo che possono venir nuovamente riflesse verso la superficie o assorbite e lo stesso avviene per la pagina inferiore ma questa volta verso la superficie del suolo. A livello schematico la Figura 10 riassume quanto detto.

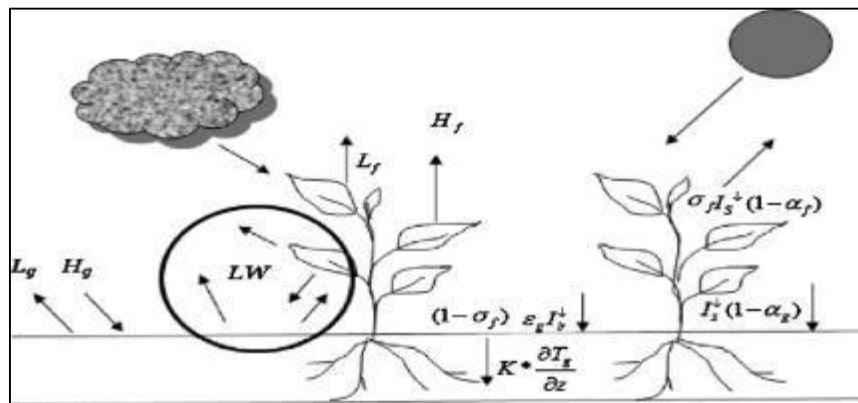


Figura 10 Bilancio radiativo di una pianta
Fonte: (Sailor 2008)

E’ possibile calcolare il bilancio radiativo netto ($W m^{-2}$) di una prato utilizzando la formula (Jones, 2013):

$$\Phi_n = I_s + I_{Ld} - I_s \rho_{s(\text{prato})} - \epsilon \sigma (T_{\text{prato}})^4$$

Dove:

Φ_n è il bilancio radiativo netto;

I_s è la radiazione corta proveniente dal cielo;

I_{Ld} è la radiazione lunga proveniente dal cielo ($\epsilon \sigma (T_{\text{cielo}})^4$ – Legge di Stefan-Boltzman);

$I_s \rho_{s(\text{prato})}$ è la radiazione corta riflessa dal prato;

$\epsilon \sigma (T_{\text{prato}})^4$ è la radiazione lunga emessa dal prato.

Oltre al bilancio radiativo netto di una superficie ricoperta da vegetazione o di una pianta, se aggiungessimo anche la perdita di energia e di calore della pianta stessa e della superficie al di sotto come nel caso di un tetto verde, si ricaverebbe il bilancio energetico.

La radiazione solare è bilanciata grazie al calore sensibile (convezione) ed il calore latente (evaporazione) proveniente dal suolo e dalle piante, combinata con il calore delle onde lunghe da e dirette verso il suolo e la superficie fogliare, oltre alla conduzione del calore nel suolo (Figura 11) (Berardi, GhaffarianHoseini et al. 2014). L'intero sistema di flussi energetici è illustrato in questa immagine, in questo caso l'esempio è relativo ad un tetto verde:

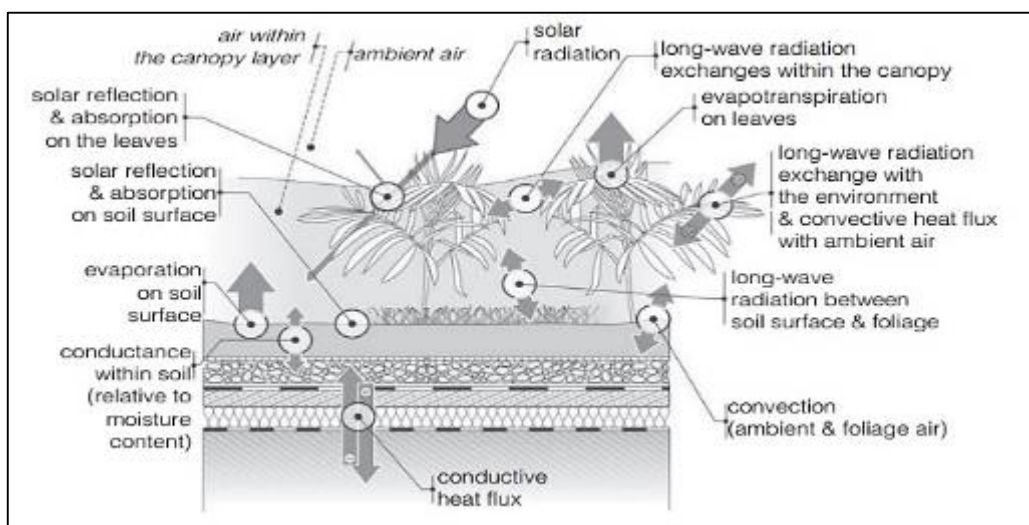


Figura 11 Flussi energetici su un tetto verde
Fonte: (Berardi, GhaffarianHoseini et al. 2014)

Le caratteristiche della vegetazione più importanti in termini di trasferimento di calore sono l'altezza della vegetazione, l'indice di area fogliare (LAI)², la copertura frazionaria, l'albedo³ e la resistenza stomatica. Il valore di LAI per la vegetazione utilizzata al di sopra dei tetti verdi varia a seconda del tipo di pianta, ma generalmente comprende un valore che va da 0,5 a 5,0. La copertura frazionaria è

² Il LAI – Leaf Area Index, identifica la copertura fogliare (espressa in superficie fogliare) al di sopra di un piano di forma e misura nota (area del terreno) (m^2m^{-2}). Un indice di area fogliare pari a 2, significa che sono presenti 2 m^2 di area fogliare su ciascun m^2 di terreno. Tanto più alto è l'indice di area fogliare, maggiore sarà la riduzione della luce di raggiungere la superficie (Thomas & Smith, 2009).

³ L'albedo identifica la percentuale di riflettività (onde corte) di una superficie, varia da superficie e materiale che eventualmente la compone. Superfici chiare o bianche come la neve arrivano a percentuali di riflettività che vanno dal 40 sino al 95 %. Un prato ha un albedo pari a 25 – 30%, ed ancora meno nel caso di una foresta con percentuali che vanno dal 10 al 20% per la presenza di moltissime foglie che assorbono la radiazione corta in arrivo.

correlata al LAI, ma svolge un ruolo distinto, cioè permette di calcolare la percentuale di tetto coperto direttamente da uno o più strati di vegetazione. Questo comporta un dato importante perché influenza le caratteristiche radiative del suolo nel bilancio energetico superficiale. La resistenza stomatica influenza invece la quantità di umidità traspirata attraverso gli stomi sulla foglia, che vengono aperti o chiusi a seconda delle diverse condizioni ambientali che si creano (Sailor 2008).

L'albedo per un tetto verde può essere compreso fra 20 e 30%, mentre viene assorbita una quantità di onde corte pari al 60% attraverso la fotosintesi. E' stato stimato che un quantitativo pari al 20% del calore viene trasmesso (conduzione) al substrato di coltivazione del tetto verde. E' stata calcolata una riduzione del flusso di calore in un intervallo che va dal 70 al 90% in estate e dal 10 al 30% in inverno. Aumentando la profondità del substrato di coltivazione ed aumentando i colori più chiari si ha un aumento della riduzione di calore in estate di un altro 3% (Berardi, GhaffarianHoseini et al. 2014).

Eumorfopoulou ha evidenziato una serie di benefici in termini di riduzione di radiazione solare, di variazione giornaliera della temperatura e della variazione annua (Eumorfopoulou and Aravantinos 1998), lo studio si è svolto in Grecia e si è evidenziato che della radiazione solare totale, il 27% è riflessa, il 60 % è assorbita ed il restante 13 % è trasmesso al suolo (Ryerson University, 2005).

Naturalmente il flusso di calore e la temperatura del tetto verde sia in termini di calore superficiale che di temperatura dell'aria al di sopra varia in base a molti fattori: l'umidità del suolo (il più importante), composizione del tetto verde stesso, dalla località geografica, dall'esposizione solare ecc. Volendo mettere a confronto una copertura priva di vegetazione con una ricoperta invece da un tetto verde, si può prendere come esempio uno dei tanti esperimenti di ricerca che vengono fatti per studiare il bilancio energetico e le differenze di temperatura fra superfici differenti. Nella città di Chicago (US) nel 2001, al di sopra del municipio, è stato realizzato un tetto verde su gran parte della superficie (2043 m² su 3604 m²), nell'area rimanente è stata lasciata la guaina isolante di colore nero (Figura 12). Il dato più rilevante si ha in una giornata di Agosto nel primo pomeriggio quando la temperatura della superficie a tetto verde variava da 33 a 48°C (91 – 119°F), mentre la superficie scura accanto ha raggiunto temperature pari a 76°C (169°F), con uno scarto di quasi 40 gradi. La temperatura dell'aria al di sopra del tetto verde risultava essere mediamente 4°C più fresca rispetto a quella della superficie scura accanto (Climate Environmental Protection Partnership Division - EPA, 2008).



Figura 12 Differenti temperature su diverse superfici. Studio sulla copertura della Chicago City Hall.
 Fonte: (Climate Environmental Protection Partnership Division - EPA, 2008)

Nel 1984 uno studio svolto a Berlino ha dimostrato che oltre alle temperature massime si sono ridotte anche le ampiezze delle temperature che si sono ridotte della metà (Köhler, Schmidt et al. 2002).

La ricerca si è focalizzata soprattutto nel comprendere come e dove un tetto verde influenza maggiormente la temperatura interna di un edificio. Ci sono esempi di studi in zone tropicali, in climi temperati o mediterranei. Zone con inverni nevosi o estati molto calde. Considerando che il clima a livello globale varia, sia per fattori umani che per eventi ciclici naturali è bene tenere in considerazione ciascuna delle prove che più o meno recentemente si effettuano su questo tema. Ad esempio, una copertura a verde estensiva in area sub-tropicale presenta grandi potenziali in termini di riduzione del calore e di gestione degli eventi piovosi intensi (Simmons, Gardiner, & Windhager, 2008).

Uno studio svolto da Del Barrio ha dimostrato come effettivamente i tetti verdi svolgano un'azione di bilancio energetico. Viene inoltre evidenziato il positivo apporto dato dalle piante con foglie larghe e da un suolo leggero con una grande capacità di campo. Evidenziando tuttavia come un tetto verde migliorato per la stagione estiva può non presentare gli stessi risultati nella stagione invernale (Barrio 1998). La temperatura interna ad un edificio con copertura a verde, durante una tipica giornata estiva, non ha raggiunto i 30°C in un altro caso e sicuramente un tetto verde migliora la riduzione dello scambio di calore nel caso di edifici più vecchi o privi delle moderne tecnologie di isolamento. Così come a variare è il coefficiente di scambio termico (Niachou, Papakonstantinou et al. 2001).

La riduzione del consumo energetico per il raffreddamento dei locali interni di un edificio è stata menzionata in diversi casi. Liu and Baskaran hanno evidenziato come via sia una riduzione di oltre il 75% della media giornaliera della domanda energetica in seguito alla realizzazione di un tetto verde

di 36 m² in Ottawa (Canada). Stimando che in aree con clima più caldo il risparmio sia nettamente maggiore. E lo stesso vale per il flusso di calore che è nettamente calato nella stagione estiva (riducendo il guadagno di calore del 95% durante i 22 mesi della prova e riducendo del 26% la perdita di calore); nel caso della stagione invernale invece il flusso di calore è rimasto molto simile al tetto di riferimento privo di copertura vegetale.

Uno studio di Olivieri et al. (2013) realizzato in clima Mediterraneo su un tetto verde estensivo, della durata di tre anni, ha dimostrato come una vegetazione fitta riesca a ridurre sino al 60% del flusso di energia in entrata, mentre quella in uscita è del 9% superiore a quella in entrata.

In alcuni casi si sono creati dei modelli matematici per calcolare quanto potrebbe essere il consumo in termini monetari dovuti al risparmi energetico. E' il caso avvenuto per la città di Toronto. All'interno del Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto (2005) sono state suddivise le categorie per benefici apportati dai tetti verdi e si è stimato quale fosse il possibile risparmio, assumendo come riferimento la città di Toronto rinverdita per un totale di 5 000 ha, tramite una copertura a tetto verde estensivo con almeno 15 cm di spessore di substrato (ove possibile). Si è stimato un risparmio iniziale in riferimento al bilancio energetico pari a quasi 70 milioni di dollari ed un risparmio annuo corrispondente a più di 20 milioni di dollari, sommando il risparmio tutti i benefici apportati da un tetto verde si è ottenuto un totale di risparmio annuo pari a quasi 40 milioni (Ryerson University, 2005).

1.3.2. U.H.I. – ISOLA DI CALORE URBANO

L'isola di calore urbano viene definita come la differenza fra la temperatura misurata in uno spazio urbano e quella misurata tutta attorno all'area urbana in uno spazio verde (Oke 1988). L'insieme degli edifici, la sempre maggiore diminuzione di aree e spazi verdi all'interno delle grandi città comporta un aumento della temperatura superficiale e dell'aria con conseguenze anche gravi in termini di salute, di consumi energetici per raffreddare gli edifici e di inquinamento. La vegetazione esercita un beneficio grazie all'ombra esercitata sulla superficie e grazie all'evapotraspirazione.

L'evapotraspirazione globale si stima possa arrivare a consumare 14803×10^{23} J di energia, corrispondenti al 21,74 % del totale disponibile dall'energia solare nella parte più alta dell'atmosfera, mentre l'uso annuo di energia da parte dell'uomo è pari a 4.935×10^{20} J, che corrispondono a circa 0,33 % dell'energia annua consumata per l'evapotraspirazione. Studi svolti in passato hanno dimostrato che la vegetazione, grazie all'ET, può ridurre la temperatura in area urbana dagli 0.5 ai

4.0 °C. Un corpo idrico (pozza artificiale) di 16 m² può rinfrescare 2.826 m² tutt'attorno di 1°C (Qiu, Li et al. 2013).

Ovviamente in mancanza d'acqua o in situazioni difficili anche la vegetazione riduce l'evapotraspirazione e quindi l'effetto isola di calore viene percepito maggiormente. Si sa quanto in un contesto urbano sia complesso gestire sia le aree a verde pubbliche e private (alberature, parchi, tetti verdi, ecc). Gli spazi sono limitati in molti casi, con la difficoltà di mettere a dimora alberi di grandi dimensioni per la presenza di sotto servizi ed opere infrastrutturali. Sicuramente però una gestione migliore sia in termini di nuove costruzioni e sia in termini di miglioramento dell'attuale può contribuire ad un miglioramento futuro.

Il fenomeno dell'isola di calore urbano è suddiviso in due sottotipi: l'isola di calore superficiale (surface UHI - SUHI) e l'isola di calore atmosferica (atmospheric UHI) (Figura 13). L'isola di calore atmosferica si divide a sua volta in UHI dello strato limite urbano (urban boundary layer UBL) e l'UHI dello strato della copertura urbana (urban canopy layer UCL).

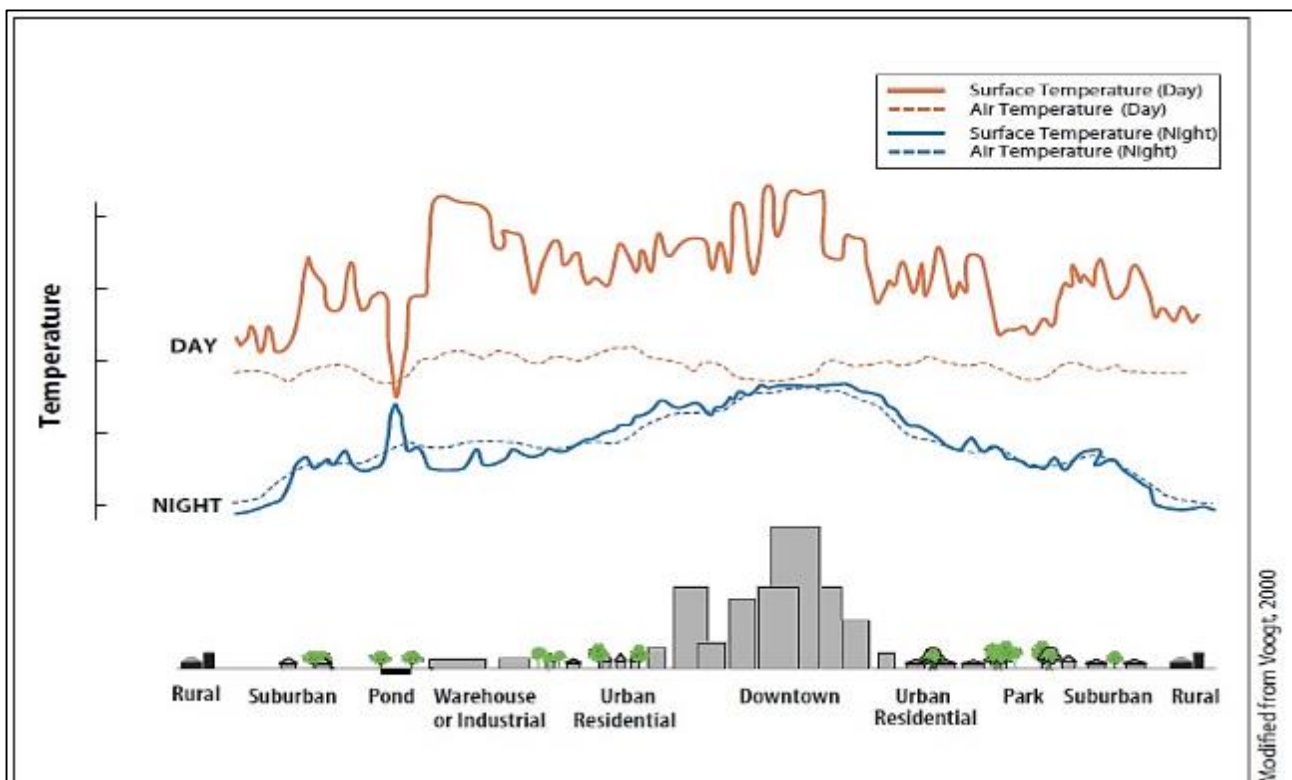


Figura 13 Differenza della temperatura superficiale e dell'aria di giorno e di notte su diverse zone urbane e periurbane Fonte: (EPA - United States Environmental protection Agency, 2003)

L'UBL identifica la differenza della temperatura dell'aria al di sopra dell'altezza media degli edifici, sino alla quota in cui la conformazione urbana non influenza più le caratteristiche atmosferiche, l'UCL invece identifica la differenza di temperatura dell'aria vicina alla superficie, al di sotto dell'altezza media degli edifici.

Ponendo l'isola di calore urbano come effetto finale, possiamo invece analizzare gli elementi che ne accentuano l'effetto. Si sa che il bilancio energetico è un rapporto fra l'energia che arriva alla terra attraverso il sole e l'energia persa attraverso fenomeni che rilasciano calore (calore latente e sensibile). La formula seguente mette insieme tutti gli elementi per ricavare un bilancio energetico in un ambiente urbanizzato (Figura 14).

Va tenuto in considerazione, inoltre, che gli edifici influenzano il vento e lo strato limite creando una turbolenza che rallenta la capacità di disperdere calore come avviene invece nelle aree rurali.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

dove Q^* è la radiazione netta globale (radiazione netta ad onda corta più la radiazione netta ad onda lunga); Q_F è il calore di origine antropogenica; ΔQ_S rappresenta l'accumulo netto di calore nel sistema; ΔQ_A è l'avvezione netta tra entrata e uscita dal sistema; Q_H è il flusso di calore sensibile; Q_E è il flusso di calore latente (evaporazione, traspirazione e condensazione). Il rapporto fra calore latente e calore sensibile è chiamato rapporto di Bowen e varia in base al tipo di suolo, alla copertura del suolo differente e all'umidità disponibile nel suolo. In particolar modo questo rapporto varia nei centri urbani in seguito alle precipitazioni.

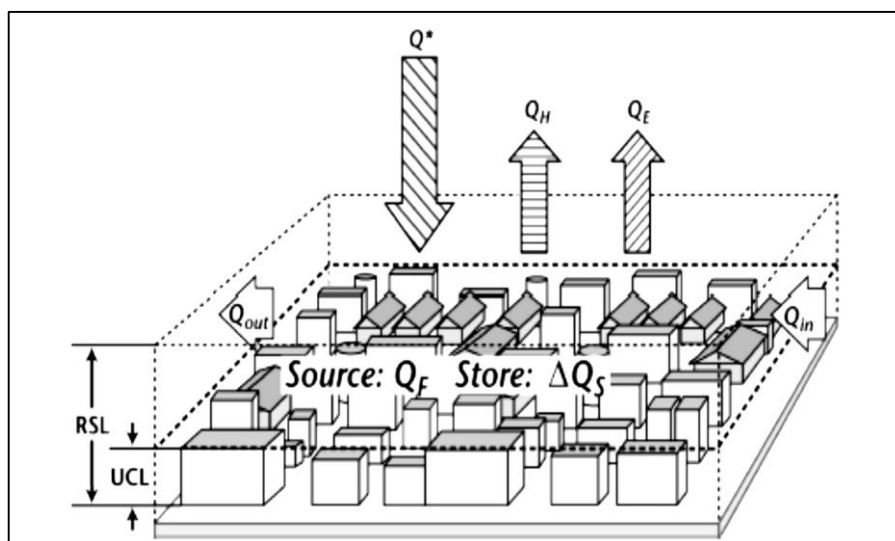
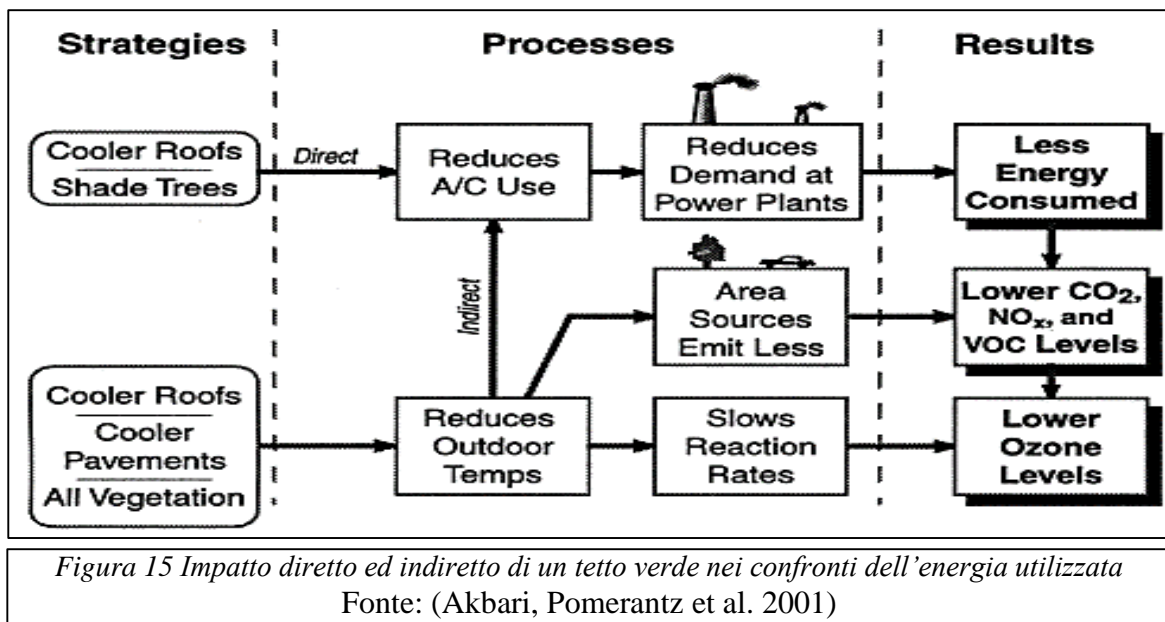


Figura 14 Bilancio energetico in ambiente urbano
Fonte: (Roberts, Oke et al. 2006)

Il flusso di calore antropogenico (Q_F) può comprendere il calore generato dai mezzi di trasporto (Q_{FV}), il calore proveniente da fonti stazionarie come abitazioni o industrie (Q_{FH}) ed il calore generato dal metabolismo umano e animale (Q_{FM}).

Uno studio svolto da Rosenfeld et al. ha stimato una riduzione di 3°C dell'isola di calore urbano e una riduzione di inquinamento della città di Los Angeles in seguito alla ri-copertura dei tetti degli edifici con materiali "freddi" con un'alta riflettanza. Oltre a questo nello studio si è previsto l'uso di alberi che facessero ombra attorno agli edifici (Rosenfeld, Akbari et al. 1998).

L'impatto (diretto ed indiretto) che un tetto verde ha sull'energia utilizzata e sugli inquinanti può esser riassunto in questo schema (Figura 15):



1.3.3. MIGLIORAMENTO DELLA QUALITA' DELL'ARIA

L'uomo nel corso degli anni ha contribuito ad emettere nell'atmosfera grosse quantità di inquinanti. Il consumo di combustibili fossili e l'industrializzazione dei paesi emergenti sta contribuendo ad aumentare i livelli di anidride carbonica in atmosfera con il conseguente aumento dell'*effetto serra* che contribuisce ad aumentare la temperatura del pianeta terra. Tutte nozioni ormai appurate e con cui si è costretti a convivere quotidianamente. Nelle città il livello di smog è nettamente superiore rispetto alle aree limitrofe dove il traffico urbano è inferiore e dove la presenza di aree verdi naturali

o pseudonaturali è predominante. La problematica dell'inquinamento che va ad aggiungersi all'isola di calore urbano specie nei mesi estivi, comporta seri rischi per la salute.

Gli ossidi di azoto (NO_x) riescono infatti a reagire meglio con i composti organici volatili in presenza di alte temperature. Uno studio ha stimato come un'area di 2000 m² di tetti verdi ricoperti di erba, possa rimuovere sino a 4.000 kg di particolato dall'area circostante "intrappolandolo" a livello fogliare (Johnston, Newton et al. 1993).

Uno studio interessante, svolto nella città di Chicago, ha calcolato come i tetti verdi presenti a Chicago riuscissero a rimuovere l'inquinamento atmosferico utilizzando un modello definito: *dry deposition model*. Considerando una superficie a verde pensile pari a 19.8 ha si è calcolata una rimozione pari a 1.675 kg di inquinanti presenti in atmosfera. Evidenziandone le percentuali si è calcolata una riduzione pari al 52 % del totale di O₃, un 27 % di riduzione in riferimento a NO₂, 14% di PM10 e 7% di SO₂. A scala temporale si è notata una riduzione maggiore di inquinanti a maggio e livelli inferiori nel mese di febbraio con una riduzione annua di 85 kg ha⁻¹ anno⁻¹. Lo studio si è poi concentrato analizzando quali sarebbero le conseguenze se tutti i tetti della città di Chicago fossero rinverditi. Il risultato sarebbe una riduzione pari a 2.046,89 tonnellate di inquinanti "assorbiti" dai tetti verdi intensivi (quindi con piante che presentano maggior area fogliare su cui gli inquinanti possono depositarsi, oltre a rami, tronchi ecc) (Figura 16) (Yang, Yu et al. 2008).

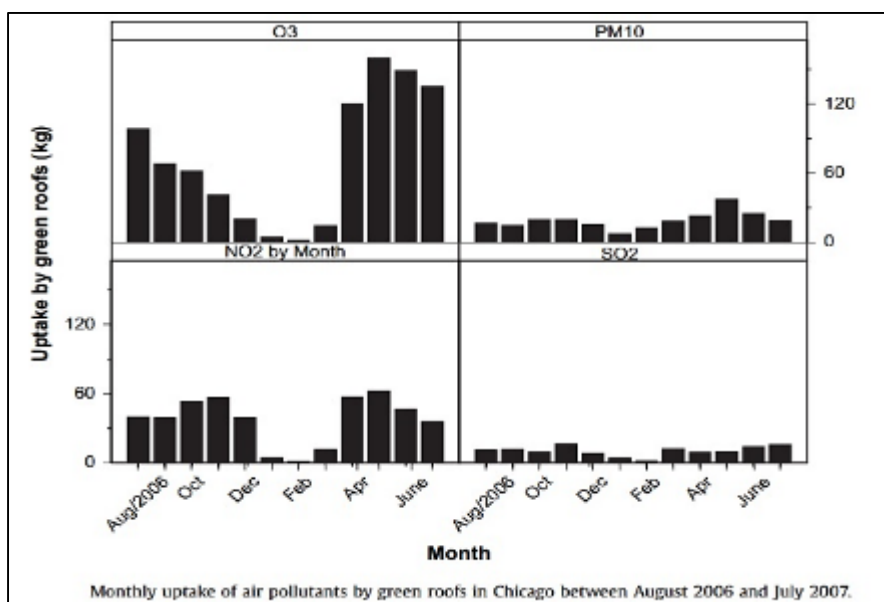


Figura 16 Riduzione degli inquinanti. Studio svolto a Chicago
Fonte: (Yang, Yu et al. 2008)

1.3.4. ISOLAMENTO ACUSTICO

I tetti verdi svolgono una funzione di isolamento acustico. A seconda della tipologia e dello spessore avremo risultati differenti. Alcuni studi hanno dimostrato, attraverso analisi empiriche, come grazie ad una copertura a verde si riesca a diminuire un segnale di trasmissione (sia esso ad alta o bassa frequenza) come avverrebbe nel caso di una perdita di segnale attraverso le pareti. Si è riscontrato che un tetto verde può aumentare la perdita di segnale dai 5 ai 13 dB nel caso di frequenze basse e medie e dai 2 agli 8 dB nel caso di alte frequenze (Connelly & Hodgson, 2008). Gli stessi autori hanno recentemente analizzato la differenza fra due tipi di tetto verde estensivo con due spessori di substrato, mettendoli a confronto con un tetto tradizionale come riferimento. E' emerso come il differente spessore (uno di 75 mm ed uno di 150 mm) fra un tetto verde e l'altro abbia contribuito ad aumentare la perdita di segnale di trasmissione. In generale si assiste ad una perdita di segnale dai 5 dB ai 13 dB come nel caso precedente nel caso di basse e medie frequenze (50-2000 Hz), mentre quando le frequenze aumentano la perdita di segnale cala di 6 dB Figura 17 (Connelly and Hodgson 2008).

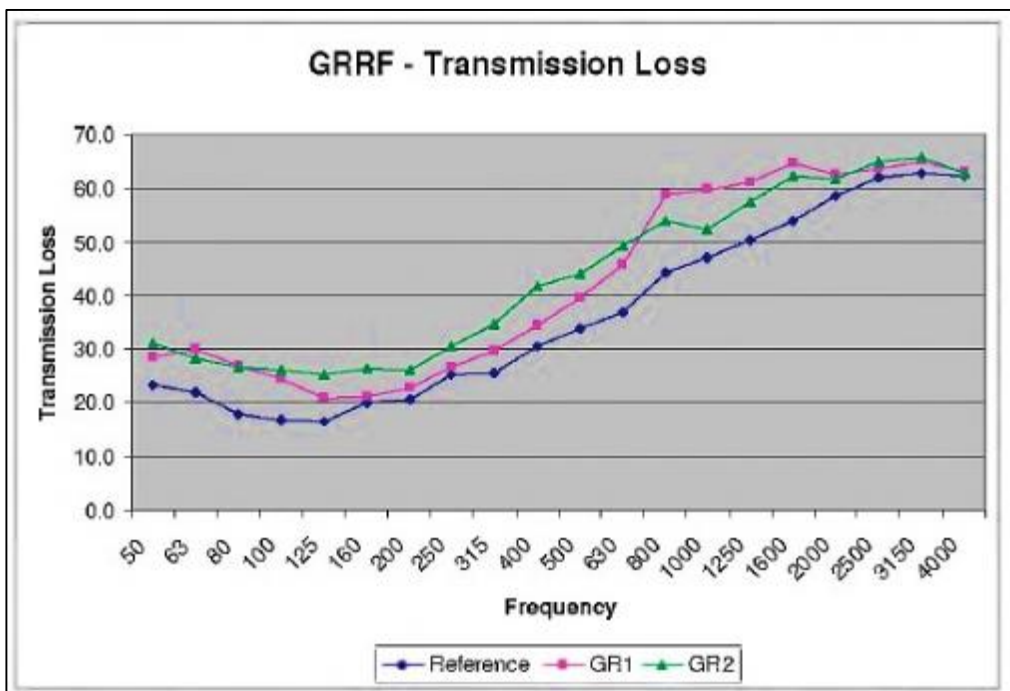


Figura 17 Perdita di segnale su due tetti verdi con spessori diversi
Fonte: (Connelly and Hodgson 2008)

In generale si può affermare che l'insieme di tetti verdi in un'area urbana possa diminuire sensibilmente il problema dei rumori, negli ambienti interni di un edificio, che normalmente lo "colpiscono" creando disturbo specie se arrivano dall'alto dai mezzi aerei.

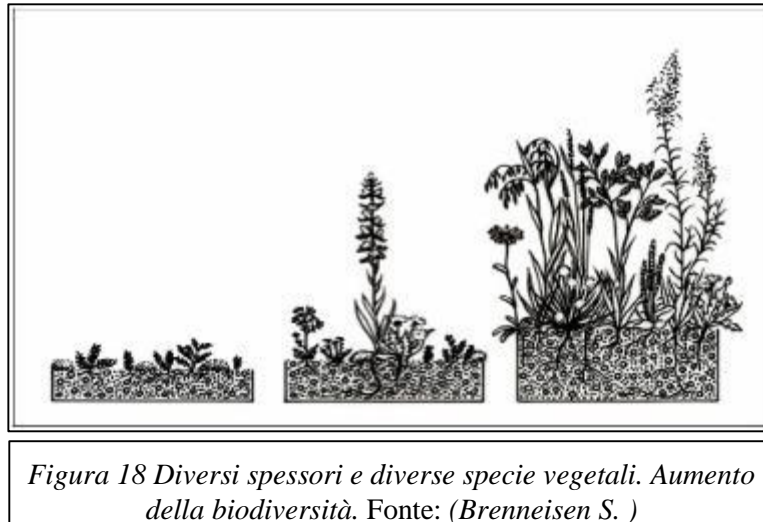
1.3.5. AUMENTO DELLA DURATA DEL TETTO NEL TEMPO

Potrebbe sembrare un elemento poco significativo, ma la durata nel tempo del materiale assimilato per la realizzazione del tetto e della sua impermeabilizzazione è invece un elemento molto importante. L'effetto che i raggi ultravioletti (UV) hanno sulla membrana impermeabile nera che generalmente copre un tetto piano o leggermente inclinato sono assai deleteri. La fluttuazione della temperatura rende la membrana "elastica" e "rigida" quotidianamente accelerando i processi di deterioramento. Il tetto verde riesce invece a stabilizzare la temperatura evitandone eccessivi sbalzi nella giornata. La durata della membrana ricoperta con un tetto verde può arrivare ad allungare la propria durata sino ad oltre 20 anni (USEPA 2000).

1.3.6. BIODIVERSITA' E PROTEZIONE DI SPECIE ANIMALI E VEGETALI

Nelle aree urbane o nelle zone industrializzate si creano delle situazioni, dovute alle numerose aree edificate e prive di spazi verdi, in cui le numerose specie animali (soprattutto insetti) sono spesso private di un loro habitat naturale dove poter vivere. Un tetto verde può benissimo esser definito come un ecosistema, ovvero l'insieme di specie biotiche ed elementi abiotici che interagiscono fra di loro. La creazione di tetti verdi vicini permette di compensare ai famosi corridoi verdi che sempre più risultano di difficile creazione in tutti i contesti urbanizzati. Un tetto verde può quindi essere un punto di ristoro per molte specie animali che volano e si spostano fra gli edifici o in lunghe migrazioni. Un tetto verde può essere un'importante fonte di nutrimento, una zona dove procreare e una zona di protezione per ragni, farfalle, uccelli ed invertebrati (Brenneisen S. , 2003). La teoria con il quale un tetto verde estensivo possa attirare un gran numero di specie vegetali e animali è supportata da una ricerca svolta in Svizzera (presso la città di Basel al di sopra del Cantonal Hospital), dove si è realizzata una copertura verde di tipo estensivo utilizzando un substrato naturale raccolto nelle vicinanze per incentivare la biodiversità locale. E' emerso come la creazione di aree con spessori di substrato differenti dai 6 ai 20 cm possano essere un valido aiuto nell'attrarre e far sviluppare specie vegetali diverse, che richiedono zone di accrescimento radicale maggiori per sopravvivere nei

momenti di siccità. Le specie animali sono sicuramente presenti in gran quantità, ma viene evidenziata la difficoltà per talune specie di poter raggiungere il tetto verde (Figura 18) (Brenneisen S.). Si è riscontrata comunque la presenza di farfalle al ventesimo piano di alcuni edifici con copertura verde (Johnston, Newton et al. 1993).



1.3.7. AMENITA'

Una copertura verde non è solo funzionale è anche piacevole, esteticamente gradevole, richiama relax e svago. A seconda della tipologia di tetto verde queste ed altre caratteristiche esteriori/sensoriali possono essere più o meno accentuate. Una copertura estensiva ad esempio essendo per nulla o poco fruibile non trasmette la stessa sensazione rispetto ad esempio ad una copertura intensiva ove è possibile sfruttarne a pieno l'aspetto esteriore molto simile ad un vero giardino. Si sa quanto uno spazio verde possa influenzare positivamente sia fisicamente che psicologicamente le persone riducendo lo stress (Shepard, 1995). Seppur non fruibili, ma semplicemente visibili, ad esempio da una vetrata di un edificio, i tetti verdi svolgono una funzione di benessere rispetto a quanto accade nell'osservare zone della città densamente abitate prive di spazi verdi.

Alcuni edifici possono comprendere oltre a coperture verdi anche l'unione del verde verticale o di vere e proprie terrazze verdi, come nel caso de "Il bosco verticale" a Milano (Figura 19).



Figura 19 Il Bosco Verticale a Milano. Un esempio particolare di tetti/terrazze verdi. Aspetti positivi sia in termini di paesaggio che di ambiente.

1.3.8. GESTIONE SOSTENIBILE DELLE ACQUE METEORICHE (ACCUMULO E DRENAGGIO)

Uno dei vantaggi principali dei tetti verdi è sicuramente la gestione delle acque meteoriche. La pioggia, specie quella di forte intensità in un breve lasso di tempo, e la neve che si scioglie sono le principali fonti di problemi a livello urbano. La differenza sostanziale fra un'area urbana e quella rurale sta nella maggior capacità di far defluire l'acqua negli strati profondi per la capacità di permeabilità del suolo. Nelle aree urbane questo accade raramente e le grandi quantità di acqua vengono smaltite attraverso impianti fognari o tramite le poche aree a verde. Nel caso di forti temporali queste grandi quantità d'acqua scivolano lungo le varie superfici impermeabili (strade, edifici, ...) che non ne diminuiscono affatto la quantità scaricata al suolo e ne aumentano la velocità verso la sezione di chiusura rispetto a quello che avverrebbe su una superficie permeabile. Un altro

problema connesso alla gestione delle acque meteoriche è riferito alla qualità dell'acqua che arriva al suolo dopo aver attraversato varie superfici, più o meno sporche ed inquinate.

I due problemi sono quindi classificabili in:

- gestione della quantità dell'acqua meteorica;
- gestione della qualità dell'acqua meteorica.

Negli anni si è studiato come un tetto verde possa aiutare nel controllo dei flussi di acqua che, precipitando sopra alla copertura stessa, possono esser gestiti in modo da venire accumulati e di conseguenza rallentare il deflusso. Sicuramente il tetto verde è il metodo ideale per la gestione del deflusso perché permette di sfruttare una superficie già presente al di sopra degli edifici. Inoltre rallenta il deflusso e permette all'acqua immagazzinata di ritornare in atmosfera grazie all'evapotraspirazione. Substrati differenti, metodi di drenaggio diversi e le diverse varietà delle specie vegetali influenzano in maniera differente il tasso di deflusso (Oberndorfer, Lundholm et al. 2007).

Alcuni studi svolti nel Portland, Oregon e East Lansing, Michigan hanno evidenziato come la riduzione del deflusso di alcuni specifici tetti verdi andasse dal 66 % al 69 % con uno strato di 10 cm di substrato. O come si arrivi a riduzioni dal 25% al 100% su substrati più superficiali in alcuni casi (Oberndorfer, Lundholm et al. 2007) con una riduzione complessiva regionale del 2.7% dell'acqua defluita se il 10 % delle coperture fossero a tetto verde (Mentens, Raes et al. 2006).

Ci si potrebbe chiedere quali siano gli elementi che svolgono un'azione di riduzione del deflusso maggiore rispetto agli altri. Un tetto verde è infatti formato da numerosi elementi. Ma quali sicuramente possono aiutare significativamente?

Ebbene sicuramente lo spessore del substrato e la pendenza influenzano in modo più diretto sul deflusso rispetto alla vegetazione (Wolf and Lundholm 2008). Le piante possono comunque accentuare l'evapotraspirazione e possono trattenere l'acqua in modi differenti. Piante con radici più profonde riescono ad assorbire l'acqua presente negli strati più bassi o a rallentare il deflusso, le piante CAM invece come il *Sedum*, sia per la loro funzionalità biologica che per il loro scarso apparato radicale profondo non esercitano lo stesso effetto in termini di evapotraspirazione. L'uso combinato di più specie è spesso utilizzato sia in campo applicativo che a livello di studi sperimentali (Dunnett, Nagase et al. 2008).

Il coefficiente di deflusso (ψ) permette di esprimere la quantità di acqua defluita in seguito ad un evento meteorico (afflusso) per un determinato periodo di tempo, tenendo come elementi fondamentali lo spessore dello strato colturale e l'inclinazione del tetto. I valori sono compresi fra 0 e 1. A livello di norma UNI 1235:2007 il coefficiente di deflusso viene espressamente evidenziato nel modo seguente (Tabella 1 Rapporto fra spessore colturale e coefficiente di deflusso Fonte: UNI 11235:2007 :

Tabella 1 Rapporto fra spessore colturale e coefficiente di deflusso Fonte: UNI 11235:2007

Spessore dello strato colturale (S)	Coefficiente di deflusso	
	ψ	
cm	Inclinazione copertura minore di 15°	Inclinazione copertura maggiore di 15°
8 < S < 10	0,60	0,65
10 < S < 15	0,45	0,50
15 < S < 25	0,35	Variabile in base ai materiali
25 < S < 35	0,25	Variabile in base ai materiali
35 < S < 50	0,20	Variabile in base ai materiali
S > 50	0,10	Variabile in base ai materiali

Uno studio svolto nella zona di Karlsruhe, ha evidenziato come una stratificazione di 70 mm di strato colturale possa trattenere una quantità annua di pioggia pari al 57% con un coefficiente di deflusso pari allo 0,43.

La combinazione di diversi fattori ed elementi agisce sul deflusso del tetto verde. Uno studio svolto negli Stati Uniti ha analizzato come diversi parametri portino a valori di deflusso differenti in seguito a piogge meteoriche che gravitano al di sopra di un tetto verde estensivo. Sono stati messi a confronto due strati colturali, di cui uno con una copertura vegetale e l'altro no, e uno strato di ghiaia. Ottenendo un risultato complessivo che arriva sino all'82,8 % di acqua trattenuta, con valori differenti a seconda

se l'evento di pioggia era leggero o intenso. Evidenziando però che la differenza fra strato colturale inverdito e non, presenta poche differenze. La copertura vegetale riduce l'erosione e fornisce molti altri benefici, ma da questo ed altri studi simili sembra non essere l'elemento principale che aumenta la trattenuta d'acqua nel sistema, a differenza dei vari strati colturali e sistemi di drenaggio che si trovano in commercio (VanWoert, Rowe et al. 2005). Viene inoltre evidenziata la capacità di rallentare e disperdere il picco di intensità di pioggia nel tempo come anche la differenza di deflusso in base alla pendenza (Figura 20) (Czemiel Berndtsson 2010).

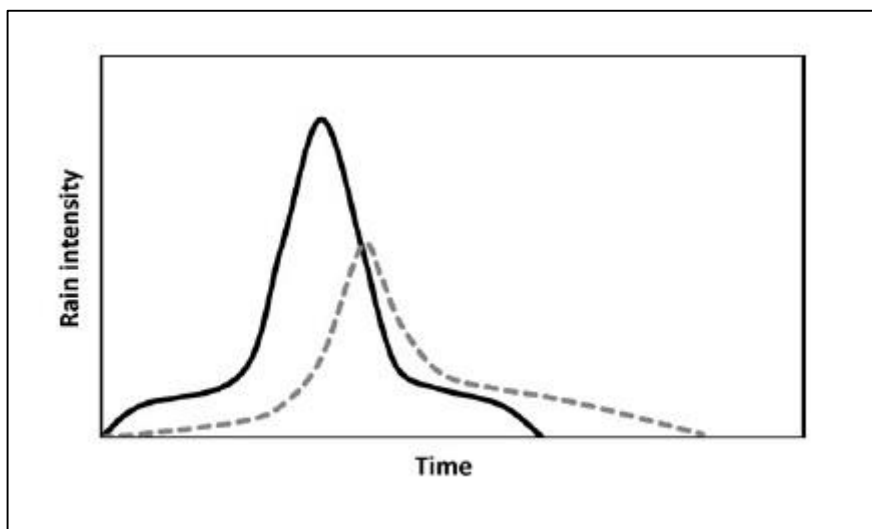


Figura 20 Correlazione tempo di deflusso, intensità di pioggia e diversa copertura (tratteggio: tetto verde) Fonte: (Czemiel Berndtsson 2010)

1.3.9. TETTI VERDI E PANNELLI FOTOVOLTAICI

Negli ultimi anni, anche grazie ad incentivi fiscali, si è assistito ad un aumento dell'utilizzo di pannelli fotovoltaici e/o di moduli solari termici. Generalmente vengono posti, in base a posizione e latitudine al di sopra di edifici con varie inclinazioni (25, 30 e 45 gradi). Si sa che i pannelli fotovoltaici funzionano al loro massimo rendimento nel caso vi siano determinati parametri (Standard Test Conditions) ovvero 1000 W/m^2 , una temperatura di esercizio pari a 25°C ed una distribuzione spettrale di 1,5 AM.

Un fattore assai limitante è proprio la temperatura: se in genere nelle nostre zone climatiche i 25°C in estate sono facili da superare e la temperatura dell'aria e della superficie dei pannelli solari si scalda altrettanto velocemente. Questo aumento di temperatura ne riduce la resa ed il funzionamento. Si è

visto come al di sopra di una superficie non inverdita che presenta colorazione scura o in presenza di ghiaia le temperature raggiungono facilmente i 70-90 °C. Diversamente si può dire che sulla superficie delle coperture verdi si ha una temperatura che si attesta sui 35 °C. Un aiuto sicuramente per il rendimento dei pannelli fotovoltaici.

Ma quindi ci si potrebbe chiedere: si riesce a far coesistere un tetto verde con al di sopra una fila di pannelli fotovoltaici?

Ebbene la domanda può trovar risposta basandosi ad esempio su uno studio svolto per conto della ZinCo in merito a dei moduli di strato di accumulo e drenaggio predisposti per supportare i pannelli fotovoltaici al di sopra. E' emerso come, in una giornata di luglio, al di sopra di strati bituminosi la temperatura inferiore del pannello raggiunge i 40 °C mentre al di sopra di un tetto verde estensivo, con specie vegetali di basse dimensioni come il *Sedum*, la temperatura massima del lato inferiore del pannello possa raggiungere i 27 °C (Figura 21) (ZinCo Italia).

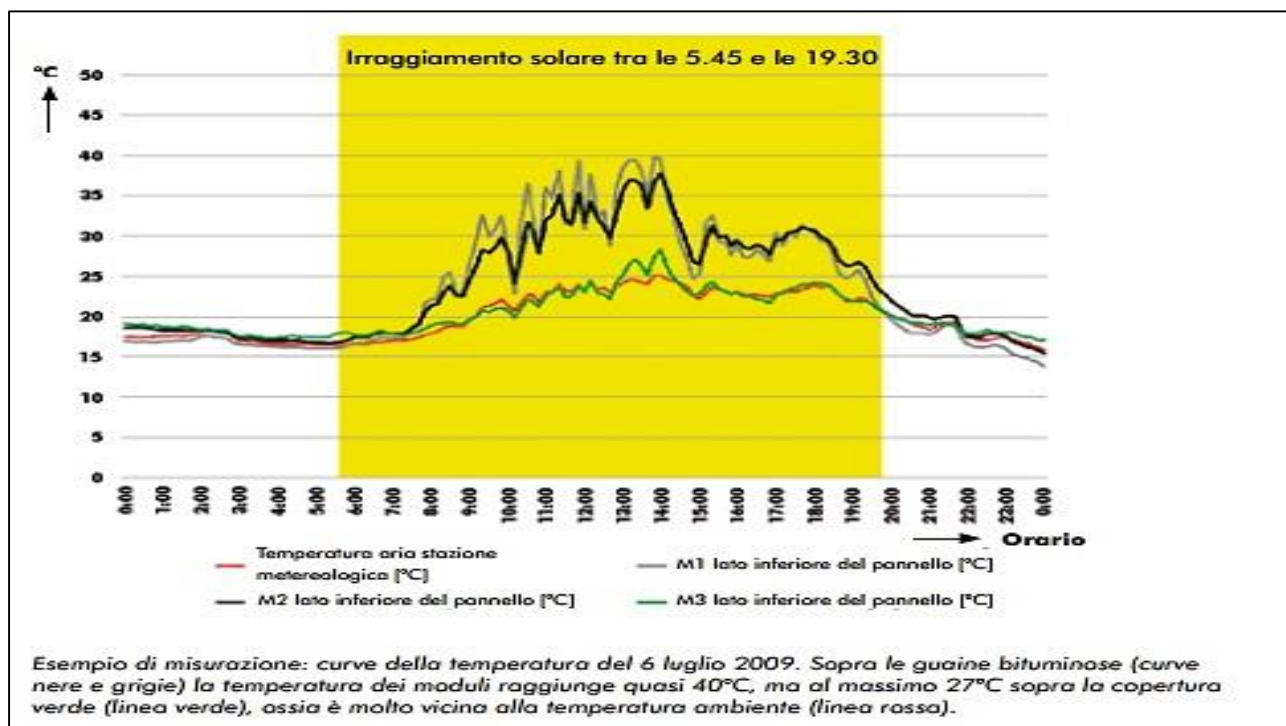


Figura 21 Differenti temperature registrate al di sopra di una copertura in estate. I benefici in termini di funzionamento ottimale del pannello fotovoltaico si hanno su superfici inverdite. Fonte: (ZinCo Italia, s.d.)

1.4. NORMATIVE DI RIFERIMENTO, LEGGI NAZIONALI E POLITICHE DI SOSTEGNO ALLA REALIZZAZIONE DI TETTI VERDI

Viene automatico sostenere che la scelta o l'indicazione di realizzare una copertura a verde possa partire in seguito ad una spinta dalla parte governativa dei singoli Paesi nel mondo.

In una visione globale, gli aiuti che un singolo governo può attuare sono generalmente di carattere finanziario con ad esempio degli incentivi o con delle indicazioni tecnico/scientifiche volte ad attirare maggiormente l'opinione pubblica su tematiche di gestione delle acque piovane.

Alcuni esempi a livello mondiale possono far comprendere come si possa incentivare alla realizzazione di tetti verdi. A Tokyo ad esempio si richiede la realizzazione di tetti verdi al di sopra delle abitazioni private che hanno una superficie di 1000 m², mentre su edifici pubblici quando l'area dell'edificio è di almeno 250 m², andrà realizzata una copertura verde di almeno il 20% della superficie del tetto. In Germania invece viene supportata la realizzazione di tetti verdi per almeno 13.5 milioni di m² all'anno. A Basilea il costo del tetto verde viene ripagato in una percentuale del 20% del costo totale. A Toronto in Canada vi sono delle politiche precise di promozione di tetti verdi con una superficie pari al 50-70% dell'intera copertura dell'edificio. Sempre in termini di superficie si hanno incentivi economici pure in Quebec. Così come in molti stati e città degli USA (per esempio Austin, Baltimora, Minneapolis, ecc.) stanno o hanno incentivato alla realizzazione di tetti verdi (Berardi, GhaffarianHoseini et al. 2014).

1.4.1. LA NORMA UNI 11235:2007

La norma UNI a livello nazionale al quale si fa riferimento è la 11235:2007 ampiamente enunciata. Comprende “*Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde*”. La norma va a sopperire e a regolare le numerose interpretazioni che prima erano lasciate alla libera gestione delle singole imprese che al massimo potevano far riferimento a norme internazionali o che già erano presenti in altri Stati, ma che per varie ragioni non potevano essere applicate completamente anche in Italia.

I benefici sin qui elencati evidenziano come una gestione attenta ai consumi e all'ambiente possa sicuramente apprezzare l'uso dei tetti verdi come strumento per ottenere dei vantaggi sia sul versante economico nel tempo e sia sul benessere dell'intera collettività.

All'interno della norma sono comprese tutte le informazioni tecniche necessarie a fornire strumenti utili e chiari per la corretta realizzazione di tetti verdi a regola d'arte. La norma sta per essere integrata ed aggiornata ulteriormente, per essere poi pubblicata nei prossimi mesi.

Particolarmente utile è la parte in cui viene richiesta l'analisi da un punto di vista climatico e territoriale. Le singole condizioni climatiche possono influire direttamente sulla scelta dei materiali. All'interno della norma UNI 11235 si fa riferimento a tutta una serie di altre norme UNI. O vi si può far riferimento a parte. Fra le principali vi è la norma:

- UNI 10838:1999
- UNI 8290-1:1981 + A122:1983
- UNI 8290-2:1983
- UNI 8290-3:1987
- UNI 11345:2010
- UNI EN ISO 10318:2005

Oltre a queste vi è il D.M. 14 gennaio 2008 recante l' *"Approvazione delle nuove norme tecniche per le Costruzioni"*, in aggiunta vi è la circolare del 2 febbraio 2009, n. 617 *"Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"*.

La norma elenca tutti gli strati principali che compongono una copertura verde, ma elenca anche tutti gli elementi secondari quali:

- Strato di barriera al vapore;
- Strato di schermo al vapore;
- Strato termoisolante;
- Strato di pendenza;
- Strato di regolarizzazione;
- Strato di imprimitura;
- Strato di continuità;
- Strato di diffusione e/o equalizzazione delle pressioni di vapore;
- Strato di irrigidimento o ripartizione dei carichi;
- Strato di separazione e/o scorrimento;
- Strato di protezione;
- Strato di zavorramento;
- Strato antierosione;

- Impianti di irrigazione.

Oltre a questi vengono enunciati anche gli elementi accessori ovvero:

- Elementi di trattenimento delle strato colturale;
- Elementi di trattenimento dell'elemento drenante;
- Elementi di ancoraggio della vegetazione;
- Elementi di barriera al fuoco.

La classificazione della copertura a verde viene definita dalla norma UNI secondo la:

- Fruibilità;
- Pendenza superficiale;
- Manutenzione del sistema a verde;
- Controllo delle condizioni ambientali interne;
- Mitigazione ambientale per il territorio;

dove per fruibilità si specifica se la copertura a verde permette l'accesso ai soli manutentori o se è accessibile all'utenza o se ad esempio è carrabile.

La pendenza classifica i tetti verdi con una scala che va da pendenza P bassa < 5%, media < 15% e alta ≥ 15 %.

La manutenzione viene definita secondo tre classi ovvero 1 (bassa), 2 (media), 3 (alta nel caso degli intensivi).

Ma la manutenzione viene analizzata e descritta più nel dettaglio dalla norma evidenziandone le tipologie:

- Manutenzione delle opere a verde;
- Manutenzione del sistema di drenaggio;
- Manutenzione del sistema di smaltimento delle acque meteoriche e dell'elemento di tenuta;

Le opere a verde comprendono a loro volta:

- Manutenzione di avviamento al controllo, cioè l'insieme delle operazioni agronomiche necessaria nella fase di avviamento come ad esempio il controllo dello spessore dello strato colturale, la risemina delle fallanze, il controllo dell'impianto di

irrigazione, ecc. oltre a tutte le lavorazioni agronomiche ordinarie come concimazioni, eliminazione infestanti, potature, ecc.;

- Manutenzione di avviamento a regime (estensivo), comprendenti le opere e le forniture necessarie al raggiungimento dello stato di manutenzione ordinaria;
- Manutenzione ordinaria il cui scopo è il mantenimento nel tempo della funzione della tipologia di inverdimento prevista;
- Manutenzione straordinaria, da effettuarsi in occasione di particolari situazioni che dovessero manifestarsi durante la vita dei sistemi, come ad esempio eventi meteorologici avversi.

1.4.2. LA NORMATIVA NAZIONALE

L'aspetto più importante per aumentare la diffusione di tetti verdi anche nel nostro Paese è sicuramente quello relativo alla buona riuscita di un'opera grazie a norme che ne specificano chiaramente i passaggi e materiali di costruzione, ma soprattutto la possibilità di avere delle riduzioni fiscali e quindi un aiuto in termini economici.

L'AIVPEP (Associazione Italiana Verde Pensile) ha collaborato e collabora per inserire nelle normative in materia di verde pensile, anche elementi che possano evidenziare l'importanza di un tetto verde sia come sgravio dei costi per un edificio sia come miglioramento nella gestione dell'acqua meteorica e delle problematiche ambientali in ambito urbano.

Con D.P.R n° 59 del 2/4/2009 "*Regolamento recante attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del DLG 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione delle direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*" le coperture a verde vengono inserite e considerate come elemento che limita i fabbisogni energetici negli edifici. In particolare modo il decreto legislativo del 19 agosto 2005 n° 192 stabilisce criteri, condizioni e modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici per cercare di favorire sia lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili. Nel decreto si fa riferimento anche agli obiettivi che erano stati posti per il nostro Paese durante il protocollo di Kyoto.

Nel D.P.R. n°59 del 2009 viene anche specificata la definizione di copertura a verde nell'Articolo 2 comma 5: "copertura a verde, si intendono le coperture continue dotate di un sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali caratteristiche della copertura di un edificio. Tali coperture sono realizzate tramite un sistema strutturale che prevede in

particolare uno strato colturale opportuno sul quale radicano associazioni di specie vegetali, con minimi interventi di manutenzione, copertura a verde estensivo, o con interventi di manutenzione medio alta, coperture a verde intensivo”.

In particolar modo nell'Articolo 4 comma 1, lettera c si cita: “(...) utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio; nel caso che il ricorso a tale ventilazione non sia efficace, può prevedere l'impiego di sistemi di ventilazione meccanica nel rispetto del comma 13 dell'articolo 5 decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412. Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale o trasmittanza termica periodica delle pareti opache previsti alla lettera b), possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tale caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni”.

Il successivo Decreto Ministeriale 26/06/2009 definisce le Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le regioni. Con il fine in aggiunta alla promozione di adeguati livelli di qualità dei servizi di certificazione energetica e la diffusione di quest'ultima a livello nazionale, di tutelare gli interessi degli utenti.

Se da un lato si punta alla certificazione degli edifici dall'altro si cerca di diffondere la conoscenza ed i benefici di una copertura a verde anche attraverso leggi nazionali. L'AIVEP a tal proposito, operante come Comitato tecnico grazie alla Legge 10/2013, ha collaborato e collabora attraverso un proprio gruppo di lavoro romano all'approvazione della Legge 14 gennaio 2013, n. 10 comprendente *“Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani”*.

La legge elenca vari punti a favore dello sviluppo di spazi verdi. Dal riconoscimento della giornata dell'albero con l'impianto di giovani piante autoctone nel territorio nazionale, all'impianto di alberi per ogni nato per comuni sopra i 15.000 abitanti entro sei mesi, al censimento degli alberi in aree urbane pubbliche sino alla proposta di un piano nazionale per la realizzazione di aree verdi permanenti intorno alle maggiori conurbazioni per consentirne un adeguamento dell'edilizia e delle infrastrutture pubbliche e scolastiche che garantisca la riqualificazione degli edifici anche attraverso il rinverdimento delle pareti e dei lastrici solari. Proprio quest'ultimo punto comprende un elemento

fondamentale ovvero la promozione delle coperture a verde come elemento sostitutivo ai lastrici solari. In particolare l'Articolo 6 comma 1 cita: "Ai fini di cui alla presente legge, le regioni, le province e i comuni, ciascuno nell'ambito delle proprie competenze e delle risorse disponibili, promuovono l'incremento degli spazi verdi urbani (...) e adottando misure volte a favorire il risparmio e l'efficienza energetica, l'assorbimento delle polveri sottili e a ridurre l'effetto "isola di calore estiva", favorendo al contempo una regolare raccolta delle acqua piovane, con particolare riferimento (lettera c): alle coperture a verde di cui all'art. 2, comma 5, del regolamento di cui al d.P.R. 2 aprile 2009, n° 59, quali strutture dell'involucro edilizio atte a produrre risparmio energetico, al fine di favorire, per quanto possibile, la trasformazione dei lastrici solari in giardini pensili".

La legge è sicuramente un bel passo in avanti in materia di riqualificazione degli spazi urbani e sicuramente un bel riconoscimento per quanto riguarda lo sviluppo dei tetti verdi.

A seguito della precedente Legge si è previsto, con Delibera 14/04/2014 n.1 un incentivo fiscale per la trasformazione dei lastrici solari in giardini pensili con detrazioni al 50% o 65%, a seconda dei casi, sull'IRPEF. Le detrazioni valgono comunque nel caso vi sia un effettivo vantaggio di risparmio energetico e non si applicano nel caso di miglioramenti in ambito estetico.

1.4.2.1. LA LEGGE REGIONALE DEL VENETO

A livello regionale il punto di partenza normativo è la Legge Regionale n. 4 del 09 marzo 2007 comprendente iniziative ed interventi regionali a favore dell'edilizia sostenibile. Viene altresì definita edilizia sostenibile l'osservanza di teorie progettuali che fondano l'ideazione e la realizzazione del manufatto edilizio su principi di compatibilità dello stesso con l'ambiente e di miglioramento della qualità della vita umana. Elencando alcuni elementi che portano ad un risparmio energetico ed economico come l'uso di fonti rinnovabili, il riutilizzo di acque piovane, l'uso di materiali e manufatti riutilizzabili sino al benessere e la salute dei fruitori.

1.4.2.2. L'INDICE R.I.E. DELLA CITTA' DI BOLZANO

Il R.I.E. è l'acronimo che indica la Riduzione dell'Impatto Edilizio. Da diversi anni (dal 2004) la città di Bolzano ha adottato questa procedura per compensare alla modifica del territorio in seguito ad ogni intervento edilizio. In sostanza viene valutato un indice numerico di qualità ambientale, applicato al lotto edificabile, al fine di certificare la qualità dell'intervento rispetto alla permeabilità del suolo ed al verde ed alle misure integrate di mitigazione e compensazione ambientale. Gli elementi che forniscono un elemento essenziale nella determinazione con valori R.I.E.:

- la tipologia ed i materiali di finitura delle superfici esterne esposte alle acque meteoriche;
- la gestione e l'eventuale recupero/riuso delle acque meteoriche;
- la piantumazione di specie vegetali e l'inverdimento pensile.

L'indice viene calcolato partendo dalla rilevazione del RIE dello stato di fatto e con riferimento agli indici normalizzati RIE di zona differenziati (zone residenziali ovvero produttive) ed in base alle reali situazioni di fatto tecnico giuridiche del fondo edificabile. L'algoritmo utilizzato per il calcolo è il seguente:

$$R.I.E. = \frac{\sum_{i=1}^n S_{v_i} \cdot \frac{1}{\psi_i} + (S_e)}{\sum_{i=1}^n S_{v_i} + \sum_{j=1}^m S_{i_j} \cdot \psi_i}$$

dove:

R.I.E. : indice di riduzione dell'impatto edilizio;

S_{v_i} : i-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata trattata a verde;

S_{i_j} : j-esima superficie permeabile, impermeabile o sigillata non trattata a verde;

ψ_i : coefficiente di deflusso;

S_e : superfici equivalenti alberature.

Il valore ottenuto è compreso fra 0 e 10 (un numero elevato indica una miglior gestione del territorio, mentre valori prossimi allo 0 comprendono lotti con superfici completamente impermeabilizzate e prive di verde. Un indice di 10 corrisponde a lotti completamente trattati a verde, privi di superfici impermeabilizzate. Massime prestazioni in termini di regimazione delle acque. Un indice R.I.E. di 3,95 identifica i lotti urbanizzati in funzione dell'area edificata, della tipologia di superfici presenti, in funzione della loro permeabilità e dalla maggiore o minore presenza di verde. Per le zone produttive l'indice minimo prescritto corrisponde a 1,50, mentre per le zone residenziali l'indice minimo è pari a 4,00.

1.4.3. LA NORMATIVA EUROPEA

Si è accennato precedentemente alla direttiva europea 2002/91/CE del 16 dicembre 2002. Questa direttiva riguarda il rendimento energetico nell'edilizia. Si fa riferimento al consumo di energia impiegata nel settore residenziale e terziario, pari al 40% del consumo finale di energia della Comunità e come le misure per un ulteriore miglioramento del rendimento energetico degli edifici dovrebbero tenere conto delle condizioni climatiche e locali.

L'AIVEP e la EFB- European Federation of Green Roof Associations, sta collaborando affinché il CEN – European Committee for Standardization attivi un gruppo di lavoro per la realizzazione di una norma europea sulle coperture a verde CEN/TC 390 “Project Committee – Criteria for design, performance, test methods and maintenance of roof gardens” con l'intento di ottenere una norma che non si limiti a definire le prestazioni dei singoli elementi, ma all'intero sistema (AIVEP, 2014).

2. LE DIVERSE TIPOLOGIE DI TETTO VERDE

2.1. ASPETTI GENERALI

Si è visto come nel corso dei secoli e degli anni, le tipologie di tetti verdi si siano evolute ottenendo sempre maggiori risultati in termini di benefici e di sviluppo tecnologico. La classificazione di diverse tipologie di tetti verdi ha permesso di ottenere dei sistemi di raccolta e deflusso dell'acqua che potessero adattarsi ad edifici con caratteristiche strutturali varie. Questa differenziazione in termini di caratteristiche progettuali ha permesso inoltre di ottenere coperture verdi che potessero anche essere calpestate ovvero utilizzate per scopi di svago e ricreazionali con diversi gradi di manutenzione. Le tipologie descritte dalla norma UNI 11235:2007 comprendono inverdimenti estensivi ed intensivi.

Se da un lato si ha un aumento in termini di sviluppo tecnologico dall'altro la difficoltà nell'applicazione corretta di queste tecnologie, il risparmio sui costi dei materiali, la mancanza di dialogo fra i vari soggetti interessati magari nella costruzione di nuovi edifici e le difficoltà culturali di accettare nuove tecniche progettuali hanno contribuito sicuramente nell'avere Paesi del centro nord Europa che incentivano da molto tempo questi sistemi ed altri fra cui l'Italia che solamente negli ultimi anni stanno investendo e ponendo sempre maggior attenzione verso il verde pensile.

Si sono volute inserire finalmente le coperture a verde quale sistema che può migliorare l'ambiente interno all'edificio oltre al clima presente in ambito urbano limitando i fenomeni dell'isola di calore (UHI). Sebbene la forma di vantaggio fiscale è destinata ad esaurirsi in breve tempo ciò non toglie

come in un'ottica di sviluppo, specie in Italia dove si ha un'alta percentuale di densità abitativa (ISTAT, 2010) ed insediativa, il sistema di coperture a verde sia finalmente entrato nell'uso comune almeno nei termini normativi e fiscali. Alcune informazioni seguenti sono prese dal testo "Il Verde Pensile" di Abram (2011).

2.1.1. IL VERDE PENSILE ESTENSIVO

Si è accennato alla differenza sostanziale che caratterizza un inverdimento estensivo dall'inverdimento intensivo ovvero la differente quantità di materiali ed il differente grado di manutenzione. Un tetto verde estensivo presenta un substrato di coltivazione con uno spessore minimo che va dagli 8 cm (Sedum) sino ai 10 cm (Erbacee perenni a piccolo sviluppo). Normalmente è un tetto verde non fruibile, o meglio, lo scopo principale è quello di mitigare la temperatura nell'ambiente e nei locali interni alla struttura oltre a alla gestione sostenibile dell'acqua meteorica. Generalmente la copertura vegetale principale che si utilizza è a base di *Sedum* (Figura 22).



Figura 22 Esempio di tetto verde estensivo Fonte: Bauder

La norma UNI evidenzia sicuramente come sia importante avere uno spessore minimo di substrato per uno sviluppo corretto della vegetazione.

In zone del nord Italia si può far riferimento ai centimetri minimi indicati, ma più si scende verso il sud Italia i centimetri di spessore vanno assolutamente aumentati per evitare perdite di acqua per evaporazione che già possono risultare scarse, per precipitazioni annue più contenute.

Negli Stati Uniti ad esempio viene identificato un tetto verde estensivo che presenta un substrato di coltivazione con valori medi dai 2 ai 20 cm (Oberndorfer, Lundholm et al. 2007).

Si hanno esempi sempre più frequenti anche nel nostro Paese di questa tipologia di copertura a verde specie sugli edifici pubblici recentemente ristrutturati o di nuova costruzione o su edifici commerciali per ridurre i fabbisogni energetici e quindi i costi. La poca manutenzione ed i vantaggi in termini di efficienza energetica e di bilancio energetico dell'intera o di parte della struttura stanno portando lentamente a scelte orientate nella direzione del verde pensile.

L'opzione che prevede l'utilizzo di un monostrato privo di strato drenante e filtrante non risulta a norma nel nostro Paese. Una sezione schematica degli elementi è visibile in Figura 23.

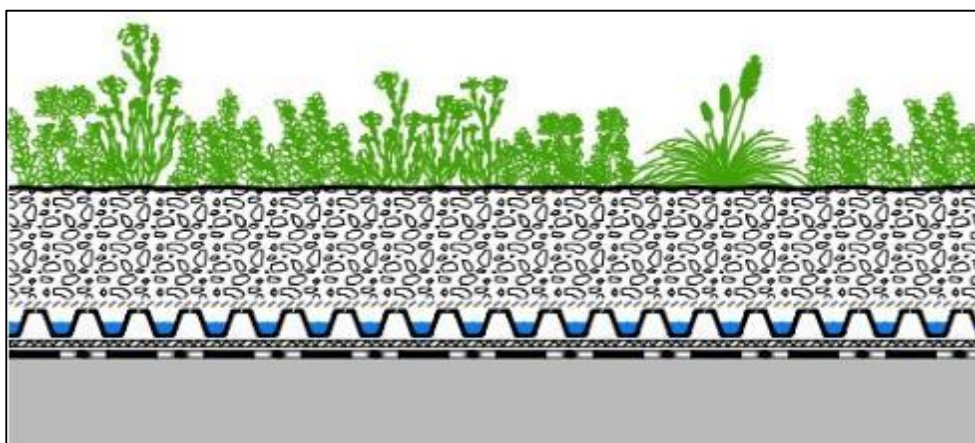


Figura 23 Esempio di schema di un tetto verde estensivo Fonte: (ZinCo Italia, s.d.)

La manutenzione si limita ai controlli degli elementi del sistema e nel caso dello strato di vegetazione questa deve esser rivolta a controllare l'eventuale presenza di parassiti, malattie ed infestanti che possano influenzarne la funzionalità, considerando in questo caso una manodopera pari a $0,02$ ore per metro quadro all'anno. Un'irrigazione occasionale può risultare utile (soccorso), ma un impianto di irrigazione è consigliabile, soprattutto per sopperire alle eventuali carenze idriche che potrebbero crearsi nella prima fase di insediamento.

2.1.2. IL VERDE PENSILE INTENSIVO

Il verde pensile intensivo si differenzia dal precedente per quanto concerne, manutenzione, spessore dello strato colturale, vegetazione e fruizione (Figura 24).

La manutenzione, secondo la norma UNI 11235:2007, comprende oltre alle normali operazioni da applicare nel caso precedente anche le “..attività agronomiche necessarie alla corretta gestione delle aree verdi”. Sempre secondo la norma un tetto verde intensivo “*comporta un tenore di manutenzione proporzionale all’apporto di acqua, manodopera ed energia in genere ed è influenzato da tutti gli elementi identificativi del contesto, del sito e della copertura stessa, nonché dalle scelte di tipo architettonico e paesaggistico*”.

Il tetto verde estensivo viene preferito per coprire edifici che non richiedono elementi di rinforzo strutturali per il limitato carico gravante sull’intera struttura (Oberndorfer, Lundholm et al. 2007).



Figura 24 Esempio di verde pensile intensivo Fonte: Bauder

Un tetto intensivo, invece, per la particolarità che lo contraddistingue presenta uno substrato di uno spessore superiore ai 15 cm e normalmente non supera i 50 cm. Si può comunque arrivare a spessori pari ai 150 cm o più. Con pesi superiori ai 200 kg/m² (Figura 25).

I tetti verdi intensivi differenziano da quelli estensivi soprattutto per la loro fruibilità. Possono essere definiti come dei veri e propri giardini sospesi e presentano una considerevole scelta in termini di piante da poter mettere a dimora. Sono giardini pensili anche quando comprendono elementi di arredo, vialetti e impianti di irrigazione obbligatoriamente predisposti.

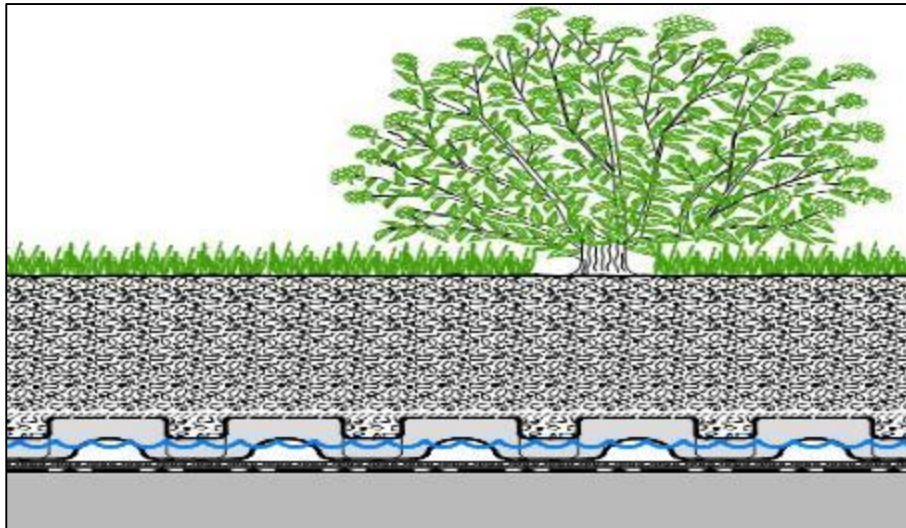


Figura 25 Esempio di schema di un tetto verde intensivo Fonte: (ZinCo Italia, s.d.)

Nella tabella 2 si possono vedere riassunti gli elementi principali che caratterizzano un tetto verde estensivo rispetto ad un tetto verde intensivo (Oberndorfer, Lundholm et al. 2007):

Tabella 2 Differenze fra tetto verde estensivo ed intensivo Fonte: (Oberndorfer, Lundholm et al. 2007)

ATTRIBUTI PRINCIPALI	ESTENSIVO	INTENSIVO
Spessore substrato di coltivazione	Sotto i 200 mm	Sopra i 200 mm
Accessibilità	Inaccessibile	Accessibile
Peso	60 – 150 kg/m ²	Sopra i 300 kg/m ²
Diversità di piante	Poca (<i>Sedum</i> , erbacee)	Molta (perenni, cespugli e alberi)
Costruzione	Moderatamente facile	Tecnicamente complessa
Irrigazione	Spesso non necessaria	Necessità di sistemi di drenaggio e irrigazione
Manutenzione	Semplice	Complicata
Costo	Basso	Alto

2.1.2.1. TETTO VERDE INTENSIVO LEGGERO

Simile al tetto verde intensivo, ma con uno spessore del substrato di coltivazione al limite fra l'estensivo e l'intensivo, vi è il tetto verde intensivo leggero. Lo spessore, infatti, si aggira attorno ai 15-20 cm per un peso complessivo che può arrivare sui 150-200 kg/m² (Perlite Italiana, 2013). Questo particolare tetto è comunque fruibile, però la copertura vegetazionale è generalmente a tappeto erboso. Richiede manutenzione, ma più contenuta rispetto ad un tetto verde intensivo. Molto spesso realizzato al di sopra di grandi superfici (centri commerciali, ospedali, centri direzionali).

Studi sono stati svolti presso la scuola di Agraria dell'Università di Padova ad Agripolis (dipartimento Tesaf) per analizzare l'accumulo e il deflusso su tetto verde intensivo leggero con copertura a *Zoysia japonica* 'Zenith' (Figura 26 Figura 27). Hanno evidenziato, inoltre, l'importanza dell'aspetto esteriore e la crescita mettendo a confronto due sistemi di gestione del taglio, uno con asporto della biomassa ed un altro che simulasse l'effetto mulching. Evidenziando una risposta positiva del tappeto erboso per quest'ultimo metodo di gestione del taglio (Bortolini, Zanin, & Macolino, 2013)



Figura 27 Cassoni prova tetto verde intensivo leggero presso l'azienda sperimentale ad Agripolis



Figura 26 Taniche per la raccolta dei deflussi

2.2. LA COMPOSIZIONE DI UN TETTO VERDE

2.2.1. GLI STRATI E GLI ELEMENTI DI UN TETTO VERDE

Banalmente si potrebbe dire che una copertura a verde necessita solamente di un buono strato isolante che divida la struttura del tetto dal terreno, uno strato di accumulo e drenaggio e lo strato di substrato di coltivazione dove mettere a dimora le piante.

Ovviamente la composizione degli strati che formano l'intero sistema "tetto verde" è ben più complessa e articolata (Tabella-schema 3). Ciascun elemento ha una funzione ben precisa, nulla è superfluo e nulla va dato per scontato. La buona riuscita di una copertura a verde, tralasciando la suddivisione di sistemi migliori di altri, sta proprio nel rispetto di tutti gli strati e gli elementi necessari ed il rispetto delle regole nella realizzazione e manutenzione. L'importanza di questo concetto può essere semplificato in una frase: "la base di un tetto verde è il nostro soffitto", un gioco di parole per indicare quanto sia importante seguire a regola d'arte tutte le operazioni ad iniziare dal basso per poi salire onde evitare di trovarsi a ricominciare dall'inizio.

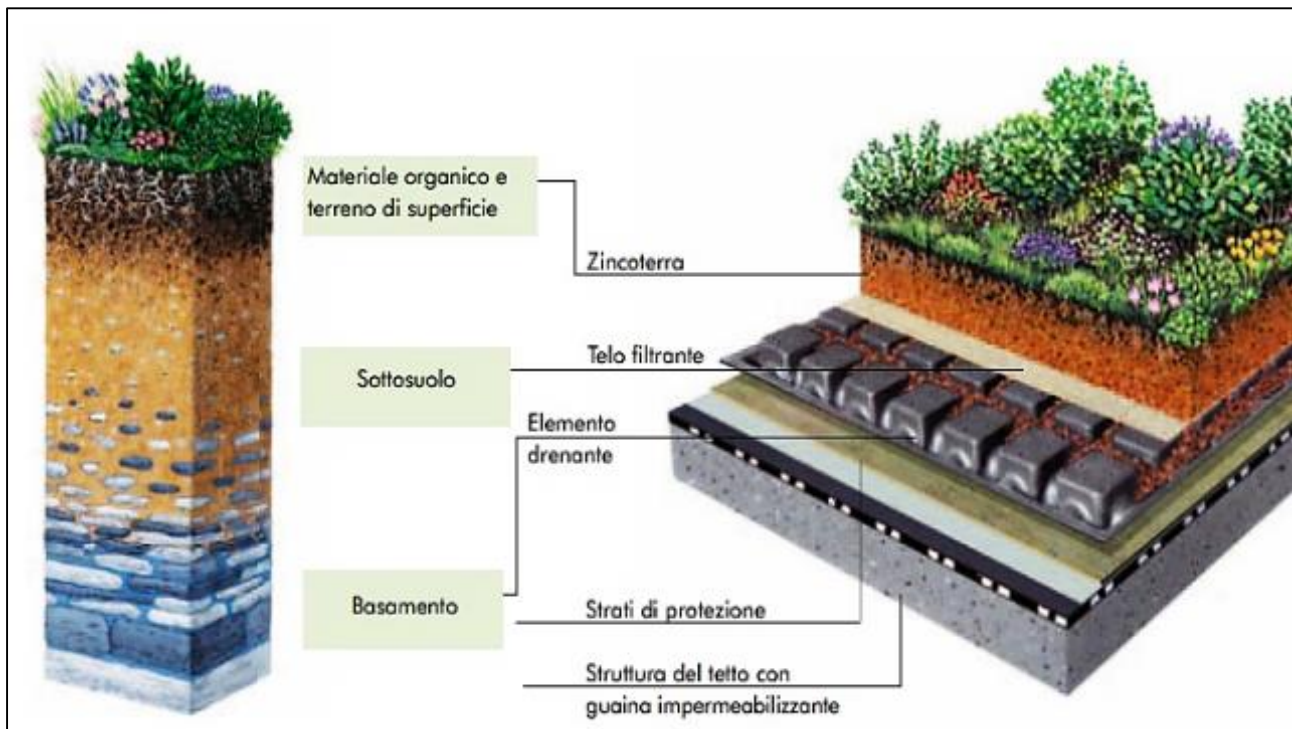


Tabella-schema 3 Struttura di un tetto verde Fonte: (ZinCo Italia, s.d.)

La struttura completa di un tetto verde è così composta (dal basso verso l'alto):

- Elemento portante;
- Barriera al vapore;
- Strato antiradice (può essere integrato nell'elemento di tenuta);
- Strato di accumulo e protezione meccanica;
- Strato drenante (di diversa forma, struttura, composizione);
- Strato filtrante;
- Strato colturale;
- Vegetazione.

I seguenti elementi sono praticamente sempre inseriti nel sistema a verde pensile. Ciò che cambia da tipologia a tipologia è la dimensione e le quantità dei materiali.

➤ ***Strato antiradice (root barrier)***

E' un elemento fondamentale per una buona riuscita di un tetto verde per evitare danni alla struttura dovuti alle infiltrazioni e per evitare di dover intervenire in un secondo momento. Le strutture più recenti presentano generalmente delle guaine e manti impermeabili classificati come antiradice. La norma UNI 11235:2007 definisce una struttura che presenta già un sistema antiradice inserito all'interno delle guaine: protezione antiradice integrata nell'elemento di tenuta. Le radici delle piante possono risultare molto aggressive e potrebbero riuscire a sollevare un'impermeabilizzazione non idonea o posata male e creare una fessura da dove l'acqua potrebbe penetrare. Le radici (specie di piante più grandi presenti ad esempio in sistemi intensivi) potrebbero superare le guaine mal posate sia sui bordi laterali della struttura che alla base oltrepassando tutti gli strati precedenti con facilità. Oltre alla protezione integrata può risultare utile o necessario prevedere una protezione antiradice aggiuntiva all'elemento di tenuta. I materiali più utilizzati sono manti in PVC dello spessore di 0,8 mm e saldabili ad aria calda o con solvente chimico oppure fogli in polietilene ad alta densità con peso di 300-400 g/m² (il secondo caso è utilizzato esclusivamente per le coperture a verde estensivo a *Sedum*).

➤ ***Strato di separazione, accumulo e protezione meccanica (insulation)***

Protezione, separazione e accumulo. Queste tre parole racchiudono insieme le tre funzioni principali di questo materiale. Protezione in quanto crea una membrana protettiva da sollecitazioni meccaniche.

Non tutte le coperture verdi sono sfruttabili per uso ricreativo, ma potremmo avere dei sistemi che dovranno sopportare il peso di grosse piante, l'uso da parte delle persone come area di svago/giardino ed in fine anche la possibilità di essere utilizzate come parcheggio per le auto su coperture di garage sotterranei.

Nel caso di un inverdimento estensivo il peso dello strato di protezione non deve essere inferiore ai 300 g/m², mentre nel caso di coperture a verde intensive leggere o intensive il peso può andare dai 400 ai 1000 g/m².

Con "separazione" si intende invece la funzione di dividere fisicamente lo strato di tenuta e lo strato di accumulo e drenaggio. In fine anche questo materiale, a seconda della tipologia riesce ad accumulare più o meno acqua al di sotto dello strato di accumulo e drenaggio. Va ricordato infatti che la particolarità di una copertura a verde sta anche nella capacità di rallentare notevolmente la quantità di acqua che raggiunge il suolo in seguito a precipitazioni anche di forte intensità.

➤ *Strato drenante (drainage layer)*

E' probabilmente l'elemento fondamentale di tutto il sistema a verde pensile. Svolge una funzione di accumulo e al tempo stesso di drenaggio. In commercio si trovano svariate tipologie di materiali, forme e caratteristiche. Se da un lato ogni singolo pannello/sacco o altro materiale svolge una funzione di accumulo di acqua e aria dall'altro si ha anche un sostegno del materiale al di sopra. Le caratteristiche tecniche variano a seconda della tipologia di verde pensile realizzata (estensivo, intensivo leggero, intensivo).

Le funzioni principali dello strato drenante sono:

- Accumulo e riserva di acqua a disposizione per la vegetazione;
- Accumulo di aria per gli apparati radicali;
- Drenaggio dell'acqua derivante da precipitazioni e irrigazioni;
- Supporto degli strati superiori (substrato, vegetazione, elementi di arredo come pavimentazioni o strutture varie oltre ad eventuali passaggi di autoveicoli);
- Funzione di protezione maggiore nei confronti del materiale di impermeabilizzazione;

Come accennato precedentemente, vi sono molteplici sistemi di accumulo e drenaggio.

Il più comune è costituito da elementi preformati in piastre o rotoli. In questa tipologia abbiamo innumerevoli tipi di elementi più o meno rigidi con una forma impressa simile molto spesso, per

rendere un'idea, alle vaschette porta uovo o con scanalature allungate. Il materiale di fabbricazione è vario possiamo avere pannelli in polistirolo, polietilene, materiali termoisolanti. La particolare conformazione permette l'accumulo di acqua e aria e nel caso del troppo pieno permette all'acqua stessa di defluire. Gli elementi preformati possono essere riempiti con materiale molto poroso come l'argilla espansa.

Un altro tipo di sistema completamente diverso è costituito da materiale sfuso racchiuso all'interno di sacchi in geotessuto. In questa seconda tipologia vengono inclusi tutti i materiali sfusi utilizzati in alternativa ai materiali preformati che per la loro caratteristica svolgono sempre una funzione drenante e di accumulo, ma con la differenza sostanziale di presentare non più una conformazione come i precedenti e nemmeno una distinzione netta fra spazi vuoti ove l'acqua si accumula e spazi vuoti ove l'aria è presente. Una problematica, se così possiamo definirla, risulta proprio la differenza di radici presenti all'interno di questo strato.

Nel caso di pannelli preformati risulta molto evidente la zona ove le radici si addensano e si accumulano maggiormente ovvero gli spazi vuoti di accumulo dell'acqua al di sotto dello strato filtrante, ma risultano praticamente privi di radici gli spazi vuoti occupati dall'aria che sono comunque resi disponibili tramite i fori dei drenaggi che permettono al troppo pieno dell'acqua di defluire. Questo accade per un motivo del tutto simile all'autopotatura delle radici (air pruning) che avviene nel caso delle radici di piante poste in vivaio all'interno di grandi contenitori retinati sopra, sotto e ai lati. Nel caso opposto invece, il materiale drenante sfuso crea una zona molto simile allo stesso substrato di coltivazione con macro e micropori che permettono alle radici di svilupparsi e crescere arrivando però ad interessare gli strati più bassi. Va sempre posta attenzione alla scelta di piante idonee.

Gli spessori tipici dello strato drenante con materiale sfuso vanno dai 6 ai 15 cm o più, mentre quelli con materiale preformato vanno dai 2,5 ai 12 cm o più.

La norma UNI 11235:2007 indica il procedimento per determinare la portata idraulica Q richiesta allo strato drenante per scegliere quello più idoneo.

Data la piovosità massima annua dell'evento, j , con un tempo di ritorno di 20 anni:

$$j = h \text{ (mm)/}t \text{ (ore)}$$

- La portata idraulica specifica (per unità di area) è:

$$q \text{ [m}^3\text{/s m}^2\text{]} = 2,777 \times 10^{-7} \times j$$

- La portata idraulica per metro lineare di scorrimento è:

$$Q \text{ [m}^3\text{/s]} = q \cos \alpha \times f \times L$$

dove α è l'angolo di inclinazione della copertura; f è il coefficiente di infiltrazione (cioè il rapporto fra la quantità di acqua che si infila nel substrato colturale e quella totale che investe la copertura), con valori che vanno da 0,33 sino a 0,50; L (metri) è la lunghezza della copertura.

Lo strato drenante svolge comunque una funzione di accumulo idrico, in quanto praticamente tutti questi elementi drenanti integrano al loro interno l'elemento di accumulo idrico. Questa capacità è determinata in relazione all'andamento climatico del contesto, alle specie vegetali previste ed alla soluzione tecnica, anche se la norma UNI non dà indicazioni approfondite in merito. Non viene considerato accumulo idrico il quantitativo di acqua presente nei materiali non disponibile per l'assorbimento radicale. La norma UNI 11235 evidenzia come sia sempre necessario garantire che nell'elemento di accumulo idrico vi sia almeno il 60% di aria, libera di passare dall'elemento drenante allo strato colturale.

➤ *Strato filtrante (filter layer)*

Lo strato filtrante svolge un ruolo importante nell'intero sistema, permette di trattenere le particelle fini evitando che vadano negli strati inferiori rischiando di creare problemi allo strato drenante, aiutare nello scambio gassoso e ancorare gli apparati radicali. Il materiale più utilizzato nella realizzazione di questi grandi rotoli di strato filtrante è geotessile in polietilene/polipropilene. Caratteristiche tipiche presenti nella scheda di descrizione di questo materiale sono la porosità e l'apertura dei pori O_{90} ⁴.

Il fattore scambio gassoso è molto importante perché le radici rischierebbero di rimanere troppo tempo in assenza di ossigeno oppure si rischierebbe una decomposizione in assenza di ossigeno degli eventuali composti organici all'interno del substrato.

Nel caso dell'elemento filtrante in geosintetico vi deve essere una permeabilità dell'acqua perpendicolare al piano con 50 mm, maggiore di (1×10^{-3}) m/s. (UNI EN ISO 11058).

⁴ O_{90} è la sigla che identifica l'apertura caratteristica dei pori del geotessile e che ne determina la sua capacità di filtrazione (μm).

➤ *Strato colturale (growing medium)*

Lo strato colturale è l'elemento principale che permette di creare un tetto con vegetazione. Nel corso degli anni le ditte produttrici di sistemi per tetti verdi hanno prodotto materiali per lo strato colturale sempre più professionali, dalla capacità di trattenere acqua ed umidità sino alla leggerezza.

Lo strato colturale rappresenta quindi la base su cui le piante crescono e si sviluppano: i diversi spessori possono risultare più o meno favorevoli per alcune specie e possono inoltre risultare (a seconda del materiale utilizzato) più o meno funzionali nel caso di mancanza di disponibilità idrica. Alcuni elementi minerali che possono costituire lo strato colturale sono:

- Pomice e lapillo (granulometria da 0 a 40 mm), la pomice presenta maggior ritenzione idrica rispetto al lapillo. Entrambi comprendono elementi minerali in piccole quantità come fosforo, potassi, calcio, magnesio e ferro;
- Zeolite, anch'essa di origine vulcanica come le precedenti (granulometria 0-20mm) con discreta porosità e ritenzione idrica;
- Vermiculite, è un silicato di alluminio, ferro e manganese;
- Argilla espansa, si ricava dal riscaldamento dell'argilla con pH neutro-alcino con buone capacità drenanti
- Perlite, anch'essa prodotta dal riscaldamento di alluminio silicato di origine vulcanica, il materiale si presenta molto leggero, bassa ritenzione idrica ed elevata capacità drenante;
- Sabbia, (granulometria fra 0,5-3,4 mm), bassa ritenzione idrica e scarso contenuto d'aria;
- Laterizio, ricavato da tegole e mattoni frantumati, la granulometria è variabile, buona la porosità ed il pH è elevato

I costituenti organici eventualmente presenti sono:

- Torba, può presentare un'elevata dotazione di sostanza organica, che varia in genere anche dalle caratteristiche delle singole torbiere. La porosità è anch'essa elevata come la capacità di ritenzione idrica. Salinità bassa e pH acido o neutro.
- Fibra di cocco, presenta caratteristiche fisiche buone. Le capacità di ritenzione idrica sono superiori a quelle della torba;
- Fibra di legno è tendenzialmente acido ed ha una bassa salinità, con elevata dotazione di sostanza organica;

- Ammendante compostato, il compost presenta una composizione varia che dipende dalle sostanze organiche di partenza. La reazione è generalmente sub-alcina con salinità alta e la sostanza organica è in genere più bassa rispetto alla torba.

La norma UNI 11235:2007 definisce alcuni aspetti tecnici al fine della corretta funzionalità dello strato colturale, ovvero:

- Densità apparente $>350 \text{ g/l} < 1000 \text{ g/l}$, secondo UNI EN 13041;
- Distribuzione granulometrica, determinabile in base ai fusi (utilizzando delle tabelle di riferimento);
- Grado di riduzione del volume alla compressione, secondo DIN 18035 con preparazione del campione alla compattazione di riferimento $8,28 \text{ g/cm}^2$;
- Volume commerciale, secondo UN EN 12580;
- Permeabilità, secondo DIN 18035:
 - o Per coperture intensive $> 0,3 \text{ mm/min}$;
 - o Per coperture estensive $> 0,6 \text{ mm/min}$;
- Capacità di ritenzione idrica, secondo UNI EN 13041;
- Porosità totale $> 58\%$ per coperture di tipo intensivo
- Porosità totale $> 48\%$ per coperture di tipo estensivo
- Volume d'aria a 10 cm di colonna d'acqua:
 - o Per coperture intensive $\geq 40 \%$;
 - o Per coperture estensive $\geq 30 \%$;
- Conducibilità elettrica $< 50 \text{ mS/m}$, secondo UNI EN 13038;
- Contenuto di macroelementi:
 - o Azoto minerale e potassio solubile $< 50 \text{ mg/l}$;
 - o Fosforo solubile $< 30 \text{ mg/l}$
 - o Calcio solubile $< 20 \text{ mg/l}$
 - o Sodio solubile $< 15 \text{ mg/l}$
 - o Magnesio solubile $< 10 \text{ mg/l}$
- Valori di pH:
 - o Piante non acidofile, negli estensivi, da $6,5 \leq \text{pH} < 8,0$
 - o Piante non acidofile, negli intensivi, da $5,5 \leq \text{pH} < 8,0$
- Sostanza organica, in massa:
 - o In substrati con densità $\leq 0,8 \text{ g/cm}^3$: estensivi ($\leq 8 \%$), intensivi ($\leq 12 \%$);

- In substrati con densità $> 0,8 \text{ g/cm}^3$: estensivi ($\leq 6\%$), intensivi ($\leq 6\%$);
- Capacità di scambio cationico per coperture intensive $> 12 \text{ meq/100 g}$;
- Capacità di scambio cationico per coperture estensive $> 8 \text{ meq/100 g}$.

Tipo di vegetazione	Spessore dello strato colturale (McMahon and Bogan)
<i>Sedum</i>	8
Erbacee perenni a piccolo sviluppo	10
Grandi erbacee perenni, piccoli arbusti tappezzanti	15
Tappeti erbosi	15
Arbusti di piccola taglia	20
Arbusti di grande taglia e piccolo alberi	30
Alberi di III grandezza $> 4 \text{ m} < 10 \text{ m}$	50
Alberi di II grandezza $> 10 \text{ m} < 16 \text{ m}$	80
Alberi di I grandezza $> 16 \text{ m}$	100

Come accennato precedentemente, un diverso spessore dello strato di coltivazione può influenzare sulla disponibilità di acqua e sul diverso potenziale osmotico a livello radicale. Uno studio svolto in provincia di Grosseto, nel sud della Toscana, ha evidenziato come due differenti spessori di strato colturale (uno di 200 mm ed uno di 150 mm), con stesso spessore di strato di accumulo e drenaggio (in questo caso formato da sacchi di perlite) influenzassero in modo diverso il potenziale osmotico al verificarsi di periodi di siccità, con assenza di precipitazioni, in zona mediterranea con temperature della superficie intorno ai $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ed un potenziale idrico che arriva normalmente sino a -15 bars . È emerso come a livello di strato di drenaggio e accumulo si registrasse un ritardo in termini di giorni (2 settimane) nell'abbassamento del potenziale osmotico nel caso di uno spessore di strato colturale più elevato (200mm). Questo è dovuto anche alla minor temperatura registrata nello strato più spesso che ha permesso una riduzione dell'evaporazione (Figura 28) (Benvenuti and Bacci 2010).

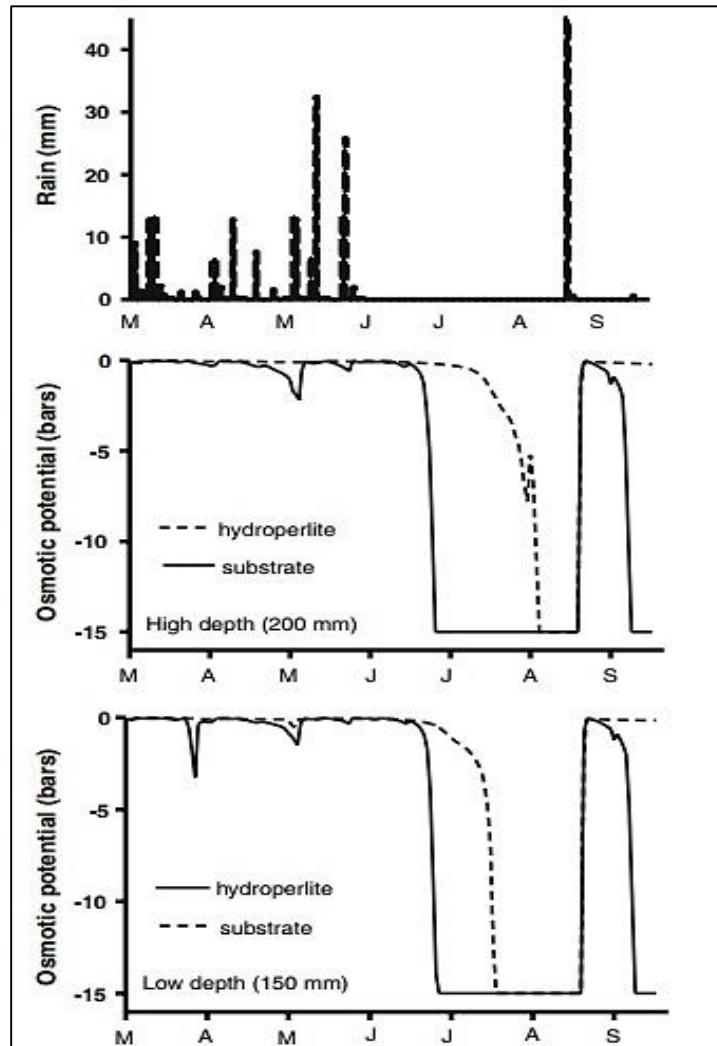


Figura 28 Differenza del potenziale osmotico in due diversi tetti verdi con spessori dello strato colturale diverso Fonte: (Benvenuti, 2010)

➤ *Strato vegetale*

L'ultimo strato che compone un tetto verde è quello relativo alla copertura vegetale. Le specie utilizzate possono essere molte, ma si differenziano a seconda della tipologia di tetto verde.

Prima di tutto va considerato che una qualsiasi copertura a tetto verde non potrà mai essere uguale ad un suolo naturale posto a terra. Le condizioni del substrato, del microclima e quelle agronomiche variano molto rispetto alle condizioni tipiche che si possono avere in un giardino o in natura. Come accennato precedentemente, il substrato deve avere delle determinate caratteristiche e queste devono

riuscire a mescolare la capacità di trattenuta idrica, deflusso e base per far crescere le specie vegetali. Sicuramente le specie scelte devono essere sempre sufficientemente resistenti a situazioni di stress idrico. Molte specie in natura reagiscono bene a queste condizioni, sicuramente negli ultimi anni, le ditte specializzate propongono miscugli vegetali in grado di adattarsi alle diverse condizioni ambientali che si possono verificare in un tetto verde.

Il parametro climatico è sicuramente uno dei fattori principali nella scelta delle specie vegetali. E' necessario optare per specie tolleranti alle particolari condizioni che si possono verificare su un tetto come il maggior vento, l'irraggiamento riflesso e l'accumulo di calore nel substrato. Nel momento della progettazione e della scelta delle piante si dovranno osservare anche gli eventuali edifici vicini. Questi infatti possono creare delle zone d'ombra di cui si dovrà tener conto nella scelta delle specie vegetali.

Uno dei problemi principali a cui porre attenzione nella scelta delle piante per una copertura a verde è sicuramente l'aggressività dell'apparato radicale. E' un errore comune inserire piante molto invasive su di un tetto verde tenendo conto solamente dell'aspetto ornamentale. L'associazione tedesca per il verde pensile (FBB) ha stilato una lista di piante che non sono indicate per una copertura a verde. La stessa lista viene menzionata in una norma della FLL tedesca (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau).

Fra le specie da evitare troviamo:

Achnatherum calamagrostis, *Aesculus parviflora*, *Ammophila arenaria*, *Aronia melanocarpa*, *Arundo donax*, *Berberis vulgaris*, *Brachypodium* spp., *Calamagrostis*, *Carex* spp., *Chloris barbata*, *Cornus stolonifera*, *Eleagnus commutata*, *Elymus* spp., *Glyceria* spp., *Hippophae rhamnoides*, *Leymus* spp., *Miscanthus* spp., *Phragmites australis*, *Prunus spinosa*, *Pterocarya fraxinifolia*, *Rhus* spp., *Scirpus* spp., *Sorbaria sorbifolia*, *Spartina pectinata*, *Syringa vulgaris*, *Typha* spp.

3. OBIETTIVI DELLA TESI

Questa tesi si pone diversi obiettivi. Si è detto precedentemente come i tetti verdi riescano a ridurre e ad immagazzinare una buona quantità di acqua meteorica, rilasciando in modo “controllato” i volumi nei pluviali e, quindi, verso il suolo o le reti di drenaggio. Si è detto inoltre come le specie vegetali influiscano sul bilancio idrico ed energetico di una copertura verde, intercettando parte della pioggia, contenendo i fenomeni erosivi, rallentando i deflussi e, attraverso i processi di evapotraspirazione, restituendo all’atmosfera in-situ, cioè dove si originano, volumi idrici (e sottraendoli dal drenaggio urbano) e raffrescando l’aria. Viene quindi da chiedersi quali potrebbero essere le migliori soluzioni progettuali di verde pensile per ottenere tutto ciò, anche in considerazione dei mutamenti climatici in atto che ci hanno fatto assistere più volte negli ultimi anni e negli ultimi mesi a eventi di pioggia a forte intensità che hanno creato problemi, disagi e danni anche nella regione del Veneto soprattutto nella zona della pianura e nelle aree urbane

L’obiettivo della tesi è quello di verificare la soluzione di tetto verde più idonea agli ambienti delle Pianura Padana veneta. A tale scopo è stato avviato uno studio presso il Campus di Agripolis a Legnaro (PD), nell’ambito del Progetto di Ateneo *In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain* (Figura 29) con il fine di individuare la combinazione di stratigrafie ottimale scegliendo tra diversi materiali forniti da ditte del settore (ZinCo, Europomice, Perlite Italiana, Bauder), associandoli a miscugli vegetali locali del Veneto. Nel nostro caso miscugli di *Sedum*, erbacee perenni e suffruticose.

Più nello specifico, l’obiettivo principale riguarda l’analisi del comportamento idrologico di alcune combinazioni strutturali confrontando due diversi strati di drenaggio/accumulo, due diversi substrati di coltivazione e tre diversi miscugli vegetali di origine autoctona ed il loro sviluppo vegetazionale.

Per comportamento idrologico si intende in questo caso l’analisi delle quantità di acqua meteorica drenata in seguito agli eventi piovosi verificatisi nel periodo di studio e per sviluppo vegetazionale si intende l’osservazione del comportamento e dell’accrescimento delle specie utilizzate e dei loro miscugli nelle particolari condizioni microclimatiche e pedologiche in cui la prova è condotta.



Figura 29 Pannello informativo del progetto

4. MATERIALI E METODI

4.1. FASI PREPARATORIE E ANALISI DEL SITO SCELTO PER LA PROVA

Le fasi preparatorie o propedeutiche alla sperimentazione e alle fasi successive (realizzazione e raccolta dati) hanno compreso l'approvvigionamento del materiale vegetale e la scelta dell'ubicazione delle prove. La sperimentazione ha previsto l'allestimento di 39 cassette, 36 delle quali per simulare 12 combinazioni di tetto verde, riempiendole con due tipi di strato di accumulo/drenaggio, due tipi di substrato e tre tipi di miscuglio vegetale, ognuna ripetuta per 3 repliche, più 3 cassette riempite solo di ghiaia (testimone). Ciascun miscuglio vegetale è formato da più specie raccolte in zone vicine al sito sperimentale, nell'area pedemontana, lungo il corso del fiume Brenta e in parte fornite dal Centro Vivaistico e per le Attività Fuori Foresta di Veneto Agricoltura a Montebelluna (VI).

4.1.1. DESCRIZIONE E RACCOLTA DEL MATERIALE VEGETALE

La scelta delle specie vegetali è stata precedentemente ponderata ed è ricaduta su essenze autoctone del Veneto, che crescono su substrati tendenzialmente aridi simili a quelli dei tetti verdi e che fossero facilmente reperibili. Sono state individuate, raccolte e utilizzate le seguenti specie vegetali:

- *Sedum album* L.*
- *Sedum acre* L.*
- *Sedum sexangulare* L.*
- *Sedum reflexum* L.*
- *Bromus erectus* H.
- *Melica ciliata* L.
- *Campanula spicata* L.
- *Potentilla pusilla* Host*
- *Euphorbia cyparissias* L.*
- *Dianthus sylvestris* W.
- *Dianthus hyssopifolius* L.
- *Dianthus carthusianorum* L.
- *Thymus serpyllum* L.*
- *Clinopodium nepeta* L.*
- *Artemisia alba* T.
- *Anthemis tinctoria* L.

Le specie identificate da un asterisco (*) sono quelle reperite direttamente in determinate zone del Veneto, mentre le altre sono quelle fornite da Veneto Agricoltura. Le specie raccolte in prossimità del fiume Brenta sono: *Potentilla pusilla*, *Thymus serpyllum*, *Clinopodium nepeta*, *Euphorbia cyparissias* e *Sedum sexangulare*.

Per quanto riguarda il Centro Biodiversità vegetale e Fuori Foresta la sua mission è contribuire alla conservazione della biodiversità delle specie vegetali autoctone ponendosi come obiettivi il contrastare la perdita di biodiversità intraspecifica, conseguente all'uso nel territorio di piante di provenienza non idonea, oltre a contrastare la perdita di biodiversità legata alla scomparsa nel territorio di specie e di habitat naturali. Le piante fornite sono ottenute da materiali di propagazione (semi o parti di pianta) di sicura provenienza locale.

Ciascuna di queste essenze vegetali è andata a comporre i miscugli utilizzati per la prova 1. *Sedum*, 2. Suffruticose, 3. Erbacee perenni.

Nel primo miscuglio, denominato *Sedum*, sono incluse le quattro specie di *Sedum* precedentemente elencate. Nel secondo (Suffruticose) vi sono invece le tre specie di *Dianthus* sp., il *Thymus serpyllum*, il *Clinopodium nepeta*, l'*Artemisia alba* e l'*Anthemis tinctoria*. Il miscuglio Erbacee perenni è composto da *Potentilla pusilla*, *Euphorbia cyparissias*, *Campanula spicata*, *Bromus erectus* e *Melica ciliata*.

Prima di descrivere il luogo di raccolta ed il metodo di propagazione per ottenere una considerevole quantità di piante per riempire tutte le cassette è bene soffermarsi brevemente sulle caratteristiche di ogni singola specie vegetale utilizzata.

- Il genere *Sedum* (probabilmente dal latino *sedare* = calmare, ad opera dell'azione rinfrescante delle foglie), racchiude specie della Famiglia delle *Crassulaceae* conosciute per la loro capacità di superare i periodi di siccità sfruttando l'apertura stomatica notturna per evitare la perdita di acqua per traspirazione, ma potendo assorbire comunque CO₂. Vengono classificate, in termini di processi fotosintetici, come piante CAM (Crassulacean acid metabolism). Le fasi più importanti, che si differenziano dalle piante C₃ e C₄ sono l'apertura degli stomi di notte per accumulare anidride carbonica convertendola (tramite la PEP carbossilasi) in acido malico (malato), che si accumula in grandi quantità nelle cellule del mesofillo. La fase successiva avviene durante il giorno quando l'acido malico viene riconvertito in CO₂ mentre gli stomi rimangono chiusi, e quest'ultima viene fissata attraverso il ciclo C₃ attraverso l'enzima rubisco (ribulosio difosfato carbossilasi) nel ciclo di Calvin – Benson. Ovviamente il processo è ben più complesso, ma serve per focalizzare l'attenzione sulla particolarità di queste piante e sul perché il *Sedum* sia un genere particolarmente apprezzato e utilizzato per la realizzazione dei tetti verdi. Le piante CAM sono molto più lente e inefficienti nella fissazione della CO₂ rispetto alle piante C₃ e C₄, ma sfruttando l'apertura stomatica notturna quando le temperature sono basse e l'umidità relativa è alta si evitano così perdite considerevoli di acqua. Per contro una crescita della biomassa nelle radici a seguito di una diminuzione di area fogliare, porta ad una diminuzione del guadagno di carbonio nella fotosintesi rispetto alla perdita di carbonio nella respirazione. La conseguenza è una diminuzione del tasso di crescita della pianta e del guadagno netto del carbonio (Thomas & Smith, 2009).

➤ **Sedum album L.**

Chiamato anche Borracina bianca, Erba pignola, Pinnocchiella (Figura 30);

Appartenente alla Famiglia delle *Crassulaceae* (dal latino *crassus* = grosso, per le foglie carnose e succulente possedute dalle piante di questa famiglia).

Dalla Fior ne “La Nostra Flora” (1985) mette in evidenza le motivazioni per cui queste piante presentano queste particolari caratteristiche racchiuse nel nome stesso della famiglia di appartenenza: “...*Le ragioni di questa carnosità va ricercata nel fatto, che la maggior parte delle specie vive in luoghi aridi e soleggiati, dove a un tempo fa difetto l’acqua e sussistono le cause principali (luce e calore), che promuovono la traspirazione...(...)...le Crassulacee si sono armate contro il pericolo del disseccamento avvicinando assai le une alle altre le foglie, che sono perciò spessissimo embriciate, o a rosetta; producendo nell’interno delle stesse un tessuto acquifero, capace di immagazzinare molta acqua e formando, per trattenerla un’epidermide grossa, sovente ricoperta da uno straterello di cera come pure riducendo al minimo il numero degli stomi, che sono per di più affondati nell’epidermide e in tal modo riparati dal vento...”.*

La specie *album* si caratterizza per la presenza di fusti grassetti, fragili, contorti, generalmente arrossati; i fioriferi ascendenti, incurvati prima della fioritura. Foglie lineari (1-1.5 X 6-9 mm) ottuse, senza sperone, eretto-patenti, un po' appiattite di sopra. Cime multiflore corimbose; peduncoli di 1-2 mm; sepali 1 mm; petali bianchi un po' screziati di rosso da 3-5 mm. (Pignatti 1982).



Figura 30 *Sedum album*

Diffuso soprattutto in zone aride e rupestri e sui muri, pioniera di tetti coperti di ghiaia, prati secchi, terreni incolti e sassosi. Predilige habitat secchi con poche sostanze nutritive. Risulta essere una fonte di cibo per i bruchi della Farfalla Apollo. La fioritura va da giugno a settembre. L'altezza va dagli 8 ai 20 cm. E' una delle specie di *Sedum* più utilizzate per la realizzazione di tetti verdi estensivi. Prove sperimentali hanno dimostrato come il *Sedum album* riesca ad utilizzare nel modo più efficiente l'acqua in condizioni di stress (Starry, Lea-Cox et al. 2014).

➤ ***Sedum acre* L.**

Borracina acre o Erba pignola gialla (Figura 31)

Fam. *Crassulaceae*

Fusti gracili, striscianti terminanti con rami fogliosi persistenti oppure con rami fertili, che dopo la fioritura seccano. Foglie ovali (2 x 3-4 mm) carnose, regolarmente spiralmate, senza sperone. Fiori 5-meri subsessili; sepali (2 mm) simili alle foglie; petali gialli brillanti, lanceolati (2 x 7 mm), acuti; stami di 4 mm; stili di 3,5 mm. Raggiunge un'altezza che va dai 3 ai 15 cm, fiorisce in giugno-agosto ed è velenosa (i germogli contengono alcaloidi dal sapore pepato e pungente, che irritano le mucose). Pianta pioniera su rocce assolate, muri, crepe nell'asfalto, tetti zavorrati con ghiaia, massicciate ferroviarie, cave di ghiaia. E' altresì frequente su substrati sassosi e sabbiosi, preferibilmente caldi, asciutti e radi.



Figura 31 Sedum acre

Il materiale raccolto proviene dalla zona del montebellunese in provincia di Treviso, in zone poche coltivate con substrato ricco di scheletro in prossimità di cave di ghiaia dismesse e vicino a corsi d'acqua artificiali a circa 109 m s.l.m.

➤ **Sedum sexangulare L.** (= *S. boloniense* Loisel.; *S. mite* Gilib.)

Borragina insipida (Figura 32)

Famiglia *Crassulaceae*

Fusti contorti, flaccidi, ascendenti o prostrati. Foglie glabre, verdi, quelle dei getti sterili cilindriche o un po' appiattite superiormente (1 x 4-5 mm), alla base con breve sperone; nei fusti fioriferi le foglie sono più allungate alla base. Anche le cime sono allungate e i peduncoli di 1 mm; sepalì di 2 mm; petali acuti 1,5 x 4 mm. Il sapore è insipido così come descritto dal nome comune. Distribuzione da 0 a 2050 m. Presente soprattutto in Italia centro-settentrionale (Pignatti 1982, Dalla Fior 1985). Il materiale per la prova è stato raccolto in prossimità del Medio Corso Brenta a Bassano del Grappa (VI).



Figura 32 *Sedum sexangulare*

➤ **Sedum reflexum L.** 'Blue Spruce'

Borragina rupestre, Erba pinnocchia, Erba grassa, Sopravvivo dei muri (Figura 33)

Famiglia *Crassulaceae*

Fusti legnosi e striscianti, contorti, fioriferi eretti. Foglie lesiniformi, acute e spesso mucronate all'apice. Infiorescenza ampia, corimbiforme, petali gialli.

Il materiale vegetale è stato raccolto su dei muretti a secco lungo la strada provinciale 349 nel comune di Cogollo del Cengio (VI) a circa 330 m s.l.m.



Figura 33 *Sedum reflexum*

- I generi *Bromus* sp. e *Melica* sp. appartengono alla Famiglia delle *Poaceae*. Le caratteristiche di questa famiglia sono principalmente i fiori ermafroditi o unisessuali, zigomorfi, 3ciclici. I petali sono assenti, gli stami sono 3 e in poche specie 3 + 3. Gli stili sono 2 poco sviluppati o sub-nulli, mentre gli stimmi (anche loro in numero di 2) sono piumosi. Le spighe sono riunite in spighe, pannocchie o capolini, ciascuna spigetta è formata da un asse centrale detto rachide sul quale sono inserite due brattee sterili (le glume), che contengono i fiori veri e propri, racchiusi a loro volta entro due brattee fertili (lemma e palea).

Le glume sono due, generalmente opposte o quasi, e la gluma inferiore abbraccia alla base l'altra, sono generalmente foggiate a carena di nave e di colore normalmente verde o screziate di violetto. La lunghezza varia da qualche mm a qualche cm. Una delle glume occasionalmente può mancare. Il lemma è una brattea simile alle glume, e di dimensioni non molto differenti, all'ascella della quale si diparte un asse florale, che porta una seconda brattea fertile detta palea. Il perianzio poco osservabile, è costituito da 2 piccole squame scariose dette lodicule, l'androceo (con 3 stami) e il

gineceo (1 carpello e 2 stimmi). Glume e lemma possono portare una resta (o arista). Vi è la presenza della cariosside. Il fusto è cavo diviso in nodi ed internodi (culmo), talvolta legnoso e persistente. Le foglie sono distiche, lineari e parallelinervie, possiedono una parte inferiore (guaina) avvolta attorno al culmo, ed una parte superiore (lamina) libera, fra le due è presente la ligula che è un'appendice membranosa che può essere più o meno lunga, intera, sfrangiata o sostituita da peli. L'impollinazione è prevalentemente anemofila. In Italia si contano circa 120 generi (Pignatti 1982, Dalla Fior 1985).

➤ **Bromus erectus Hudson**

Forasacco eretto (Figura 34)

Famiglia *Poaceae*

Subgenere *Festucaria*

Bromus deriva dal greco *bróma* che significa cibo, nutrimento.

E' una pianta perenne con l'aspetto di *Festuca*. Fusti ginocchiati alla base quindi eretti, robusti, generalmente lisci e glabri. Foglie più o meno pubescenti o cigliate sul margine della lamina e sulle guaine; ligula breve (<2 mm), troncata, talora subnulla e ridotta a 2 orecchiette; lamina larga 2-4 mm. La pannocchia è più o meno eretta e contratta. Le spighe sono generalmente ispide e spesso screziate di violaceo. Le glume sono acute, mutiche, poco diseguali (7 – 9



Figura 34 *Bromus erectus*

mm). Il gruppo *Bromus erectus* si localizza generalmente lungo prati aridi, pendii soleggiati, stazioni steppiche. Le piante hanno un aspetto cespuglioso e non presentano stoloni (Pignatti 1982, Dalla Fior 1985). L'altezza va dai 30 sino agli 80 cm. Fiorisce da maggio ad ottobre. (Spohn, Aichele et al. 2011) Le piante sono state acquistate presso il vivaio forestale di Veneto Agricoltura.

➤ **Melica ciliata L.**

Melica barbata (Figura 35)

Famiglia *Poaceae*

Presenta fusti eretti, lisci e fogliosi fino alla cima. Le foglie hanno una guaina glabra e lamina sparsamente cigliata, larga fino a 3 mm, canalicolata o alla fine più o meno convoluta. La ligula e l'antiligula di 2 mm. La pannocchia è lineare di 6 – 10 cm, generalmente unilaterale portante alla base una squama sterile di 0,2 – 0,5 mm. L'infiorescenza presenta rami brevi con 5 – 7 spighe a 1 (2) fiori fertili ed un fiore superiore abortivo ridotto ad un corpo clavato. Le glume misurano dai 5 agli 8 mm, scabre e sparsamente pubescenti. Il lemma è lungo 3 – 4 mm, sulla parte inferiore e sul bordo vi sono dei peli lunghi 2 – 3 mm. Predilige luoghi soleggiati ed aridi (0 – 1200 m) (Pignatti 1982).



Figura 35 *Melica ciliata*

- La Famiglia *Campanulaceae* comprende piante con fiori ermafroditi, antimorfi (come nel caso della *Campanula*). I petali e i sepali sono in numero di 5, più o meno completamente concresciuti. Gli stami sono 5 con 5 carpelli che formano un ovario generalmente infero. E' presente uno stilo e gli stimmi sono generalmente 2 o 3. I frutti sono a capsula deiscente mediante fori laterali oppure mediante fessure delimitanti delle valve. Sono piante erbacee, raramente legnose, con foglie spiraltate senza stipole. Riproduzione entomofila.

➤ ***Campanula spicata* L.**

Campanula spicata (Figura 37)

Famiglia *Campanulaceae*

Fusto eretto, semplice, spesso più o meno arrossato. Foglie inferiori lineari – spatolate (1 – 1.5 x 8 – 15 cm), con picciolo lungo ¼ della lamina, seghettate ed increspate sul bordo. Le foglie cauline sono simili, ma sessili, allargate e semiamplessicauli alla base. Fiori numerosi, sessili, in spiga lineare apicale. Calice con tubo di 3 mm e denti lineari di 2 x 5 mm. La corolla più o meno conica con tubo di 12 mm e denti di 8 mm. L'infiorescenza può arrivare anche ad 1 metro di altezza (Figura 36). Predilige luoghi calcarei come i greti e pietraie o rupi (Pignatti 1982).



Figura 37 Campanula spicata



*Figura 36 Campanula spicata.
Dettaglio infiorescenza*

- La *Potentilla* L. (dal latino *pótens* che significa forte, potente, per le proprietà toniche e astringenti di alcune specie) fa parte invece della famiglia delle *Rosaceae*. Le specie appartenenti a quest'ultima famiglia sono caratterizzate da fiori per lo più ermafroditi, attinomorfi, ciclici oppure spesso spirociclici. I sepali sono 5 e talora sono raddoppiati. I petali anch'essi 5 (4-7). Gli stami sono ridotti ad 1 ciclo, più spesso per raddoppiamento assai numerosi ed apparentemente spiralati. L'ovario è semiinfero, raramente infero o supero. Carpelli in numero variabile. Questa famiglia viene definita come una delle famiglie più importanti fra le Angiosperme, molto ricca di specie, cosmopolita e con forme variabilissime. La riproduzione avviene per lo più per entomogamia, frequente l'apomissia o la formazione di complessi ibridi. Si distinguono quattro sottofamiglie: *Spiracoideae*, *Rosoideae*, *Prunoideae*, *Melideae*.

➤ ***Potentilla pusilla* H. (*P. puberula* K.)**

Cinquefoglia pelosetta (Figura 38)

Famiglia *Rosaceae*

Il genere *Potentilla* L. può definirsi polimorfo e spesso richiede particolari attenzioni nella distinzione della specie, proprio perché di difficile comprensione. Si uniscono in questa classificazione specie antiche, anche molto antiche e poi specie ancora in intensa evoluzione, con caratteri fluttuanti e mal definibili. Queste ultime hanno dato origine a gruppi probabilmente ibridogeni che per apomissia si sono frazionati in complessi di specie relativamente costanti anche in assenza dei presunti genitori. Si fa riferimento soprattutto al portamento, alla pelosità, al calice e ai carpelli. (Pignatti 1982) Localizzata prevalentemente nell'Italia settentrionale e nel nord Europa.

Potentilla pusilla presenta foglie e fusto riccamente provvisto di peli stellati con un ramo più allungato e 3 – 10 raggi basali brevi. Pelosità generalmente più densa e foglie verdi-grigiastre di sotto (Pignatti 1982). Si è sempre pensato che *Potentilla puberula* derivasse dall'incrocio di *Potentilla incana* con *Potentilla verna*, ma recenti studi hanno dimostrato che questo è impossibile in quanto *P. verna* sembrerebbe non essere una specie da cui ha origine *P. puberula*, ma viceversa è ciò che deriva da quest'ultima (Sojak 2010).



Figura 38 Potentilla pusilla

- La Famiglia delle *Euphorbiaceae* comprende un'altra specie utilizzata per la prova. Questa specie è l'*Euphorbia cyparissias*. Questa famiglia comprende generi e specie con fiori unisessuali, monoici o dioici, generalmente assai ridotti. Il perianzio ridotto o assente. I fiori maschili con uno stame, mentre i fiori femminili presentano tre carpelli formanti un ovario supero triloculare. Gli stili sono liberi e profondamente bifidi. Le infiorescenze sono composte a spighe, ombrelle o glomeruli di infiorescenza parziali per lo più funzionalmente bisessuali e sono abbastanza vistose accompagnate da brattee giallastre o rossastre. Frutti a capsula tricocca. La famiglia comprende moltissime piante tropicali per lo più legnose, da noi generalmente erbacee, spesso laticifere (latice velenoso, caustico, bianco e attaccaticcio per la presenza di caucciù). Le foglie sono spiralate, talora più o meno opposte. I ditteri contribuiscono soprattutto alla fecondazione per entomogamia (Pignatti 1982).

➤ ***Euphorbia cyparissias* L.**

Euphorbia cipressina (Figura 39)

Famiglia *Euphorbiaceae*

Alle caratteristiche della famiglia, precedentemente elencate, vanno aggiunte quelle relative al genere *Euphorbia*. L'infiorescenza fondamentale è chiamato ciazio. Ogni infiorescenza è a

sua volta composta da altre piccole infiorescenze e assomiglianti moltissimo a piccoli fiori. Ciascuno di questi falsi fiori è formato da un involucreo verde fatto a orciolo, che porta lungo l'orlo quattro minuscole ghiandole gialle o rossicce, dalla forma triangolare o ovale o a mezza luna. Nel caso dell'*E. cyparissias* le foglie sono lineari e lunghe 1.5-3 cm e l'infiorescenza è una pseudo-ombrella con 10-20 raggi. Le brattee sono giallo verdognole durante la fioritura, con sfumature rosse alla maturazione dei frutti. Il frutto è una capsula con caruncola semi sferica. Lo stelo è lignificato nella parte inferiore. L'altezza va dai 15 ai 30 cm e la fioritura è localizzata fra aprile e agosto. Predilige prati e pascoli magri, sentieri, margini di strade, scarpate e aree incolte. I suoli che predilige sono tendenzialmente secchi e basici. E' la fonte principale di nutrimento del bruco della Sfinge dell'euforbia (Spohn, Aichele et al. 2011).



Figura 39 Euphorbia cyparissias

- La famiglia delle *Caryophyllaceae* comprende le tre specie di *Dianthus* (dal greco Diòs = di Giove e “anthos” = figlio, cioè figlio di Giove) scelte per la prova, la loro bella fioritura permette di migliorare anche il lato estetico di una possibile copertura a verde utilizzando queste ed altre piante dalle fioriture colorate pronunciate. Sono erbe, con foglie opposte, raramente alterne o apparentemente verticillate. I fiori sono pentaciclici eteroclamidati con calice e corolla ben differenziati. L'ovario è supero, uniloculare oppure inferiormente settato, derivante dalla fusione di 2-5 carpelli. I frutti sono a capsula. Si distinguono nettamente tre sottofamiglie: *Paronychioideae*, *Alsinoideae* e *Silenoideae*. L'impollinazione è prevalentemente entomofila

mediante ditteri nelle prime due sottofamiglie e lepidotteri nella terza. Il genere *Dianthus* appartiene alla famiglia *Silenoideae*. E' considerato un genere abbastanza complesso nella classificazione perché coesistono specie isolate e con caratteri ben fissati ed altre a gruppi la cui variabilità non sembra interpretabile.

➤ ***Dianthus sylvestris* W. (*D. virgineus* G. et G.; *D. inodorus* K.)**

Garofano selvatico (Figura 40)

Famiglia *Caryophyllaceae*

Sottofamiglia *Silenoideae*

Le specie appartenenti al genere *Dianthus* comprendono piante con fiori isolati e distanziati (è presente spesso anche un unico fiore su ciascun fusto fiorifero) (Figura 41), con petali appena dentellati e squame dell'epicalice brevi. Sono presenti un sacco di razze locali. Nel caso specifico il *D. sylvestris* ha una radice legnosa con fusti ascendenti o eretti, glabri, con pochi fiori. Le foglie basali strettamente lineari. Le superiori presentano una guaina di 6-8 mm e lamina lunga 15-20 mm. L'epicalice ha 2-8 squame ricoprenti 1/3-1/5 e strettamente avvolgenti il calice. Quest'ultimo ha un tubo cilindrico con petali lineari-spatolati, rosei o rossi. Predilige pendii aridi e rupestri, presente in tutto il territorio Italiano. Il materiale vegetale è stato fornito da Veneto Agricoltura.



Figura 41 Dianthus sylvestris
Dettaglio del fiore



Figura 40 Dianthus sylvestris

➤ ***Dianthus carthusianorum* L.**

Garofano dei Certosini (Figura 42)

Famiglia *Caryophyllaceae*

Sottofamiglia *Silenoideae*

Fusti legnosi alla base, eretti e semplici. Foglie lineari, a guaina 3-8 volte più lunghe che larghe. Fiori in fascetti apicali di brattee più o meno ovato-acuminate, aristate (sino a 30 fiori per fascetti simili a capolini. Petali con lembo roseo-rosso, barbato alla base (Figura 43). Raggiunge un'altezza che va dai 15 ai 30 cm, con una fioritura che inizia da giugno sino a settembre. E' una specie perenne protetta. Predilige zone di prati aridi in tutta Italia tranne in Sardegna. Raro o assente in Europa centro-settentrionale. Il nome sembrerebbe derivare dalla scelta degli eremiti certosini di coltivare nei loro monasteri questo fiore. Il primo monastero di certosini si trovava sulle Alpi occidentali tra Chambéry e Grenoble, un'area in cui si trovano in natura frequentemente questi Garofani (Spohn, Aichele et al. 2011). Il materiale vegetale è stato fornito da Veneto Agricoltura.



Figura 43 *Dianthus carthusianorum* - fiore



Figura 42 *Dianthus carthusianorum*

➤ ***Dianthus hyssopifolius* A. (=D. monspessulanus L.)**

Garofano di bosco (Figura 44)

Famiglia *Caryophyllaceae*

Sottofamiglia *Silenoideae*

Il garofano di bosco ha un fusto ascendente, glabro, verde, in alto è più o meno ramoso e 3-5floro. Foglie guainanti su 3mm, le inferiori con lembo di 2 per 70 mm, le medie fino a 3 per 100 mm, tutte flessuose e più o meno erette. Squame esterne lungamente lesiniformi (15-18 mm), quelle dell'epicalice di 8-12 mm, raggiungenti la metà del calice, che è cilindrico (2-3 per 20 mm). I petali hanno un'unghia di 20 mm e un lembo roseo o bianco diviso su 1/3-1/2 in lacinie lineari. Si trova prevalentemente in boschi e brughiere. Presente in tutta Italia escluso le isole (Pignatti 1982). Il materiale vegetale è stato fornito da Veneto Agricoltura.



Figura 44 Dianthus hyssopifolius - fiore

- Un'altra Famiglia su cui porre l'attenzione è quella delle *Lamiaceae* comprende due generi utilizzati per la prova. Il primo genere è quello del *Thymus* sp. e del *Clinopodium* sp. Le *Lamiaceae* comprendono oltre 2600 specie, moltissime localizzate attorno al bacino del Mediterraneo, presentano fiori ermafroditi, zigomorfi, 4ciclici. I sepali sono 5, concresciuti in calce spesso bilabiato. I petali anch'essi sono 5, completamenti fusi in una corolla caratteristica sempre bilabiata: due formano il labbro superiore e 3 il labbro inferiore. Gli stami sono tipicamente in numero di quattro. L'ovario è supero e i due carpelli sono saldati su di questo. Lo stilo è inserito alla base dell'ovario e lo stimma è generalmente bifido. Le cime sono contratte in verticillastri o spighe. Il frutto è composto da quattro nucule. Sono generalmente piante erbacee o cespugliose, con fusto quadrangolare e foglie opposte senza stipole. Le parti erbacee possono risultare aromatiche. Nettari abbondanti ed entomogamia mediante ditteri, imenotteri e raramente lepidotteri. Moltissime presentano olii odorosissimi e trovano perciò largo impiego in profumeria, medicina e per la preparazione di vivande (Pignatti 1982, Dalla Fior 1985). Il genere *Thymus* sp. (dal greco thymos, derivato di "thyein" = profumare) è assai difficile da catalogare. Vanno individuati i caratteri dei peli, che possono essere distribuiti tutt'attorno al fusto oppure solo su facce opposte, alternate ad ogni intermedio o solo sugli angoli. Abbiamo inoltre un portamento definito repente (fusti striscianti e radicanti terminati da un apice con sole foglie), uno definito pseudorepente (simile, ma nel quale anche l'apice è fiorifero) ed un tipo suberetto con fusti non o solo brevemente striscianti. Possono esserci anche degli ibridi nel momento in cui due specie crescano assieme è facile osservare piante di aspetto intermedio (Pignatti 1982).

➤ ***Thymus serpyllum* L.**

Serpillo, Serpollino, Pepolino, Timo settentrionale (Figura 45)

Famiglia *Lamiaceae*

Fusti legnosi alla base più o meno prostrati o striscianti e spesso radicanti ai nodi, con apici fioriferi eretti. Foglie coriacee di aspetto e pelosità variabili. Le infiorescenze sono dense, sferiche, ovali o più o meno allungate ed allora interrotte alla base. Il calice di 3-4 mm e una corolla purpurea o rosea di 5-6 mm. Il frutto è incluso nel calice persistente e con fauce occupata da un ciuffo di peli cotonosi candidi. La pianta raggiunge un'altezza di 10 cm e fiorisce da giugno ad agosto. Dalle foglie evapora un olio essenziale leggero e volatile che avvolge l'intera pianta in una "nuvola di profumo", consentendole un risparmio d'acqua. Predilige prati aridi steppici, pietraie e rupi soleggiate. Diffusa in tutta Europa (Pignatti 1982,

Spohn, Aichele et al. 2011). Il materiale vegetale è stato prelevato in prossimità del Medio Corso Brenta a Bassano del Grappa (VI).



Figura 45 Thymus serpyllum

➤ ***Clinopodium nepeta* (L.) Kuntze (*Calamintha nepeta* (L.) Savi)**

Nipitella, Mentuccia (Figura 46)

Famiglia *Lamiaceae*

Il nome deriva da Kalamos che significa canna, penna e da mentha che è il nome di una ninfa che Persefone trasformò in pianta. Pianta perenne molto aromatica, munita di rizomi e stoloni. I fusti sono quadrangolari e pubescenti sugli angoli. Può raggiungere i 70 cm di altezza, all'inizio sdraiati e poi eretti, ramosi in alto. I fiori sono riuniti in un peduncolo da 3 a 9 all'ascella delle foglie superiori. Il calice è tubuloso, pubescente alla fauce, con cinque denti apicali. La corolla è rosea o violacea. Il frutto è un tetrachenio, racchiuso dal calice persistente. Il materiale vegetale è stato raccolto nei pressi del Medio Corso Brenta a Bassano del Grappa (VI).



Figura 46 *Clinopodium nepeta*

- Ultima, ma non per questo meno importante, è presente la Famiglia delle *Compositae* con il genere *Artemisia* sp. e *Anthemis* sp. Questa famiglia presenta fiori di regola ermafroditi, tetra ciclici. I sepali sono ridotti ad una coroncina di squame o reste persistenti nel frutto. I petali con la porzione inferiore saldata a tubo, mentre gli stami hanno filamenti liberi ed antere saldate in un manicotto circondante lo stilo, i petali sono in numero di cinque. I carpelli sono due formanti un ovario infero uniloculare. Uno stilo e uno stimma profondamente bifido. Il frutto è un achenio a nucula. Sono piante erbacee talvolta arborescenti nelle montagne tropicali. Le foglie sono spiraltate, poche volte opposte e senza stipole. La fecondazione è prevalentemente entomogama. Particolare attenzione va data alla corolla che può essere classificata in tre tipi fondamentali: tubulosa, bilabiata e ligulata. Il capolino delle composite è formato da un ricettacolo basale, sul quale sono inseriti i fiori ed è avvolto da un involucri di brattee. La disposizione dei tipi di fiore nel capolino permette di distinguere due sottofamiglie: *Tubuliflorae* (capolini con soli fiori tubulosi oppure fiori tubulosi al centro e fiori ligulati alla periferia) e *Liguliflorae* (capolini con solo fiori ligulati, i periferici raramente unisessuali). (Pignatti 1982)

Il genere *Artemisia* sp. (dal greco *artémes* che significa sano) comprende tutte specie dal particolare aroma di vermuth più o meno intenso. Alcune specie hanno ricettacolo glabro mentre altre ce lo hanno lanoso.

Il genere *Anthemis* sp. comprende erbe annue o perenni con foglie alterne generalmente divise. Il ricettacolo ha pagliette lanceolate o lineari, spesso acuminate. Fiori periferici generalmente

bianchi, mentre quelli centrali generalmente gialli ed ermafroditi e tubulosi. Pappo a coroncina allungata su un lato.

➤ **Artemisia alba Turra**

Artemisia maschio, Erba regina (Figura 47)

Famiglia *Compositae*

I fusti sono legnosi ascendenti, semplici, in alto più o meno pubescenti. Le foglie presentano ghiandole puntiformi affondate nel parenchima, 2-3 pennatosette divise in lacinie strettamente lineari. I capolini sono subsferici (diametro 2-3 mm), molto numerosi. Questi formano una pannocchia lineare con rami eretti.

Le squame sono pubescenti più o meno lanose. I fiori vanno da 25 a 30 come numero e sono lunghi generalmente 3 mm. Predilige prati aridi e pendii sassosi, diffusa in tutta Italia tranne in Sardegna. Varia sia in termini di pelosità che in termini di odore più o meno intenso, sia in fatto di portamento che in termini di forma delle squame.



Figura 47 Artemisia alba

➤ **Anthemis tinctoria L.**

Camomilla per tintori (Figura 48)

Famiglia *Compositae*

Rizoma legnoso, spesso più o meno suffruticoso con rami ascendenti semplici. Le foglie misurano dai 2 ai 3 cm, bipennatosette con segmenti estremi di 0.7-0.8 x 2,4 mm, terminanti in un mucrone cartilagineo. I capolini hanno diametro che va da 1,5 a 2,5 cm su peduncoli generalmente ingrossati. Le squame presentano lanosità giallastra e le interne sono acute. I fiori sono gialli. Raggiunge altezze che vanno dai 30 ai 60 cm con fioriture che vanno da giugno a settembre. Predilige pendii aridi marmosi, diffusa in tutta Italia isole escluse. In passato si utilizzavano i capolini e le foglie per tingere i tessuti visto l'alto tasso di flavonoidi contenuti che permettevano di resistere a luce e lavaggi (Spohn, Aichele et al. 2011)



Figura 48 *Anthemis tinctoria*

Come anticipato precedentemente è stata data particolare attenzione per il luogo e la zona di raccolta delle piante. Tutte le specie scelte sono essenze vegetali presenti in Veneto e nell'area dell'Italia settentrionale. Raggruppano generi che ben si adattano a vivere in aree aride o zone rupestri o ancora su prati magri.

La zona scelta per la raccolta è quella in prossimità del Medio Corso Brenta nei pressi del Comune di Bassano del Grappa (VI).

4.1.1.1. ANALISI DELL'AREA DEL MEDIO CORSO BRENTA

L'area ricade all'interno dell'alveo del fiume Brenta. Ed è catalogata all'interno di: “*AMBITI PER L'ISTITUZIONE DI PARCHI E RISERVE REGIONALI NATURALI E ARCHEOLOGICI E DI AREE DI TUTELA PAESAGGISTICA*” secondo il P.T.R.C. Approvato con DCR n° 250 in data 13.12.1991.

L'ambito in cui ricade l'area in oggetto è denominato: Medio Corso del Brenta. Presenta un settore pianiziale e interessa molti comuni sia del padovano che del vicentino. Le caratteristiche principali, elencate nel P.T.R.C., sono:

- Area caratterizzata da interessanti aspetti geomorfologici ed idrologici;
- Ambiente ricco di vegetazione, rappresenta un habitat favorevole alla sosta e nidificazione di diverse specie di uccelli;
- Pur essendo profondamente antropizzato, questo tratto del Brenta è stato quello modificato in misura minore dall'azione umana e conserva ancora caratteristiche naturali.

La superficie complessiva è di 5272,6553 ha.

Si possono analizzare diversi aspetti più generali e completi che caratterizzano l'area del Medio Corso del Brenta. La provincia di Padova ha creato il Piano Territoriale di Settore del Medio Corso del Brenta (Costantini, Rocca et al. 2002) dove sono stati analizzati gli aspetti più importanti che caratterizzano questo territorio, approfondendo alcune tematiche come:

1. Le emergenze geologiche ed idrogeologiche;
2. I valori di conservazione delle unità ecosistemiche;
3. Le emergenze paesaggistico territoriali.



Figura 49 Area del bacino del Medio Corso Brenta

Il medio corso del Brenta presenta infatti molte aree limitrofe a conglomerati urbani ed in questo caso è stato redatto un report che potesse valutare tutte le criticità sia per la sicurezza umana che per la tutela ambientale del fiume stesso e delle zone limitrofe.

Il primo punto “Emergenze geologiche ed idrogeologiche” analizza una serie di elementi geomorfologici che caratterizzano l’ambiente del medio Brenta e una serie di elementi idrogeologici particolarmente significativi per individuare il grado di rischio a cui è sottoposto il territorio. Utilizzando come strumento la Tavola delle Emergenze geologiche ed idrogeologiche.

Gli elementi tipici dal punto di vista geomorfologico e idrogeologico individuati sono:

- a. L’orlo di scarpata di erosione fluviale (scarpata di terrazzo fluviale olocenica) che in molte zone è ben riconoscibile. Rappresenta il limite fra la zona di pertinenza fluviale e le zone circostanti. In sponda destra è spesso interrotta in diversi tratti, mentre lungo la sponda sinistra può raggiungere i 5 metri (Figura 49 e Figura 50);
- b. I paleoalvei, elementi da conservare e valorizzare;
- c. Tratti di argine da preservare per la funzione di limite fra area fluviale e pianura circostante. Importante elemento di contenimento in caso di inondabilità;
- d. Le numerose cave che sono localizzate in prossimità e lungo il corso del medio Brenta;
- e. Le aree esondabili, identificate tramite le cartografie esistenti;
- f. I bacini di laminazione proposti dall’Autorità di Bacino;
- g. Limite tra il tratto drenante ed il tratto disperdente del fiume Brenta e le risorgive.



Figura 50 Area del bacino del Medio Corso Brenta a Bassano del Grappa

Il secondo punto “Valore di conservazione delle unità ecosistemiche” definisce invece: le caratteristiche climatiche, le caratteristiche del sistema ecologico fluviale, gli elementi strutturali del territorio perfluviale, le tipologie ambientali (analizzate successivamente), il grado di naturalità della vegetazione fluviale e perfluviale ed il calcolo del valore di conservazione.

a. Caratteristiche climatiche

Il clima è caratterizzato da temperatura media annua di circa 13 °C e precipitazioni medie annue che variano dagli 850 mm/anno di Padova ai circa 1200 mm/anno di Bassano del Grappa. Il regime pluviometrico di riferimento è quello subequinoziale primaverile. L’area rientra nella regione forestale pianiziale che comprende sia l’alta pianura, ove sui substrati ghiaiosi prevale una vegetazione forestale costituita prevalentemente dai boschi rivieraschi e lembi di quercocarpineti, sia la bassa pianura, in corrispondenza della quale i relitti dei quercocarpineti pianiziali, risparmiati dall’attività agricola, rimangono gli unici del paesaggio forestale che caratterizzava un tempo quest’area (Del Favero 2000).

b. Sistema ecologico fluviale

Il regime idrologico è dinamico e i disturbi che ne conseguono portano ad una differenziazione della vegetazione nel tempo. I principali fattori di disturbo sono l’azione erosiva e l’azione di deposito di materiali a diversa granulometria. Un fattore importante per la vegetazione è la disponibilità idrica e nel caso dell’ambiente fluviale essa cala in senso trasversale rispetto alla direzione della corrente,

determinando la zonazione trasversale della vegetazione ripariale e passando da substrati ghiaiosi a quelli argillosi, ovvero da monte verso valle.

I fattori umani rappresentano inoltre un ulteriore elemento di disturbo. Le azioni antropiche lungo il corso del fiume hanno modificato nel tempo tratti di alveo. L'estrazione di ghiaia ad esempio o la creazione di aree ruderali favorendo l'ingresso di specie esotiche più invasive, o ancora l'intensa frammentazione delle fasce boschive originarie e la degradazione della diversità floristica, in particolar modo le specie erbacee nemorali che sono state sostituite da altre più eliofile ad ampio spettro ecologico. In riferimento all'area del medio corso del Brenta abbiamo una zonazione trasversale della vegetazione ripariale così composta partendo dalle sponde del corso d'acqua si osserva una successione di tre ordini fitosociologici: *Salicetalia purpureae* (alleanze di *Salicion eleagni* e *Salicion albae*), *Populetales albae* (alleanze con *Populion albae* e suballeanze *Alnion glutinosae-incanae* e *Ulmenion minoris*) e *Fagetalia sylvaticae* (con alleanza *Fraxinion-Carpinion*).

c. Elementi strutturali del territorio perifluviale

Vengono identificati quattro elementi di base per definire a livello di ecologia del paesaggio la struttura spaziale del paesaggio fluviale, questi elementi sono:

- La matrice (matrix) che definisce l'unità territoriale dominante sulla maggior parte della superficie del territorio;
- La macchina (patch), definita come un'area non lineare meno abbondante della matrice;
- Il corridoio (corridor) che identifica uno specifico tipo di macchina unito ad altre macchie. Lineare e di forma allungata;
- Il mosaico (mosaic) che raggruppa il complesso delle macchie, ma che non sono così abbondanti da essere interconnesse a livello del paesaggio.

d. Le tipologie ambientali

Grazie all'utilizzo di software che permettono la raccolta di dati cartografici (GIS) e rilievi in campo, sono state individuate le tipologie di vegetazione presenti lungo il corso del medio Brenta. Facendo riferimento alle fonti bibliografiche sono state definite anche delle "facies" più o meno disturbate e antropizzate rispetto a quelle normalmente descritte. La tipologia ambientale che più interessa maggiormente perché comprende le specie raccolte è quella de:

➤ I prati aridi spontanei

Le vegetazioni erbacee xerofile vegetano su terrazzi ghiaiosi interessati solo eccezionalmente dalla piena, perciò, caratterizzati da bassi livelli di fertilità e umidità edafica. La copertura erbacea è quasi sempre parziale e composta principalmente da specie in Classe Sedo-Scleranthetea (*Sedum* sp., *Poa bulbosa*, *Acinos arvensis*, ecc..) consociate più o meno abbondantemente a specie di Brometalia e altre specie legate ad ambienti aridi (*Bromus erectus*, *Sanguisorba minor*, *Astragalus onobrychis*, *Ononis natrix*, *Koeleria macrantha*, *Thymus* sp. ecc..). In questa categoria sono stati inclusi anche i prati aridi arborati, ovvero quelle formazioni erbacee dotate di una componente arborea minoritaria composta perlopiù da *Salix eleagnos*, *Salix purpurea*, e altre specie della Classe Prunetalia che, in assenza di disturbi, tendono gradualmente ad invadere spontaneamente la prateria. I prati aridi, localizzati solo nel tratto perifluviale settentrionale, sono spesso soggetti a intensi fenomeni di disturbo antropico che determinano una forte degradazione della loro composizione floristica (Figura 51).



Figura 51 Prato nella zona del Medio Corso Brenta a Bassano del

4.1.2. PROPAGAZIONE DELLE SPECIE RACCOLTE

Le piante raccolte sono state conservate e trasportate sino al polo di Agripolis - Legnaro (PD) per procedere poi alla propagazione. Prima di quest'ultima fase però, si è provveduto a metterle in un luogo riparato per facilitarne la ripresa in seguito alla raccolta. L'operazione è avvenuta nel periodo

tardo invernale e sino a primavera inoltrata le piante sono rimaste all'interno di vasetti di plastica in tunnel. Dopo alcuni mesi dalla raccolta si è provveduto a rinvasare e a propagare le piante raccolte per poterne avere una quantità abbondante, utile a riempire le cassette della prova.

E' stata utilizzata torba Brill Special C (Geotec, RO). Le giovani piantine sono state accuratamente suddivise ed ogni singola parte ricavata dalla pianta madre è stata posta in vasetti di 12 cm di diametro (Figura 52). In seguito al travaso e alla propagazione è stato ridotto anche l'apparato fogliare di alcune specie per evitare un'eccessiva disidratazione. I vasetti sono stati poi collocati sopra a dei bancali fissi all'interno del tunnel serra. E' stata distribuita acqua e non sono stati utilizzati concimi liquidi. La moria di giovani piante è stata nell'ordine dell'1%.

In totale sono state ottenute:

- n. 49 piante di *Thymus serpyllum*;
- n. 44 piante di *Clinopodium nepeta*;
- n. 57 piante di *Potentilla pusilla*;
- n. 12 piante di *Euphorbia cyparissias*.



Figura 52 Piante propagate in vasetto

Diverso metodo è stato quello utilizzato per propagare il *Sedum* sp.: oltre a quello raccolto nei pressi del fiume Brenta si sono messi a propagare anche quelli raccolti altrove (*S. acre*, *S. reflexum*, *S. album*). Si è provveduto a costruire due casse di legno della misura di 1 x 2 m. di lato. All'interno è stato posto il Vulcaflor[®] fornito da Europomice S.r.l. e della torba bionda.

Questo substrato, come si vedrà in seguito, è composto da circa il 70% di lapillo vulcanico e dal 10% di pomice con granulometria 0-10mm (nel tipo intensivo è presente per il 30%). Inoltre comprende della sostanza organica (tipo torba bionda di granulometria media) e/o sostanza humificata (tipo materiale vegetale compostato) e concimi complessi con Azoto nelle forme a cessione controllata (Europomice, 2013).

La distribuzione di parti di pianta è avvenuta nel periodo autunnale, il *Sedum* sp. è rimasto all'esterno per tutto il periodo autunno-invernale sino a tarda primavera nel momento del trapianto definitivo.

Osservando la crescita nei mesi, sicuramente il *Sedum album* è quello che si è espanso più rapidamente ricoprendo l'area in modo uniforme. In modo simile è avvenuto anche per *S. acre* e *S. sexangulare*. La specie più lenta nel coprire la superficie è stato il *S. reflexum*.

La facilità nella riproduzione di queste piante è ormai risaputa, come anche la consuetudine nell'utilizzarlo per le coperture estensive. Va ricordato, inoltre, che anche nel nostro caso si è provveduto ad irrigare soprattutto nelle prime fasi. Benché questo gruppo di piante riescano a svilupparsi con facilità evitando la traspirazione durante il giorno (se il clima è secco e le temperature sono elevate) una regolare irrigazione nelle prime fasi è oltremodo d'obbligo (Abram, Il verde pensile, 2011). Questo va considerato sempre quando si realizzano delle coperture a verde estensive a *Sedum*, l'impianto di irrigazione va comunque predisposto. Una crescita troppo lenta, anche se non porta alla morte del *Sedum* stesso, comporta sicuramente lo sviluppo e l'insediamento di specie infestanti fra gli spazi vuoti.

4.2. INQUADRAMENTO DELL'AREA SCELTA PER LA PROVA

L'area scelta per la prova è all'interno del campus di Agripolis a Legnaro (PD) (Figura 55), vicino ad altre prove in corso. Tutte rientranti nella categoria dei SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems).

Agipolis si trova a sud-est della città di Padova a 10 km da essa a 8 m s.l.m. (Figura 53).



Figura 53 Inquadramento regionale

La popolazione residente a Legnaro con riferimento a marzo 2009 era pari a circa 8.500 abitanti, dando come possibile stima di crescita (secondo il P.A.T. 2012) per l'anno 2019 una popolazione complessiva di 10.480 abitanti.

Il suolo urbanizzato viene sfruttato prevalentemente con l'utilizzazione residenziale, concentrata soprattutto nel centro abitato. Gli insediamenti produttivi si localizzano, in linea di massima, in zone ben identificate e riconoscibili all'esterno dell'edificato. A sud della zona produttiva a nord-ovest è presente una vasta area adibita a servizi di carattere sovracomunale afferenti all'Università di Padova. Il P.R.G. del 2003 evidenzia come la logica di crescita negli anni fosse quella della "crescita per proprietà" ovvero una modalità di crescita per successive addizioni di parti compiute, fra loro separate e contrapposte (tipica della maggior parte dei comuni del Veneto). Questa tipologia di crescita ha lasciato nel tempo vari problemi soprattutto per quanto riguarda la normale interazione fra parte urbana e parte agricola. Questo ha portato ad avere un'edificazione poco o per nulla controllata

localizzata prevalentemente lungo i tracciati viari, senza privilegiare una direttrice piuttosto di un'altra. Le costruzioni prevalenti sono quelle a due piani, seguite poi da quelle a tre piani, individuate da costruzioni a blocco. Con una tipologia di edificazione di tipo mono o bifamiliare a blocco o a schiera. L'espansione è definita come "casa isolata su lotto".

Nella relazione di progetto del P.A.T. del 2012 si evidenzia che il Comune di Legnaro, per la presenza di strutture di interesse sovracomunale ha partecipato alla definizione di due Piani di Assetto Intercomunali: quello della Comunità Metropolitana di Padova e quello dell'Area della "Saccisica". Questo anche a conferma dell'armatura urbana veneta descritta come "reticolare" che fa riferimento ad un unico grande "sistema metropolitano" ed in particolar modo il "sistema metropolitano centrale" (Venezia – Mestre, Treviso, Padova e Vicenza). Il P.A.T.I. della Comunità Metropolitana di Padova, focalizza i temi di interesse comunale quali: sistema ambiente, la difesa del suolo, i servizi a scala sovracomunale, il sistema relazionale, infrastrutture e della mobilità, i poli produttivi e le fonti di energia rinnovabili. In particolare per quanto riguarda la difesa del suolo si rimarcano gli obiettivi come il salvaguardare il territorio dai principali rischi, conservare e migliorare la qualità nell'ambiente locale regolando l'impiego delle risorse rinnovabili nei limiti delle capacità di rigenerazione oltre a favorire il risparmio energetico. Un'analisi conoscitiva è stata fatta, rimanendo nel contesto dei deflussi di pioggia e nella gestione di tali apporti, in merito alle caratteristiche dell'acqua e del suolo e del sottosuolo evidenziando la rete idrografica generale, distinta per tipologie dei corpi scolanti, le caratteristiche geologiche dei terreni, le condizioni di ristagno idrico, le caratteristiche proprie delle acque. Ciò ha portato ad avere una conoscenza della rete scolante aperta consentendo di individuare i fiumi e i canali che generano i vincoli di rispetto e di effettuare le necessarie considerazioni in merito ai nuovi insediamenti da programmare. Inoltre un punto viene evidenziato all'interno degli "obiettivi e temi di sostenibilità ambientale e paesaggistica" del P.A.T. e P.A.T.I. che provvede:

- *alla difesa del suolo attraverso la prevenzione dai rischi e dalle calamità naturali accertando la consistenza, la localizzazione e la vulnerabilità delle risorse naturali, individuando la disciplina per la loro salvaguardia, definendo le aree a maggior rischio di dissesto idrogeologico, le aree esondabili e quelle a maggior rischio sismico, stabilendo gli indirizzi e le prescrizioni per gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia nelle zone sottoposte a vincolo idrogeologico e subordinando, ove necessario, l'attuazione di talune previsioni alla realizzazione di infrastrutture, opere o servizi per il deflusso delle acque meteoriche;*
- *la salvaguardia o ricostituzione dei processi naturali, degli equilibri idraulici e idrogeologici.*

Le cassette sono rivolte verso sud, mentre a nord è presente un muro di un edificio, che dista da queste 5 metri circa. L'immagine in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra dove sono ocalizzate le cassette (riquadro azzurro) e l'area dove è presente il pluviometro dell'ARPAV (riquadro giallo), circa 400 metri lineari.



Figura 55 Campus di Agripolis Scala 1:5000



Figura 55 Campus di Agripolis Scala 1:6000

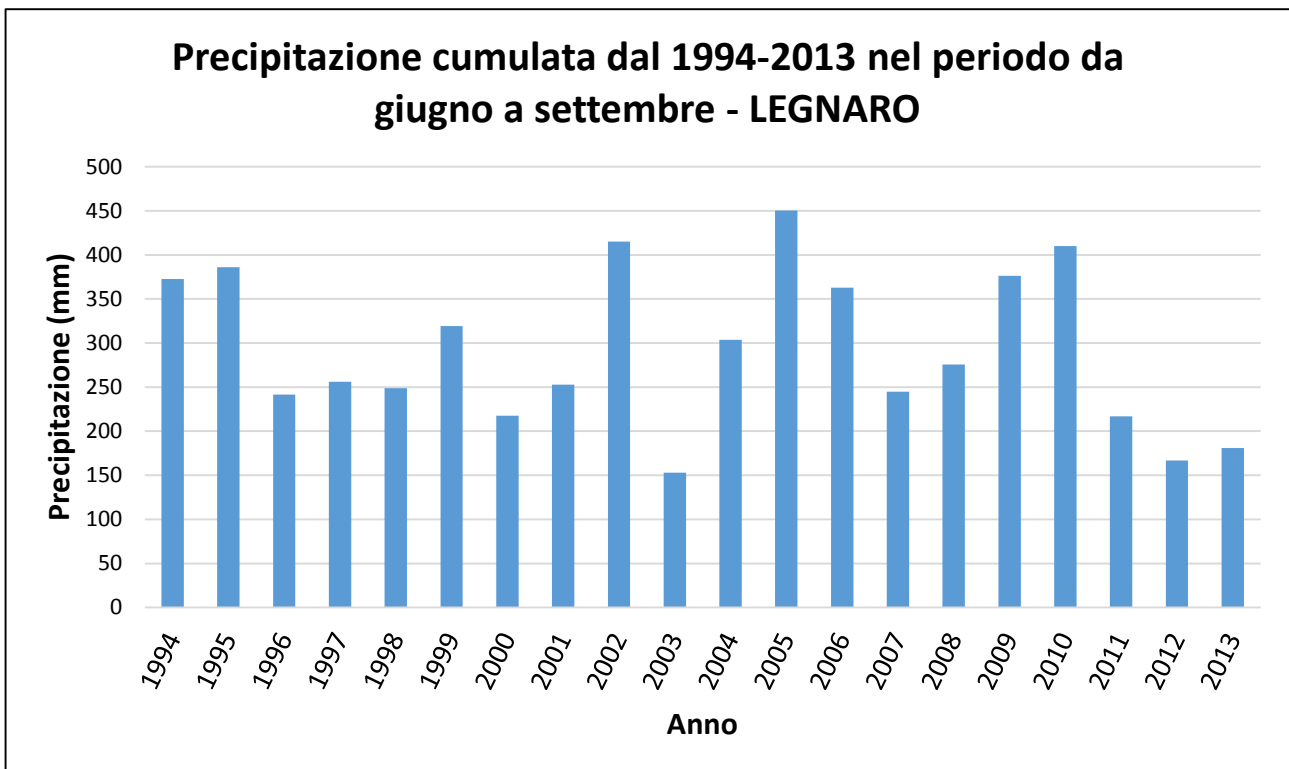


Grafico 1 Precipitazioni cumulate nel periodo giugno settembre dal 1994-2013 a Legnaro Fonte: ARPAV

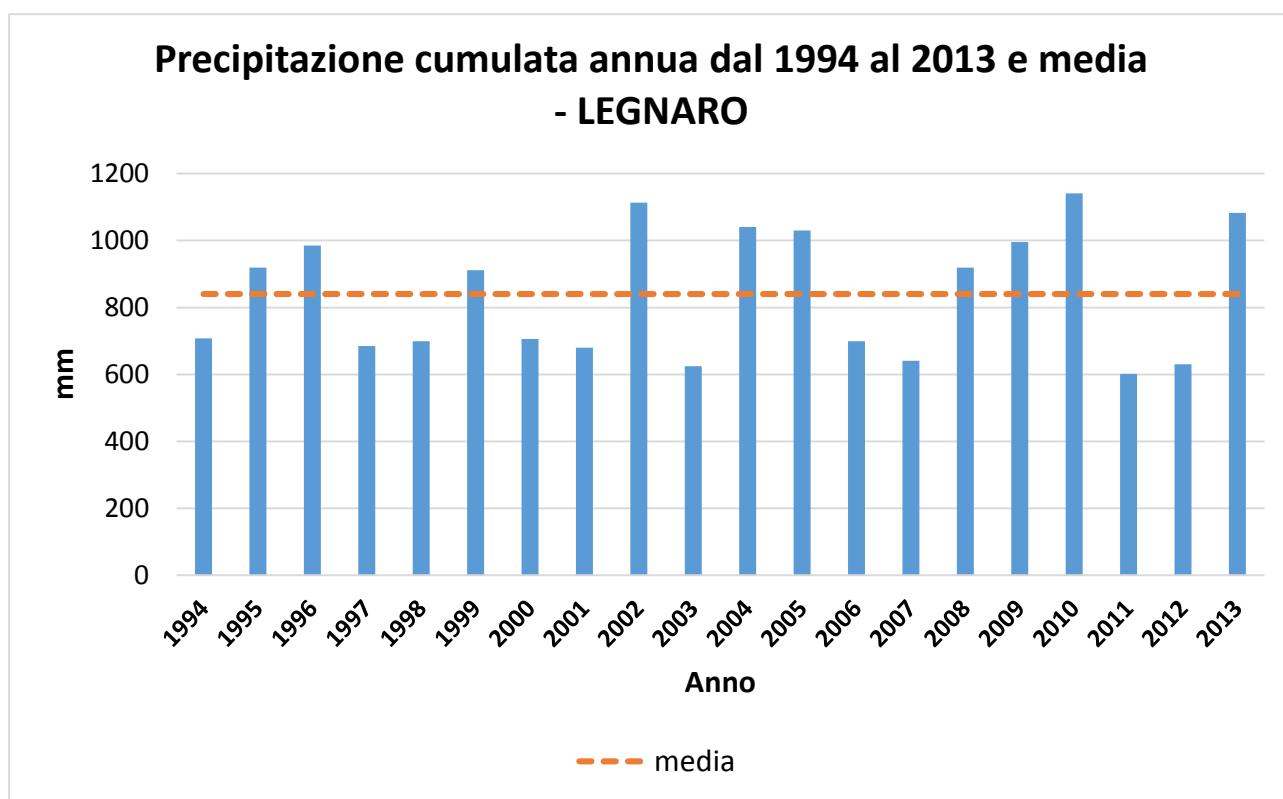


Grafico 2 Precipitazione cumulata annua dal 1994 al 2013 – Legnaro Fonte:ARPAV

Il Grafico 1 Precipitazioni cumulate nel periodo giugno settembre dal 1994-2013 a Legnaro Fonte: ARPAV mostra la precipitazione cumulata per singolo anno dal 1994 al 2013 per i mesi di giugno-luglio-agosto-settembre. Il Grafico 2 evidenzia invece la precipitazione cumulata annua dal 1994 al 2013 e la media.

L'analisi dei dati ARPAV, nel periodo da giugno ad agosto 2014, evidenzia come in Veneto siano caduti mediamente 470 mm di precipitazione (Figura 57). Rispetto alla media del periodo (1993-2013) si è avuto un aumento degli apporti mensili pari al 70 %. Un dato elevato che ci ha permesso di ricavare molti dati dalla prova in campo. Suddividendo l'apporto pluviometrico nei vari mesi, si è rilevato un surplus del + 9% a giugno, del + 160% in luglio e del + 58% ad agosto. La Figura 56 mostra le stime delle precipitazioni esclusivamente nel periodo estivo 1993-2014 e la media. I valori registrati nei tre mesi superano di poco i valori della stagione 2002. Le precipitazioni di luglio sono state sicuramente intense e molto frequenti. Nel mese di agosto la stima degli apporti corrisponde mediamente a 147 mm di precipitazione.

Da un'analisi fatta alla fine del 2012 è emerso come gli apporti meteorici in Veneto risultino essere in media (ventennio 1992-2011) pari a 1.075 mm, equivalenti a circa 19.500 milioni di m³ di acqua

all'anno. Normalmente si può affermare che l'area montana presenta un surplus pluviometrico rispetto alla media (specie l'area centro orientale), mentre la costa, le prealpi occidentali e la pianura centro orientale presentano viceversa un deficit rispetto alla media.

Nel 2013 si stima siano caduti in Veneto mediamente 1.343 mm d'acqua con un aumento rispetto alla media del + 25% stimandoli in circa 24.720 m³ (Figura 56) (Rech & Delillo, 2013).



Figura 56 Stima delle precipitazioni estive dal 1993 al 2014 Fonte:ARPAV

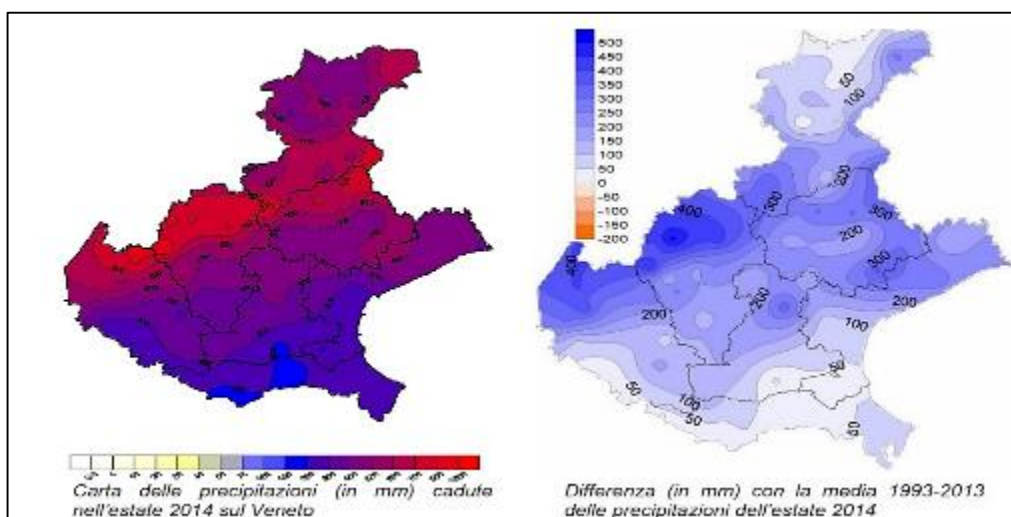


Figura 57 carta delle precipitazioni cadute nell'estate 2014 i valori tendenti al rosso indicano precipitazioni che arrivano sino a 1000 mm d'acqua. Sulla destra la carta della differenza con la media 1993 – 2013 Fonte: ARPAV

4.3. FASI COSTRUTTIVE

Vengono ora descritte le fasi di realizzazione delle cassette con i vari strati all'interno ed infine la messa a dimora delle piante precedentemente propagate.

I materiali sono stati acquistati da ditte specializzate che da anni operano nel settore delle coperture verdi. Ciascuna di queste Ditte ha saputo realizzare i propri prodotti sperimentando e studiandone le caratteristiche per ottenere il risultato migliore in termini di gestione dell'acqua e sopravvivenza delle specie vegetali. Come ripetuto più volte precedentemente, uno degli scopi della prova è riuscire ad evidenziare se vi sono o no elementi rilevanti che permettano di individuare una stratigrafia ottimale attraverso l'utilizzo di sistemi di drenaggio diversi con substrati di coltivazione e miscugli vegetali diversi, provandone diverse combinazioni.

Le ditte che abbiamo contattato e hanno fornito materiale utile alla realizzazione dei microcosmi sono:

- L'Europomice S.r.l. che produce il substrato di coltivazione VULCAFLOR® (identificato successivamente con la sigla VU);
- La ZinCo, che produce il substrato di coltivazione ZINCOTERRE® "Steinrosenflur" (identificato con la sigla ZN) oltre allo strato di protezione ECODREN SD5;
- La Perlite Italiana S.r.l. per il loro particolare sistema di drenaggio e accumulo formato da sacchi riempiti di perlite, chiamato IGROPERLITE® (identificato con la sigla PI);
- La Paul Bauder GmbH & Co. per il secondo sistema di accumulo e drenaggio in materiale preformato DSE 40 (identificato con la sigla BA), oltre allo strato di protezione FSM 1100 e lo strato filtrante FV 75.

4.3.1. DESCRIZIONE DEI MATERIALI UTILIZZATI

Le caratteristiche dei materiali scelti ed utilizzati, di seguito riportate, sono quelle fornite dai costruttori, ma in alcuni casi sono state poi confrontate con i dati ricavati dalle prove di simulazione di pioggia che verranno descritte successivamente.

Substrato di coltivazione VULCAFLOR® estensivo

Questo particolare substrato, che può presentare caratteristiche sia per tetti estensivi che intensivi/intensivi leggeri viene descritto dalla ditta produttrice come uno “strato fertile di radicazione per le essenze da rinverdimento”. Presenta caratteristiche conformi alla normativa vigente in materia di tetti verdi (UNI 11235:2007) (Figura 58).



Figura 58 Substrato Vulcaflor

Precedentemente si è accennato a quali fossero le caratteristiche di questo substrato che ne permettessero la distinzione. Analizzandolo si nota sicuramente che l'elemento principale che lo costituisce è il lapillo vulcanico, seguito in percentuali inferiori dalla pomice. A seconda della percentuale di quest'ultima e dalla presenza o meno di sostanza organica humificata avremo una tipologia più indicata a coperture estensive e un'altra predisposta per un risultato migliore in quelle estensive. Anche i concimi azotati a cessione controllata possono esser presenti in maggiori o minori quantità a seconda della tipologia di substrato.

Le caratteristiche fisico chimiche così come descritte da Europomice S.r.l. sono:

- Peso specifico: da 950 – 1050 kg/m³ (umidità di cava);
- Peso del materiale saturo di acqua: 1.300 kg/m³;
- Granulometria: da 0 a 10 mm;
- Permeabilità: superiore a 0,6 mm/min. da saturo e compresso, maggiore di 6 mm/min. in condizioni normali;

- Ritenzione idrica (acqua disponibile/utile): dal 9% al 15% per quello estensivo;
- pH: tra 7 e 8;
- Sostanza organica: 8% per quello estensivo
- Capacità di scambio cationico: circa 20 meq/100g per quello estensivo;
- Il substrato risulta esente da calacare attivo;
- Composizione chimica:

Analisi chimica media	Pomice	Lapillo
SiO ₂	62,5 %	56 %
Al ₂ O ₃	17,5 %	16,5 %
K ₂ O	9,5 %	4,9 %
Fe ₂ O ₃	2,6 %	6,5 %
CaO	2,5 %	8,8 %
Na ₂ O	2,2 %	2,2 %
TiO ₂	0,5%	0,8 %
MgO	0,4 %	3,1 %
pH	7-8	7-8

- Vulcaflor per tetti estensivi è indicato per solai con portate utili dai 100 ai 200 kg/m².

Substrato di coltivazione ZINCOTERRE® “Steinrosenflur” (roccia fiorita)

Il substrato della ZinCO è distribuito in sacchi da 20 litri (Figura 59) ed è l'ideale per gli inverdimenti estensivi e si adatta molto bene per gli inverdimenti di tetti con la tecnica classica dei multistrato. Il seguente prodotto è contrassegnato dal marchio CE in seguito ad autorizzazione ETA-13/0668 disposta dalla EOTA che ha pubblicato nel maggio 2011 la CUAP (Common Understanding of Assessment Procedure) (ZinCo Italia). La particolarità di questo substrato è sicuramente la presenza all'interno di materiale riciclato derivante da laterizi di alta qualità (Zincolit®). Il peso che può raggiungere il substrato per metro quadro in seguito a saturazione idrica dopo compattazione è pari a circa 14 kg/cm.

Il substrato è composto da: lava, mattoni triturati, ardesia, pietra pomice, materiali vegetali provenienti da foreste (humus di corteccia), sostanza organica (torba da decomposizione).

I nutrienti presenti sono:

- Azoto (N): max 80mg/l;
- Fosforo (P₂O₅): max 50mg/l
- Potassio (K₂O): max 500 mg/l
- Magnesio (Mg): max 200 mg/l
- Sostanza organica: 5%
- pH: 7
- Salinità: 2,5 g/l (KCl)
- Capacità idrica massima: > 35 % del volume



Figura 59 ZinCo "Roccia Fiorita"

Sistema di drenaggio e accumulo IGROPERLITE®

Perlite Italiana fornisce questo tipo di materiale per l'accumulo e il drenaggio ed è composto da sacchi di geotessile non tessuto (100% fiocco di poliestere calandrato (Figura 61), con peso di 160 g/m²) contenente perlite espansa selezionata di granulometria che varia da 0,1 a 5 mm a seconda della tipologia (Figura 60). I materassini hanno uno spessore variabile dai 5 ai 15 cm. Quelli scelti per la prova sono spessi sui 6 cm. La perlite espansa⁵ AGRILIT® viene descritta dal produttore come leggera, naturale (di origine vulcanica), ottima per l'isolamento termico, incombustibile e chimicamente inerte. In termini di accumulo idrico presenta: elevato potere di trattenere l'acqua (da tre a cinque volte il suo peso specifico), elevato potere di trattenere la maggior parte dei concimi e permetterne la disponibilità nel tempo, capacità filtrante delle acque di percolamento, aiutando a ridurre gli elementi concimanti nelle fognature per concludere con la capacità di mantenere correttamente ossigenati e protetti dalle escursioni termiche gli apparati radicali. Come per gli altri materiali il sistema predisposto è prodotto secondo le norme di controllo qualità ICMQ secondo UNI EN ISO 9001:2000, presenta il marchio CE e risponde alla norma UNI 11235.

Il verde estensivo progettato e realizzato attraverso questa particolare stratigrafia può arrivare a un peso che va dagli 80 ai 150 kg/m², uno spessore medio dai 10 ai 15 cm, un accumulo idrico dai 40 ai 60 litri/m² Fonte: (Perlite Italiana, 2013).



Figura 61 Sacchi della Perlite Italiana



Figura 60 Perlite in dettaglio

⁵ La perlite è una roccia vulcanica effusiva con colorazione variabile fra il grigio e il rosaceo. Ha la capacità di espandere il proprio volume fino a 20 volte rispetto a quello originale quando viene portata ad elevate temperature, prossime al punto di rammollimento (871 – 1093 °C). A temperature comprese fra i 550 e i 900 °C questa roccia si espande per la vaporizzazione dell'acqua e si formano delle bolle internamente che conferiscono leggerezza, uno straordinario potere isolante ed il tipico colore bianco. Analizzando un granulo al microscopio a scansione elettronica è possibile visualizzare una rete di macroporosità aperte e di microporosità chiuse interne. (Perlite Italiana, 2013)

Sistema di accumulo e drenaggio BAUDER DSE 40

Il secondo elemento di accumulo e drenaggio è composto da materiale con profilo termoformato in polietilene alta densità HDPE (Figura 62). Questo materiale e la particolarità della struttura ne garantisce la resistenza alla compressione, la qualità nell'accumulo e drenaggio ed è particolarmente indicato nella realizzazione di pavimentazioni carrabili. Le caratteristiche fornite dal produttore sono:

- Massa aerica kg/m²: 1,8
- Spessore del materiale mm: 1,8
- Altezza elemento mm: 40
- Capacità di accumulo l/m²: 13,6
- Volume di riempimento l/m²: 21,0
- Superficie di appoggio elemento %: 42
- Resistenza alla compressione kPa: >80
- Capacità di drenaggio orizzontale (EN ISO 12958) con carico di 20 kPa:
gradiente idraulico $i=0,01$ (pend. 1%): l/(m*s) 0,75 longitudinali e 0,65 trasversale;
gradiente idraulico $i=0,02$ (pend. 2%): l/(m*s) 1,08 longitudinali e 0,96 trasversale;

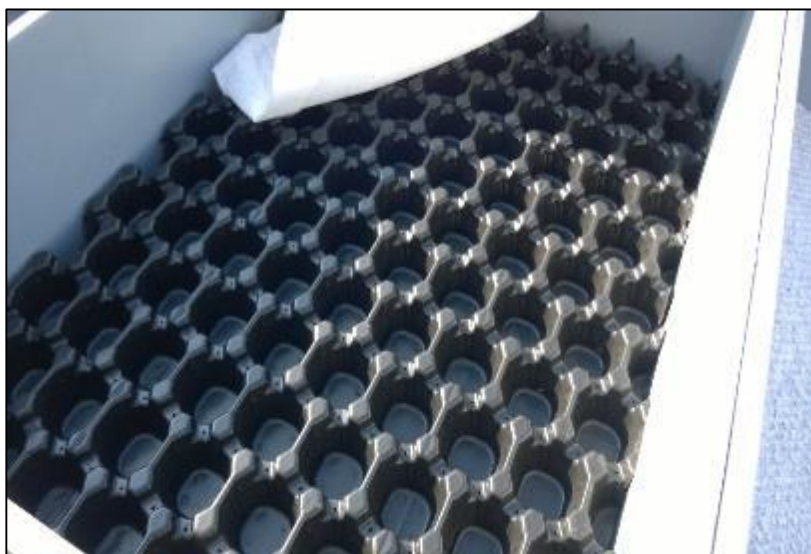


Figura 62 Strato drenante preformato della Bauder

Prima di posare ciascuno dei due sistemi di accumulo e drenaggio all'interno delle cassette sono stati posizionati i relativi materassini (strato di protezione) accoppiati a ciascun sistema e qui di seguito brevemente illustrati.

Strato di protezione Perlite Italiana ECODREN SD5

Abbinato al sistema IGROPERLITE® c'è lo strato di protezione ECODREN che va posto al di sotto ed è composto da una geomembrana cuspidata tridimensionale (Figura 63). Lo spessore è attorno ai 4,5 mm. Questo sistema permette il deflusso facilitato delle acque evitandone il ristagno con conseguente problema a livello di asfissia radicale. Le acque meteoriche in eccesso vengono facilmente smaltite, risulta inoltre chimicamente inerte.



Figura 63 Strato di protezione Perlite Italiana

Strato di protezione Bauder FSM 1100

E' formato da un tessuto misto composto da polipropilene e poliestere, fissato meccanicamente e termicamente (Figura 64). Presenta una massa areica (g/m^2) pari a 1100. Lo spessore è di 8 mm e la capacità di accumulo è di $6 \text{ l}/\text{m}^2$ (nel caso della cassetta della prova considerando l'area pari a $0,44 \text{ m}^2$ il contenuto d'acqua trattenuto è di 2,64 litri).



Figura 64 Strato di protezione meccanica e accumulo Bauder

Strato filtrante Bauder FV 125

Lo strato filtrante è composto da un tessuto in fibra tessile in polipropilene con una massa areica pari a 125 g/m^2 (Figura 65). Presenta un'apertura di filtrazione - porometria (O_{90}) pari a $0,126 \text{ mm}$ ed una permeabilità VI_{h50} (valore di velocità del flusso in corrispondenza di una perdita di carico) pari a $0,11 \text{ m/s}$. L'elemento filtrante FV125 è stato utilizzato su tutte le cassette, con uno spessore di poco meno di 2 mm .



Figura 65 Strato filtrante Bauder

4.3.2. ASSEMBLAGGIO DEL MATERIALE PER LA PROVA

Oltre ai materiali precedente descritti sono state acquistate delle cassette in PVC della misura di 20,5 x 60 x 80 (h x larghezza esterna x lunghezza esterna) con un'area interna pari a 0,44 m² ed un volume interno pari a 0,090 m³.

Per rendere più comode ed agevoli le misurazioni sono stati realizzati 3 cavalletti rettangolari in ferro alti 1,40 m., per sostenere ciascuno 13 cassette.

La prima operazione è stata quella di realizzare un foro centrale sul fondo della cassetta (Figura 66), con un diametro di circa 2 cm, per convogliare l'acqua di deflusso all'interno di due taniche poste al di sotto tramite un raccordo in plastica a v con all'estremità due pezzi di tubo di gomma avvitato alla cassetta.



Figura 66 Dettaglio foro di scarico centrale

Le cassette sono in numero di 39, tre sono i testimoni e contengono uno strato di 12 cm di ghiaia. Sono state predisposte 12 diverse combinazioni di tetto verde (tesi) con tre repliche per ciascuna tesi per un totale di 36 cassette.

La fase successiva è stata quella di tagliare il materiale che compone lo strato di protezione per entrambi i sistemi di accumulo e drenaggio per un totale di 18 cassette riempite con FSM 1100 e 18 riempite con ECODREN SD5. Le tre cassette contenenti la ghiaia presentano solo uno strato filtrante sul fondo composto dal tessuto filtrante FV 125.

La fase più laboriosa dal punto di vista realizzativo è stata quella per la preparazione dello strato di accumulo e drenaggio della Perlite Italiana. Anche in questo caso sono state riempite 18 cassette. I

sacchi fornitici presentavano un'area pari a $0,90 \text{ m}^2$ ($72 \times 125 \text{ cm}$), superiore all'area interna di ciascuna cassetta. Si è dovuto quindi svuotarli e pesare la quantità interna di perlite espansa, tagliare e cucire il sacco in geotessile in modo da adattarlo alle nostre cassette e riempire i nuovi sacchi con una quantità di perlite proporzionalmente adeguata (Figura 67).

L'area del sacco tagliata, considerando un leggero surplus di geotessuto sui lati verticali interni della cassetta, è pari a $0,52 \text{ m}^2$ ($65 \text{ cm} \times 81 \text{ cm}$). Il peso del contenuto del sacco originale è pari a $4,70 \text{ kg}$, mentre il peso del materiale inserito nei sacchi creati *ad hoc* è di $2,70 \text{ kg}$. Anche in questo caso sono stati ridimensionati 18 sacchi.



Figura 67 Sacchi di geotessile modificati e da riempire

Per quanto riguarda invece lo strato di accumulo e drenaggio della Bauder DSE 40 si è provveduto semplicemente a tagliare il materiale per ricoprire l'area interna della cassetta. Per un totale sempre di 18 cassette riempite con questo materiale.

Fra lo strato di accumulo e drenaggio ed il substrato è stata posizionato lo strato filtrante.

Le 36 cassette sono state poi riempite con il substrato di coltivazione: 18 con il Vulcaflor di Europomice e 18 con il substrato "Roccia fiorita" della ZinCo. Si è inserita una quantità di terreno pari a 13 cm al fine di ottenere 12 cm di substrato, considerando il calo di 1 cm su tutte le cassette in seguito alla compattazione. Si ha quindi un volume di terreno per ogni cassetta pari a $0,44 \text{ m}^2 \times 0,12 \text{ m (h)} = 0,0528 \text{ m}^3$ di volume di terreno per ogni cassetta.

Le 36 cassette presentano quindi la seguente stratigrafia:

- 12 cm di substrato;
- 0,2 cm circa di strato filtrante;
- 4 cm di strato di accumulo e drenaggio (Bauder) + 0,8 cm di strato di protezione (Bauder), in 18 cassette;
- 6,6 cm di strato di accumulo e drenaggio (Perlite Italiana) + 0,45 cm di strato di protezione (Perlite Italiana), in 18 cassette;

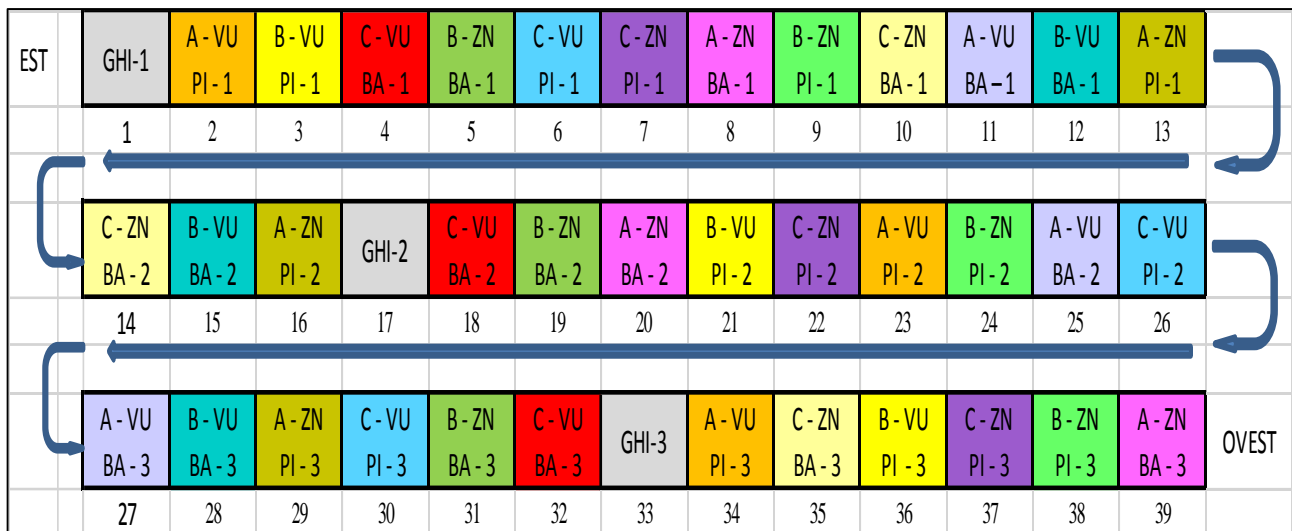
Nel caso delle cassette con strato drenante/accumulo composto dall'elemento preformato della Bauder, l'altezza del materiale inserito è pari a 17 cm e considerando che l'altezza della cassetta è di 20,5 cm avremo che il substrato sarà al di sotto del bordo superiore di 3,5 cm circa. Viceversa nel caso delle cassette riempite con lo strato drenante/accumulo della Perlite Italiana si ha uno scostamento del bordo poco superiore al 1 cm circa, in quanto il totale dell'altezza dei vari strati è pari a 19,25 cm. Con una differenza fra sistemi pari a poco più di 2 cm.

Le cassette sono state posizionate casualmente una accanto all'altra al di sopra dei cavalletti di ferro, orientate con il loro lato più corto in direzione Nord-Sud e con il lato più lungo in direzione Est-Ovest e posizionate lungo un'unica fila formata accostando i tre sostegni di ferro (Figura 68).

Sono state posizionate casualmente ma suddivise per le tre repliche. Anche i tre testimoni sono stati posizionati in modo casuale all'interno di queste tre repliche disposte a blocchi randomizzati.

Al di sotto sono state posizionate, per ciascuna cassetta, due taniche in PVC bianco della capacità di 20 l ciascuna. Sono state ulteriormente forate appena sotto il loro foro per accelerare l'operazione di svuotamento. Una bilancia digitale con portata massima di 20 kg è utilizzata per pesare ogni singola tanica in seguito ad un evento di pioggia o eventuali irrigazioni.

Per evitare che la luce del sole diretta verso le taniche poste al di sotto delle cassette, potesse far evaporare l'acqua all'interno è stato posizionato un telo verde ombreggiante lungo tutto il lato sud dei sostegni di ferro che è orientato verso sud. Questo telo protegge dai raggi del sole diretti verso le taniche e l'asfalto (tenendolo più fresco) e rallenta la velocità del vento.



LEGENDA	
A	Miscuglio Sedum
B	Miscuglio erbacee
C	Miscuglio suffruticose
VU	Substrato VULCAFLOR
ZN	Substrato ZINCO
PI	Drenante PERLITE ITALIANA
BA	Drenante BAUDER
1	Blocco 1
2	Blocco 2
3	Blocco 3

Figura 68 Schema della disposizione delle cassette

4.3.3. MESSA A DIMORA DELLE PIANTE

Una volta che tutte le cassette sono state predisposte si è provveduto a mettere a dimora le piante. Tutte le piante sono state piantumate nella seconda settimana di Maggio. Tutte le piante, di ogni gruppo (*Sedum*, erbacee perenni e suffruticose) sono state posizionate in modo del tutto casuale in ogni cassetta (Figura 69). Quelle propagate in serra sono state semplicemente private del vasetto in plastica, leggermente smosso il pane di terra e posizionate all'interno della cassetta. Per quanto riguarda invece quelle provenienti dal vivaio di Veneto Agricoltura⁶ si è provveduto a regolare

⁶ Il centro di Biodiversità Vegetale e Fuori Foresta di Veneto Agricoltura produce piantine di specie legnose ed erbacee ottenute da materiali di propagazione di sicura provenienza locale. Vengono utilizzati semi, talee e parti di piante raccolti in popolamenti naturali del bacino padano veneto. Si cerca inoltre di promuovere tecniche produttive per favorire la crescita e lo sviluppo più rapido delle giovani piantine una volta messe a dimora.

l'altezza del panetto di terra in quanto alcuni era superiori ai 12 cm del substrato. La crescita e la qualità della pianta non è stata comunque pregiudicata in quanto le giovani radici erano presenti sull'intero panetto di terra e non solo sulla parte basale.

In fine per quanto riguarda la messa a dimora del *Sedum*, la tecnica utilizzata è stata quella di prelevare le parti di pianta dal materiale di propagazione lasciato crescere nei cassoni all'esterno. Le quattro specie utilizzate sono state posizionate per ogni cassetta con una quantità pari a 3 piante/parti di pianta per ciascuna specie sempre in modo casuale.

Fra la messa a dimora e l'inizio della prova sono passati circa 40 giorni, in cui non si è misurato il deflusso degli eventi piovosi. Una settimana prima si è provveduto a saturare il terreno in modo uniforme di tutte le prove con 20 litri per ciascuna cassetta e lasciando defluire l'acqua.

Questa irrigazione è stata ripetuta in seguito altre volte per permettere alle piante di adattarsi e soffrire il meno possibile. Non è stato distribuito alcun concime in quanto presente nei substrati.



Figura 69 Messa a dimora delle piante

4.3.4. SONDE DI UMIDITA' E TEMPERATURA

Per poter analizzare il contenuto volumetrico d'acqua (VWC), l'umidità (m^3/m^3) presente in ogni cassetta e la temperatura ($^{\circ}C$) sono state acquistate delle sonde e dei Data Loggers per la raccolta e la memorizzazione dei dati.

Si è previsto l'inserimento di una sonda posta al centro della cassetta ad un'altezza pari alla metà del substrato cioè 6 cm. Non sono state posizionate 36 sonde, ma solamente 12 cioè il numero di cassette

che compongono una replica escludendo la cassetta con la ghiaia (testimone). Le sonde e i data loggers utilizzati sono della Decagon Devices.

Sonde di umidità e temperatura Decagon 5TM

Queste particolari sonde permettono di calcolare il contenuto volumetrico d'acqua (VWC) misurando la costante dielettrica del suolo utilizzando la tecnologia della capacità/frequenza.

Presentano un range di misurazione da 0 a 100% in riferimento al VWM e da -40 sino a 60 °C in riferimento alla temperatura rilevata (Decagon, 2014).

Data logger Decagon Em50

Questa centralina di raccolta dati permette di collegare sino a 5 sonde per ciascuna unità. Ha una capacità di memoria pari a 1 MB e funziona a batteria. Con tre data loggers abbiamo potuto collegare 12 sonde (Decagon, 2014) (Figura 70).

Si è impostata una misurazione ogni 10 minuti

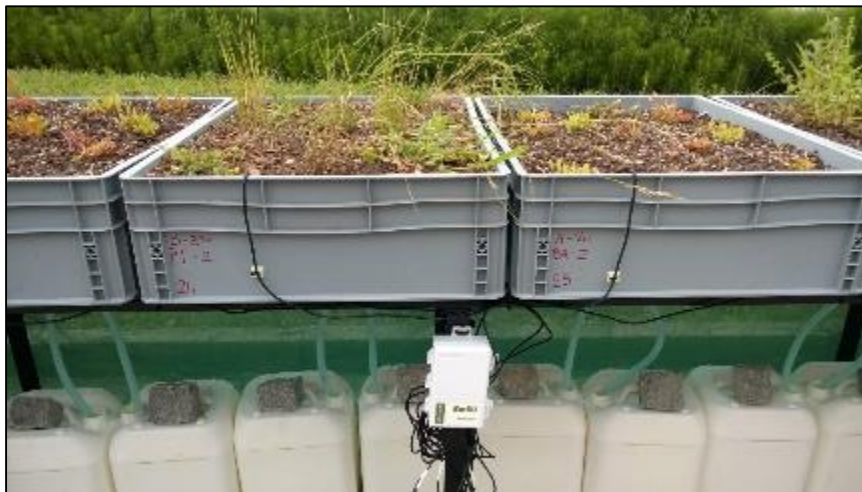


Figura 70 Data logger fissato alla struttura

4.4. PESO DIRETTO DELLE CASSETTE

Il peso diretto delle cassette ci ha permesso di raccogliere i dati di peso giornalieri per ciascuna tesi riferite ad una singola replica (totale 12 cassette). I dati giornalieri comprendono quindi il peso di tutto il materiale all'interno di ciascuna cassetta, compresa la vegetazione, più il quantitativo d'acqua.

Per permettere di ricavare i dati si è predisposto un sostegno in ferro che è posto sopra una bilancia con portata massima di 90 kg posta a sua volta al di sopra di un transpallet (Figura 71). Il peso della cassetta e del raccordo a v, comprendente due tubi di gomma che si collegano alle taniche non ricade nel conteggio perché precedentemente tarati.



Figura 71 Carrello per il peso diretto delle cassette

4.5. SIMULATORE DI PIOGGIA

Una delle caratteristiche più importanti delle coperture verdi è sicuramente la capacità di laminazione degli eventi meteorici intensi. Per osservare come le diverse tipologie di tetto verde gestiscono (accumulano e drenano) l'acqua piovana si è deciso di effettuare delle sperimentazioni in ambiente controllato (laboratorio) utilizzando un simulatore di pioggia.

Uno studio simile, in cui è stato utilizzato un simulatore di pioggia, è stato realizzato presso l'Università di Sheffield, dove si è valutata l'influenza della vegetazione sul deflusso sia in termini di tempo che di quantità in seguito a due eventi di pioggia differenti (Dunnett, Nagase et al. 2008).

Sebbene il fattore “interferenza-aiuto” che la vegetazione permette di creare sia uno di quegli elementi fondamentali in una copertura a verde, il fattore secondario ovvero la gestione dell’acqua per mezzo della struttura stessa di una copertura a verde è sicuramente altrettanto fondamentale e importante.

Per le nostre prove abbiamo realizzato un simulatore analogo a quello realizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università di Sheffield, adattato e modificato al nostro caso specifico, in modo da poter simulare un intervallo di altezze pluviometriche tipico della nostra regione. La struttura realizzata nei laboratori del Dipartimento TESAF dell’Università di Padova, presenta caratteristiche in grado di adattarsi alle nostre cassette (Figura 72).

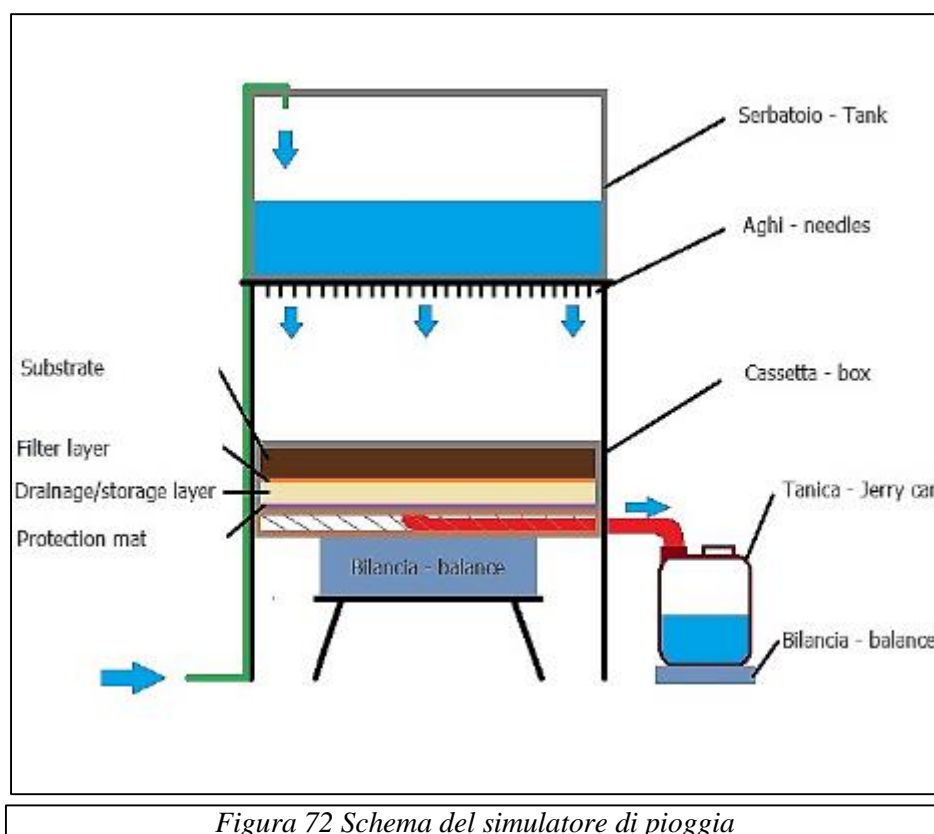


Figura 72 Schema del simulatore di pioggia

Nelle prove non sono state utilizzate direttamente le cassette per la prova con la copertura vegetale, ma bensì delle ulteriori cassette riempite in egual modo alle altre, ma prive di copertura verde (Figura 73).

Una delle motivazioni per cui questo non è stato fatto, in questa fase, è principalmente perché le piantine erano molto giovani e la copertura non uniforme, quindi il dato ricavato non avrebbe comunque evidenziato una sostanziale differenza fra tipologia di copertura vegetale, ma esclusivamente una differenza riferita alle diverse tecnologie utilizzate.

Lo strumento che simula la pioggia è composto da un carrello con struttura in ferro su ruote girevoli con un'apertura sul lato più lungo di appena pochi centimetri superiore a quella della cassetta (per permetterne il passaggio al di sopra di quest'ultima) al di sopra del quale è collocato un serbatoio d'acqua costituito da una cassetta in PVC delle stesse dimensioni planimetriche delle cassette utilizzate per la realizzazione dei campioni di tetto verde, ma con un'altezza di 60 cm. Per la simulazione della pioggia, il fondo del serbatoio è stato forato (fori disposti su una maglia quadrata con lato 4 cm) e per ogni foro è stato installato a pressione un ago con apertura di 21 gauge.



Figura 73 Cassetta predisposta per la prova

Gli aghi sono stati utilizzati in quanto permettono la formazione di gocce e quindi una corretta simulazione del fenomeno pluviometrico. La variazione del carico all'interno del serbatoio permette la simulazione di eventi pluviometrici con intensità diversa e quindi con tempi di ritorno⁷ differenti.

⁷ Per tempo di ritorno (T_r) si intende l'intervallo di tempo, definito in numero di anni, in cui un dato valore di una grandezza idrologica viene mediamente uguagliato o superato una sola volta. Una variabile viene definita casuale quando i valori sono influenzati da un numero elevato di cause sconosciute e/o parzialmente note e quindi poco o per nulla prevedibili a priori. Un evento è altresì un verificarsi di un qualsiasi valore della variabile casuale superiore od inferiore ad un valore prefissato o compreso in un possibile intervallo di due valori prestabiliti. (Gregoretti, 2004)

Le cassette da testare venivano quindi posizionate circa 1 metro al di sotto del serbatoio. Per permettere la misura sia dell'acqua che defluisce dalla cassetta che dell'acqua che si accumula al suo interno, si sono utilizzate due bilance digitali, una con portata massima di 20 kg e l'altra sino a 90 kg. Quella più piccola, per la misura dell'acqua che defluisce dal campione di tetto verde, è stata posta a livello del terreno sotto la tanica collegata, per mezzo di un tubo di drenaggio al foro sul fondo della cassetta. La seconda bilancia, invece, utilizzata per la misura dell'acqua accumulata nel tetto campione, era posizionata al di sotto della cassetta e sollevata dal terreno di circa 40 cm per permettere lo scolo dell'acqua dalla cassetta alla tanica. Il livello dell'acqua all'interno del serbatoio veniva mantenuto costante grazie all'immissione di acqua con un rubinetto posto al di sopra del sistema.

Una taratura preliminare del simulatore si è resa necessaria per definire la corretta relazione tra carico di acqua all'interno del serbatoio e intensità di pioggia in uscita dagli aghi. Lo studio in laboratorio si è occupato di verificare l'efficacia dei materiali costituenti i tetti verdi oggetto di studio, nei confronti di scrosci di pioggia di breve durata ma elevata intensità. Si è deciso quindi di utilizzare una durata di pioggia pari a 10 minuti, durata che è stata quindi utilizzata anche in questa fase di taratura.

La relazione tra intensità di pioggia e carico è stata quindi analizzata andando a misurare l'intensità di pioggia in uscita dal simulatore (pesando l'acqua accumulata in una cassetta vuota posta sotto di esso) per altezze della colonna d'acqua costanti all'interno del simulatore. Si è deciso di analizzare i carichi da 5 a 25 cm e prendere dati di intensità ogni 5 cm di carico.

Per ogni carico analizzato sono state effettuate tre prove per poter effettuare in seguito anche un'analisi statistica dei dati.

Per ogni prova sono stati misurati e ricavati i valori rispettivamente di:

- peso della pioggia in kg in uscita dal simulatore e accumulata in una cassetta posizionata al di sotto di esso;
- volume totale di pioggia in m^3 ricavato direttamente dal peso di pioggia misurato;
- altezza della pioggia in mm;
- intensità di pioggia in mm/ora.

I risultati sono riportati in tabella 4:

Tabella 4 Dati taratura del simulatore di pioggia

Durata della prova (min)	Durata della prova (ore)	Carico (cm)	Peso pioggia totale (kg)	Area della scatola (m2)	Volume totale di pioggia (m3)	Altezza di pioggia (mm)	Intensità (mm/ora)
10	0,17	5,00	6,75	0,44	0,0068	15,47	92,84
10	0,17	5,00	6,94	0,44	0,0069	15,91	95,46
10	0,17	5,00	6,93	0,44	0,0069	15,89	95,32
10	0,17	10,00	10,97	0,44	0,0110	25,15	150,89
10	0,17	10,00	11,12	0,44	0,0111	25,49	152,95
10	0,17	10,00	11,27	0,44	0,0113	25,84	155,01
10	0,17	15,00	15,25	0,44	0,0153	34,96	209,75
10	0,17	15,00	15,42	0,44	0,0154	35,35	212,09
10	0,17	15,00	15,44	0,44	0,0154	35,39	212,37
10	0,17	20,00	18,90	0,44	0,0189	43,33	259,96
10	0,17	20,00	18,94	0,44	0,0189	43,42	260,51
10	0,17	20,00	19,01	0,44	0,0190	43,58	261,47
10	0,17	25,00	22,40	0,44	0,0224	51,35	308,10
10	0,17	25,00	22,46	0,44	0,0225	51,49	308,92
10	0,17	25,00	22,52	0,44	0,0225	51,62	309,75

Utilizzando i dati in Tabella 4 è stata ricavata la relazione fra carico e altezza di pioggia. La relazione è evidenziata all'interno del Grafico 3.

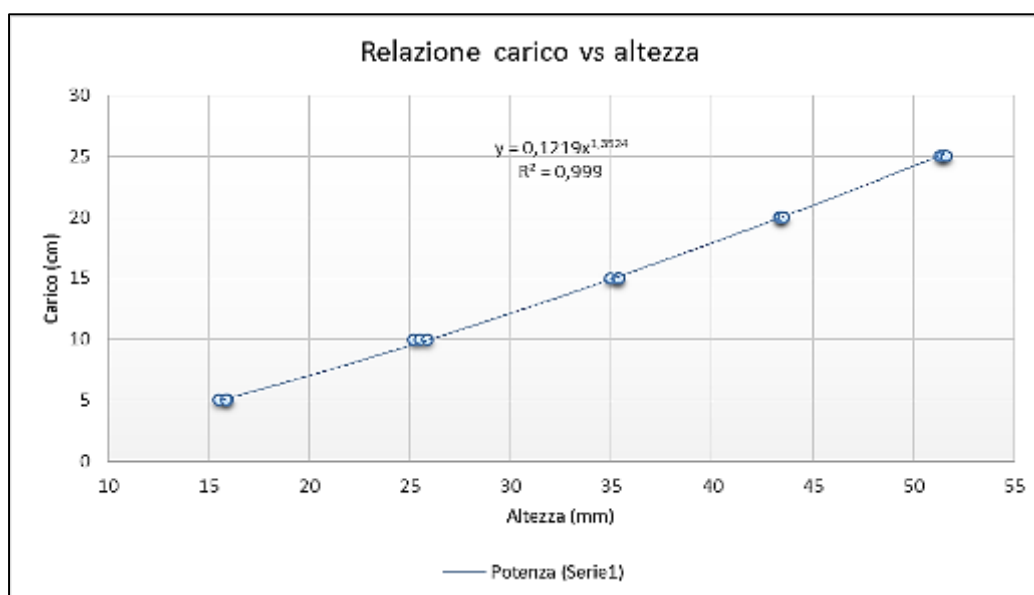


Grafico 3 Relazione tra altezza di pioggia simulata con il simulatore e carico

4.5.1. ANALISI STATISTICO PROBABILISTICA DELLE PIOGGE INTENSE

I dati di pioggia della stazione pluviometrica ARPAV di Legnaro sono stati analizzati per trovare la relazione che associa l'altezza di pioggia al tempo di ritorno Tr^8 (Bixio, et al., 2002). L'analisi si è concentrata sugli eventi di pioggia con durata pari a 10 minuti, in quanto è la durata che si è deciso di utilizzare per la valutazione dei campioni di tetto verde. La durata è stata scelta in quanto le piogge brevi e intense sono quelle che generalmente mettono in difficoltà i sistemi di smaltimento delle acque degli ambienti urbani. Per l'analisi statistica delle piogge intense è stata utilizzata la distribuzione probabilistica di Gumbel altrimenti nota come distribuzione dei valori estremi di tipo 1 o legge doppio-esponenziale.

$$P(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

dove $P(x)$ è la probabilità di non superamento della variabile idrologica x , mentre α e u sono i due parametri della legge di Gumbel.

Questo tipo di distribuzione viene utilizzata generalmente in ambito idrologico per analizzare variabili come i valori mensili massimi e annuali delle piogge giornaliere o i volumi di portata dei fiumi.

I dati analizzati sono quelli relativi alla serie storica delle massime altezze di pioggia registrate dal pluviometro ARPAV di Legnaro, che comprende dati dal 1992 al 2013.

Tabella 5 Relazione tra altezza di pioggia e Tr

PIOGGE CARATTERISTICHE		
10 minuti		
Tr (anni)	y	h attesa (mm)
2	0,367	16,84
5	1,500	21,87
10	2,250	25,20
30	3,384	30,23
50	3,902	32,53
100	4,600	35,63
200	5,296	38,72

⁸ Il tempo di ritorno esprime il numero di anni entro il quale la variabile idrologica di interesse ha un valore contraddistinto dalla probabilità di essere eguagliato o superato mediamente una sola volta; l'evento si ripete mediamente almeno con questa intensità un volta ogni T anni.

L'adattamento della distribuzione di Gumbel al nostro campione di dati è stato effettuato utilizzando il metodo dei momenti e ha permesso di identificare la relazione tra altezza di pioggia e tempo di ritorno. In Tabella 5 si riportano i risultati principali di questa analisi.

Per le prove di laboratorio si è deciso di concentrarsi su eventi di pioggia caratterizzati da due intensità diverse: quella relativa a Tr 2 anni e quella per Tr di 30 anni. Utilizzando la relazione nel Grafico 3 è stato identificato il valore di carico da utilizzare nel simulatore di pioggia per la simulazione di questi due eventi. La tabella 6 riporta i valori di questi due carichi.

Tabella 6 valori dei carichi simulati

Durata di pioggia 10 min		
Tempo di ritorno (anni)	altezza di pioggia (mm)	carico (cm) (potenza)
2	16,84	5,6
30	30,2	12,3

Prima di iniziare ogni singola prova, il simulatore veniva comunque controllato facendo cadere la quantità di acqua all'interno della cassetta vuota per verificare la corretta corrispondenza in peso e di tempo, in base al carico assegnato come da taratura (Figura 74).

Una volta predisposto il materiale e controllato il corretto funzionamento degli strumenti si predisponeva il carrello con il simulatore al di sopra della cassetta già riempita e tarata.



Figura 74 Simulatore di pioggia

4.5.2. CARATTERIZZAZIONE PRELIMINARE DEI SUBSTRATI COLTURALI

I substrati colturali sono stati disidratati e seccati ponendoli in stufa a 30 °C per 48 ore prima di procedere con la prova. Prima dell'essiccazione in stufa, si è prelevato 1 dm³ di substrato e lo si è pesato. Dopo le 48 ore di tempo necessarie all'eliminazione dell'acqua, il campione è stato ripeso per determinarne il peso secco e calcolare l'umidità iniziale (Tabella 7). E' emerso come il Vulcaflor pesi di più, rispetto allo ZinCo. Inoltre, il substrato della ZinCo "roccia fiorita" ha perso una quantità maggiore di acqua maggiore. Questo è dovuto alla particolarità del substrato, più ricco in torba, e alla scarsa presenza di materiale minerale (lapillo vulcanico) rispetto al Vulcaflor.

Tabella 7 Peso dei substrati di coltivazione prima della prova

Contenuto idrico dei substrati di coltivazione					
Substrato 1: ZN			Substrato 2: VU		
Volume apparente	1	dm3	Volume apparente	1	dm3
Peso netto umido dopo 30 °C per 48 h	0,867	kg	Peso netto umido dopo 30 °C per 48 h	0,878	kg
Peso netto secco	0,805	kg	Peso netto secco	0,867	kg
Acqua %	7,15	%	Acqua %	1,25	%

La tabella 8 mostra invece il peso del singolo sistema (drenante + substrato) prima di iniziare la prova. Evidenziando come i substrati accoppiati al sistema di drenaggio con la perlite pesassero di più rispetto a quelli con il sistema di drenaggio preformato.

Tabella 8 Peso delle singole cassette prima della prova

Peso cassette complete prima della prova (kg)	
ZN-BA	47,165
VU-BA	47,747
ZN-PI	50,140
VU-PI	50,722

4.5.3. PROCEDURA DI REALIZZAZIONE DELLE PROVE CON SIMULATORE DI PIOGGIA

Per liberare gli aghi dall'eventuale presenza di ostruzioni e polvere, questi venivano insufflati d'aria prima di riempire il serbatoio. Una scala graduata all'interno del serbatoio permetteva di controllare il carico d'acqua e di mantenerlo costante lungo tutta la durata della prova.

Una volta posizionato il simulatore al di sopra della cassetta da testare il test aveva inizio e veniva fatto partire il tempo utilizzando un cronometro. La prova consisteva nel rilevare ogni 30 secondi:

- Il peso della cassetta man mano che veniva riempita d'acqua;
- Il peso della tanica man mano che si riempiva con l'acqua che defluiva dal foro centrale della cassetta.

La procedura adottata ha permesso di calcolare le quantità d'acqua accumulate e drenate in funzione del tempo per ogni correlazione (strato colturale – strato di drenaggio), in condizioni di umidità iniziale del substrato nulla e in condizioni di completa saturazione. La condizione di saturazione è stata intesa come la condizione di umidità del substrato dal momento in cui l'acqua comincia a defluire dalla cassetta.

La raccolta dei dati è stata effettuata sia nella fase di carico, i 10 minuti di durata della precipitazione, che nella fase di scarico, i 10 minuti successivi al termine della precipitazione.

4.6. RACCOLTA DEI DATI DI DEFLUSSO E METODO DI ANALISI

Uno degli aspetti fondamentali di questa prova, intuibile anche dal titolo della tesi, è sicuramente quello di osservare e analizzare i dati di deflusso nei diversi microcosmi di tetto verde in seguito ad un evento di pioggia.

Premesso che non sono state effettuate irrigazioni, durante la prova, i dati ricavati sono dunque rilevati in situ il giorno dopo l'evento di pioggia o i giorni seguenti. Per il confronto sono stati utilizzati i dati validati forniti dall'ARPAV di Teolo (PD) che ha un pluviometro all'interno dell'azienda agraria del campus di Agripolis a Legnaro (PD). Il riferimento in situ è comunque dato dal testimone (ghiaia) per ogni blocco. In ogni caso alcuni valori possono discostare dai dati forniti dall'ARPAV in quanto la stazione di raccolta dati non è posta nelle vicinanze della prova, ma ad almeno 600 metri in linea

d'aria e le condizioni meteo possono leggermente discostare fra una zona e l'altra. Inoltre la ghiaia, seppur in modo minimo, può trattenere quantitativi di acqua variabili sulla superficie. In genere i valori, come si vedrà, risultano essere coerenti con il testimone, in alcuni casi limitati, invece si ha un deflusso maggiore dalle cassette rispetto al testimone. In tutti i casi il valore è ricavato dalla media dei tre blocchi di cassette. La variazione, anche in questo caso, può esser dovuta alla direzione ed intensità del vento che ha permesso una raccolta maggiore di acqua in alcune cassette rispetto alle altre, vista anche la vicinanza del muro di un edificio. I pochi valori che si discostano fra tesi e testimone, o fra tesi e dati ARPAV, non hanno influenzato i risultati complessivi del periodo.

Come si è svolta la raccolta dei dati?

La raccolta dei dati è avvenuta ogni qualvolta vi fosse un evento piovoso. Tramite il sito dell'ARPAV è possibile visualizzare l'evento e osservare i dati validati, registrati dalle numerose stazioni pluviometriche al suolo poste nel territorio regionale. Nel nostro caso la stazione di riferimento è la 111 attiva dal 1991⁹. La tipologia di pluviometro (a sistema basculante) è soggetto ad un errore di misura che aumenta con l'aumentare dell'intensità di pioggia (es. 24 mm/5', errore %: - 14,1), così come è soggetto ad un effetto del vento forte tipico degli eventi temporaleschi che influisce sulla traiettoria delle gocce (Bixio & Fiume, 2002). Le taniche al di sotto di ogni cassetta (2 x 20 l) hanno raccolto l'acqua di ogni evento piovoso. Sono state pesate con una bilancia elettronica una ad una ed i dati riportati a livello informatico. Il periodo di riferimento per reperire i dati ARPAV e nel quale si è provveduto a raccogliere l'acqua parte dal 20/06/2014 al 11/09/2014. La tabella seguente mostra i dati validati forniti dall'ARPAV di Teolo per questo periodo. In azzurro sono evidenziati gli eventi di pioggia con deflusso, mentre in giallo gli eventi di pioggia senza deflusso nelle taniche.

⁹ La rete di telemisura gestita dal Centro Meteorologico di Teolo dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto è costituita da stazioni meteorologiche ed agrometeorologiche automatiche del tipo WST 7000 e WST 3200, costruite dalla ditta MTX Italia S.r.l., telecontrollate via radio dalla centrale di Teolo ed operanti in continuo mediamente dall'anno 1992. Il pluviometro utilizzato per le misure è costituito da una bocca circolare da 1000 cm² di area, posta a 2 m di altezza dal piano campagna. Un imbuto in alluminio convoglia la pioggia caduta verso un sistema di due vaschette basculanti in grado di operare la misura con risoluzione di 0.2 mm di pioggia (pari a 20 cm³ di acqua). Mediante due contatti magnetici l'unità di acquisizione della stazione meteorologica conta il numero di oscillazioni del dispositivo nell'unità di tempo. (Bixio & Fiume, Caratterizzazione delle piogge intense sul bacino scolante nella laguna di Venezia, 2002)

Data (gg/mm/aa)	Temp. aria			Pioggia	Radiazione	Temp. suolo			
	a 2 m			(mm)	globale	media			
	(°C)				(MJ/m ²)	(°C)			
	med	min	max	tot	tot	a 0 cm	a -10 cm	a -20 cm	a -30 cm
19/06/2014	21.1	15.1	27.5	10.8	21.614	21.6	21.9	21.7	21.1
20/06/2014	22.1	14.5	28.8	0.0	25.607	22.6	22.8	22.0	21.2
21/06/2014	21.4	16.6	24.8	0.0	26.201	22.7	23.4	22.8	21.9
22/06/2014	22.6	16.9	26.8	0.0	21.377	24.1	23.7	22.9	22.0
23/06/2014	23.7	19.4	27.8	0.6	17.276	24.8	24.5	23.6	22.6
24/06/2014	22.8	16.8	27.5	1.4	25.535	24.9	24.8	23.9	22.9
25/06/2014	18.9	16.9	21.2	15.4	9.356	20.4	22.6	23.0	22.7
26/06/2014	21.2	17.2	25.1	0.0	27.828	22.7	23.4	22.7	22.1
27/06/2014	21.9	16.7	27.3	0.0	22.745	23.3	24.1	23.4	22.5
28/06/2014	23.3	17.5	28.7	0.0	25.837	25.0	24.7	23.8	22.9
29/06/2014	21.6	18.0	27.3	3.4	17.276	23.5	24.1	23.8	23.1
30/06/2014	20.4	15.3	25.3	1.2	28.462	22.2	23.5	23.2	22.7
01/07/2014	21.1	16.2	25.0	0.0	27.162	22.9	23.3	23.0	22.5
02/07/2014	22.1	17.1	26.4	0.0	24.138	23.9	23.9	23.4	22.7
03/07/2014	21.5	15.9	26.4	0.0	30.596	23.3	23.9	23.4	22.8
04/07/2014	21.3	13.5	27.1	0.0	19.426	22.6	22.8	22.8	22.6
05/07/2014	23.5	16.5	28.9	0.0	27.151	25.6	24.0	23.4	22.7
06/07/2014	24.4	18.6	29.3	0.0	26.384	26.0	25.1	24.3	23.3
07/07/2014	23.6	17.0	28.6	27.4	24.934	25.3	25.0	24.5	23.7
08/07/2014	21.3	16.9	25.6	15.8	15.998	22.4	23.4	23.6	23.4
09/07/2014	20.3	15.7	27.0	1.6	23.861	22.0	23.2	23.1	22.8
10/07/2014	19.2	15.0	23.4	24.0	21.557	20.3	21.7	22.0	22.2

11/07/2014	21.7	15.2	27.3	0.2	28.285	23.1	23.0	22.5	22.1
12/07/2014	21.5	16.5	27.0	6.4	20.448	22.8	23.6	23.2	22.6
13/07/2014	22.0	17.8	26.1	5.2	24.808	23.7	23.6	23.2	22.6
14/07/2014	21.0	18.0	25.6	23.0	13.043	22.1	22.8	22.8	22.6
15/07/2014	24.3	16.9	30.7	0.0	28.303	24.7	23.5	22.9	22.4
16/07/2014	26.3	18.7	32.1	0.0	28.325	26.4	24.6	23.8	23.0
17/07/2014	26.6	19.3	31.5	1.0	27.198	26.6	25.2	24.5	23.5
18/07/2014	25.1	18.1	31.1	0.0	27.828	26.9	25.5	24.8	23.9
19/07/2014	26.0	19.2	32.3	0.0	27.418	26.9	25.5	24.9	24.1
20/07/2014	26.1	20.2	30.6	0.0	19.278	26.8	25.7	25.1	24.3
21/07/2014	23.1	18.9	26.8	1.0	14.411	24.0	25.8	25.4	24.5
22/07/2014	22.6	17.1	27.8	0.0	26.410	24.4	25.7	24.9	24.2
23/07/2014	24.9	20.4	31.1	0.6	23.296	26.3	26.9	25.9	24.8
24/07/2014	21.6	19.2	23.6	2.6	7.981	23.1	25.1	25.3	24.8
25/07/2014	22.7	16.7	28.1	0.0	25.297	24.5	25.4	24.8	24.2
26/07/2014	19.0	17.0	21.9	67.4	4.439	20.2	22.2	23.3	23.7
27/07/2014	21.5	17.0	27.6	0.0	18.205	22.5	22.9	22.5	22.5
28/07/2014	24.1	18.1	29.7	0.0	24.070	24.2	25.2	24.2	23.4
29/07/2014	21.7	19.2	27.1	1.2	12.917	23.1	24.7	24.5	23.9
30/07/2014	21.3	18.9	25.3	11.4	14.022	22.0	23.5	23.6	23.4
31/07/2014	21.9	19.1	25.6	0.2	11.264	22.8	23.8	23.6	23.3
01/08/2014	24.4	19.1	29.2	0.0	25.726	25.0	25.3	24.4	23.6
02/08/2014	24.8	18.8	29.9	0.0	23.972	25.4	25.7	25.0	24.1
03/08/2014	21.6	16.9	28.1	9.2	12.445	23.1	24.7	24.7	24.2
04/08/2014	22.3	15.9	28.6	0.0	22.795	24.1	24.1	23.9	23.6
05/08/2014	22.9	18.7	28.1	2.4	16.931	23.9	24.7	24.4	23.8
06/08/2014	23.1	16.9	29.4	0.0	25.416	24.5	24.5	24.2	23.7
07/08/2014	24.1	17.2	29.9	0.0	24.790	25.0	24.8	24.4	23.8
08/08/2014	24.1	18.4	29.8	0.0	25.024	24.8	24.9	24.5	23.9

09/08/2014	24.0	20.0	29.0	20.4	18.331	24.2	24.5	24.4	24.0
10/08/2014	24.8	19.9	30.3	0.0	22.486	25.1	24.9	24.4	23.9
11/08/2014	25.8	21.8	30.6	0.0	18.101	25.8	25.4	24.9	24.2
12/08/2014	25.7	21.5	31.5	0.0	22.010	26.1	25.7	25.1	24.4
13/08/2014	23.2	19.6	29.2	3.8	14.396	24.3	25.1	24.9	24.5
14/08/2014	21.8	17.5	28.4	0.8	22.280	23.2	24.2	24.3	24.0
15/08/2014	20.3	16.6	24.7	0.0	23.220	21.4	23.3	23.6	23.6
16/08/2014	17.3	12.5	22.3	1.4	8.536	19.2	21.5	22.4	22.8
17/08/2014	18.9	10.7	26.0	0.0	24.350	20.3	20.7	21.4	21.8
18/08/2014	20.7	13.8	27.4	0.0	23.069	21.2	21.4	21.7	21.8
19/08/2014	19.0	14.9	23.4	2.2	9.295	19.9	21.1	21.5	21.7
20/08/2014	20.2	15.6	25.1	10.6	15.847	20.7	21.4	21.6	21.6
21/08/2014	20.5	15.2	25.8	9.6	18.727	20.9	21.7	21.7	21.6
22/08/2014	21.7	16.9	27.0	0.0	21.697	21.5	22.2	22.1	21.9
23/08/2014	18.7	14.6	21.4	9.0	6.570	20.0	21.5	21.9	21.9
24/08/2014	18.8	13.1	25.2	0.2	16.981	19.7	20.6	21.0	21.2
25/08/2014	19.5	15.6	23.3	0.2	19.976	19.6	21.5	21.4	21.3
26/08/2014	19.3	16.1	22.9	1.8	7.812	19.7	21.5	21.6	21.4
27/08/2014	21.5	17.0	27.8	0.8	20.045	22.1	22.7	22.0	21.5
30/08/2014	22.3	15.4	30.0	0.0	19.739	22.2	23.4	22.9	22.3
31/08/2014	22.3	16.0	27.5	17.8	17.788	22.0	23.2	23.0	22.5
01/09/2014	17.2	13.9	21.4	6.6	7.690	18.1	20.6	21.5	21.8
02/09/2014	18.3	14.1	21.9	0.4	13.583	17.8	20.1	20.6	21.0
03/09/2014	19.4	15.0	26.2	4.6	13.417	20.0	21.0	20.9	20.9
04/09/2014	20.5	18.4	24.4	0.6	5.868	20.3	21.4	21.4	21.2
05/09/2014	21.9	18.6	26.4	0.0	13.079	21.0	21.8	21.5	21.3
06/09/2014	21.6	16.5	27.8	0.2	19.454	21.8	22.6	22.1	21.6
07/09/2014	21.2	16.7	26.1	0.0	17.690	21.3	22.7	22.5	22.0
08/09/2014	21.0	15.2	27.8	0.0	18.896	21.3	22.4	22.2	21.9

09/09/2014	21.7	15.6	27.7	15.4	14.497	21.5	22.4	22.3	22.0
10/09/2014	20.4	17.1	25.4	15.2	14.090	20.7	21.8	21.9	21.8

Per l'analisi statistica della significatività dei valori si è utilizzato il programma CoStat della CoHort Software utilizzando l'analisi della covarianza ANOVA a 3 blocchi completamente randomizzati. Il Test di Tukey verifica, in seguito all'analisi della covarianza, un confronto sulla differenza di scala. E' stato utilizzato per l'analisi della significatività nei deflussi di pioggia (interazione substrato x substrato) rispetto al testimone ponendolo al 100%.

Il test di Duncan è stato utilizzato invece per analizzare la significatività dei dati rispettivamente per il miscuglio, substrato e drenante rispetto al quantitativo di drenaggio.

4.7. RILIEVO FOTOGRAFICO DELLA COPERTURA VEGETALE

Un ultimo aspetto analizzato è stato quello dello sviluppo dei singoli miscugli posti al di sopra delle cassette. Come elencato più volte i miscugli sono formati e classificati nel seguente modo:

A – *Sedum*;

B – Erbacee perenni;

C – Suffruticose.

Osservare come le specie vegetali si accrescono in base al substrato è sicuramente un dato interessante. I benefici della copertura vegetale sia in termini di efficienza del sistema tetto verde e sia in termini di benefici ambientali si sono più volte ripetuti precedentemente. Inoltre uno sviluppo rapido della vegetazione comporta una riduzione nello sviluppo di malerbe ed un aumento dell'evapotraspirazione con conseguente riduzione del quantitativo d'acqua presente nel substrato con una riduzione del carico gravante sulla copertura.

La prova consisteva nel fotografare ogni singola cassetta con una fotocamera Go Pro da 12MP controllata a distanza, posta al di sopra di un braccetto fissato al carrello utilizzato per il simulatore di pioggia. La distanza fra la cassetta e la fotocamera era pari a 80 cm. La larghezza maggiore del carrello ha permesso di percorrere l'intera fila sormontando le cassette ed in modo da centrare ognuna di queste. L'immagine ottenuta è stata elaborata attraverso MatLab, utilizzando dei codici normalmente utilizzati per il calcolo della copertura forestale attraverso le foto (Korhonen and

Heikkinen 2009). Il risultato permette di ottenere degli elaborati che esprimono una percentuale rispettivamente di Canopy closure e Canopy cover. La canopy closure permette di avere un risultato più preciso rispetto alla seconda simulazione. Prima di procedere all'analisi attraverso MatLab, la singola foto è stata elaborata e modificata attraverso il software ImageJ, agendo sulla soglia.

La foto è stata elaborata per permettere ai codici in Matlab di calcolare l'area di copertura. E' stato necessario eliminare le eventuali fonti di disturbo (ad esempio il colore del substrato) agendo sul colore. La banda del colore lasciato in ogni foto è quella del verde o prossima al verde. Per fare questo si è utilizzato un metodo di analisi della soglia definito come Min Error (Kittler, 1986).

5. RISULTATI E DISCUSSIONE

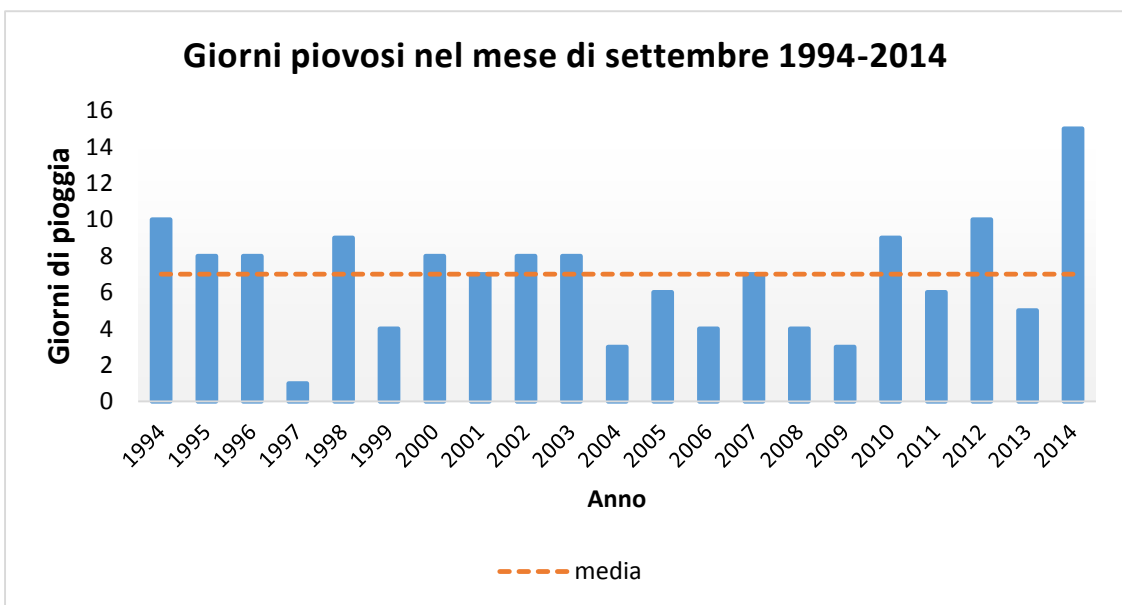
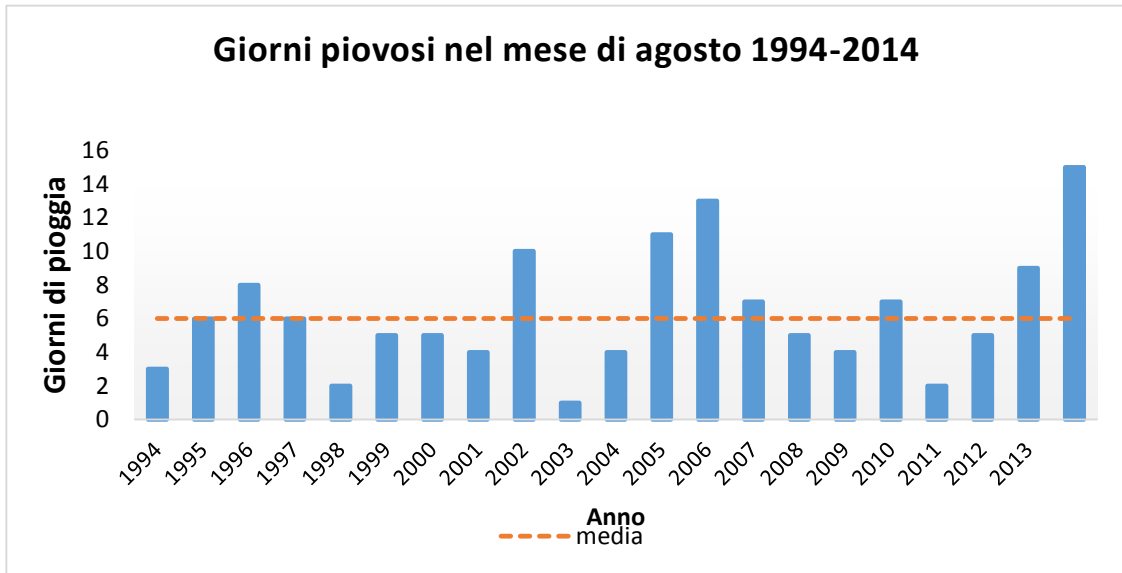
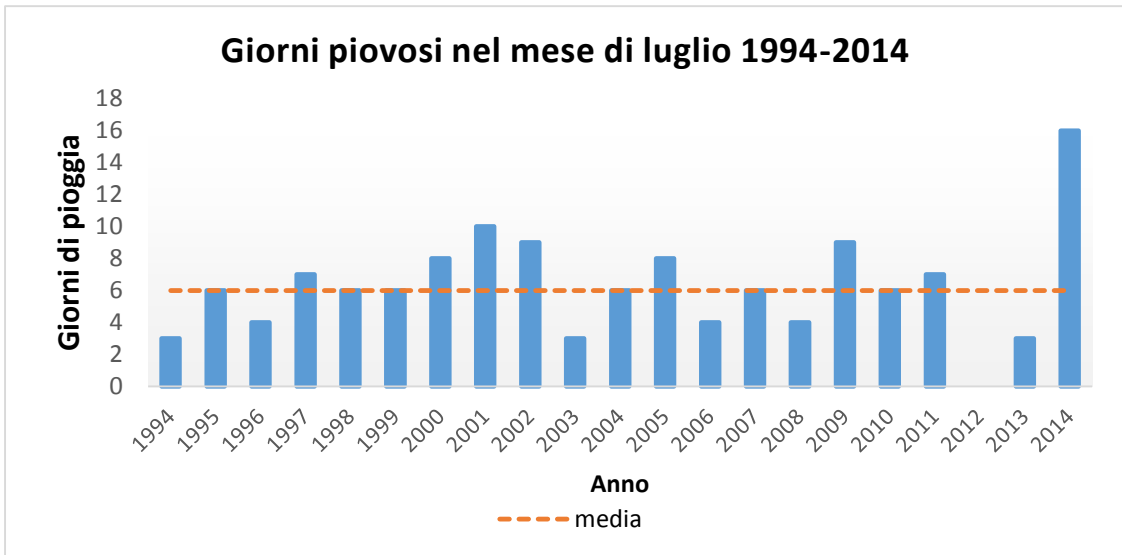
In questo capitolo vengono raggruppati tutti i dati raccolti e le analisi di questi, ma anche evidenziate le difficoltà emerse dalle metodologie applicate. Riassumendo, l'obiettivo fondamentale di questa tesi è l'analisi della capacità di trattenere e ridurre l'acqua di percolazione e deflusso di diversi sistemi a tetto verde estensivi. I dati ottenuti sono molto importanti in quanto ci permettono di valutare il peso al di sopra di una struttura e quindi il carico gravante sull'edificio, la capacità di laminazione ovvero di rallentare l'acqua diretta agli impianti di drenaggio in ambito urbano e quali specie vegetali si sviluppano meglio rispetto ad altre e come si accrescono su diversi tipi di substrato di coltivazione.

Per ottenere questi ed altri obiettivi ci si è focalizzati su:

- definizione dell'altezza di pioggia che determina l'inizio del deflusso ed il peso corrispondente di ogni combinazione analizzata di substrato di coltivazione più strato drenante (dati raccolti dalle prove di laboratorio con simulatore di pioggia);
- raccolta dei dati nel campo sperimentale, in particolar modo:
 - misura dell'acqua defluita dai diversi sistemi in seguito ad ogni evento di pioggia verificatosi durante il periodo di indagine;
 - analisi dei dati di peso diretto delle cassette per la valutazione dell'acqua accumulata;
 - rilievo della temperatura nel substrato di coltivazione;
 - analisi della copertura vegetale di ogni cassetta e valutazione sullo sviluppo e adattamento della diverse specie in funzione delle diverse condizioni.

Dai dati ARPAV possiamo ricavare i grafici dei giorni piovosi relativi alla stazione meteorologica di Legnaro (PD) ad Agripolis nel periodo 1994 – 2014 per i mesi di luglio – agosto e settembre evidenziando anche la media.

L'analisi dei giorni piovosi nel mese di luglio mostra come nel 2014 si siano verificati 15 giorni di precipitazioni, valore nettamente superiore a quello degli anni precedenti.



5.1. SIMULATORE DI PIOGGIA – DATI RACCOLTI E ANALISI

5.1.1. TEMPO DI RITORNO 30 ANNI

La prima prova realizzata fa riferimento ad un evento pluviometrico della durata di 10 minuti con tempo di ritorno (T_r) pari a 30 anni (altezza di pioggia di 30.2 mm, carico nel serbatoio pari a 12,7 cm). Il Fra le tipologie testate, quella composta da Zinco e Igroperlite si è rivelata la migliore in quanto è stata quella maggiormente in grado di accumulare acqua e di limitare il drenaggio anche in condizioni di saturazione.

Grafico 4 riporta l'altezza di pioggia (in mm) accumulata nella cassetta al variare del tempo nei 10 minuti di durata della prova. Si osserva come l'andamento, del tutto prevedibile, sia crescente e analogo a tutte le combinazioni saggiate, in seguito al continuo apporto di acqua che dovrebbe essere uguale per tutte le prove. In dieci minuti la quantità d'acqua è salita linearmente e con un incremento pari all'intensità di pioggia simulata arrivando a valori compresi fra 26.34 mm e 29.95 mm. Visto che deflusso d'acqua al di fuori della cassetta non si è verificato, le differenze tra le prove sono da attribuire a diverse quantità di acqua apportate dalla precipitazione e quindi a errori del simulatore di pioggia. Le differenze sono comunque contenute e si attestano su valori dell'ordine di 0.1-0.2 mm/min.

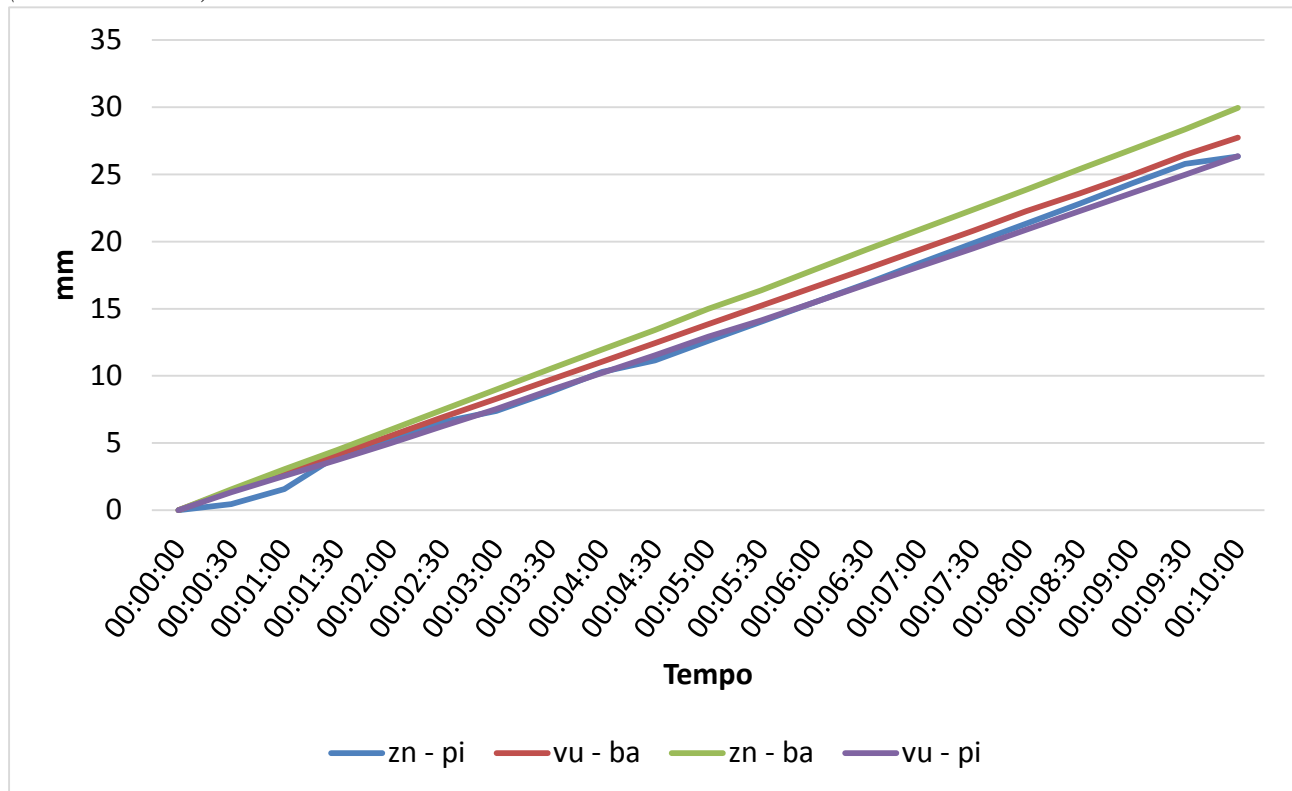
Visto che nei 10 minuti non si è osservato deflusso, la fase di scarico per le condizioni di substrato secco non è stata realizzata (tutta l'acqua è stata accumulata nei 4 sistemi analizzati). La prova è stata quindi prolungata fino al raggiungimento della condizione di saturazione per verificare la capacità massima di accumulo dei 4 sistemi. Dal minuto 18 nelle cassette con Vulcaflor – Igroperlite (VU-PI) e con ZinCo–Bauder (ZN-BA) l'acqua ha cominciato a defluire dal foro centrale determinando quindi un rallentamento dell'aumento di peso di queste cassette

L'andamento, invece, dell'accumulo di acqua negli altri due sistemi è risultato ancora crescente fino al raggiungimento del minuto 21 in cui anche Vulcaflor–Bauder e Zinco-Igroperlite hanno cominciato a far defluire acqua dal foro centrale.

Dal momento di raggiungimento della condizione di saturazione, la pioggia simulata è stata mantenuta costante per ulteriori 10 minuti, in modo da osservare come i diversi sistemi si comportassero in seguito al verificarsi di un evento piovoso con $T_r = 10$ anni in caso di substrato saturo.

Fra le tipologie testate, quella composta da Zinco e Igroperlite si è rivelata la migliore in quanto è stata quella maggiormente in grado di accumulare acqua e di limitare il drenaggio anche in condizioni di saturazione.

Grafico 4 Altezza di pioggia accumulata nelle cassette con Tr 30 anni nei primi 10 minuti di precipitazione (substrato secco)



Una considerazione va fatta, relativamente alle condizioni che si sono create durante la prova in riferimento alle piogge non perfettamente identiche per le singole combinazioni. Queste variazioni possono interferire sui dati finali condizionandone l'interpretazione e sono visibili nei dati riportati di seguito nella Tabella 9 sulla destra:

Tabella 9 Volume d'acqua accumulata nelle cassette nella prova con substrato asciutto (termine della prova al raggiungimento della saturazione) per l'evento con Tr di 30 anni

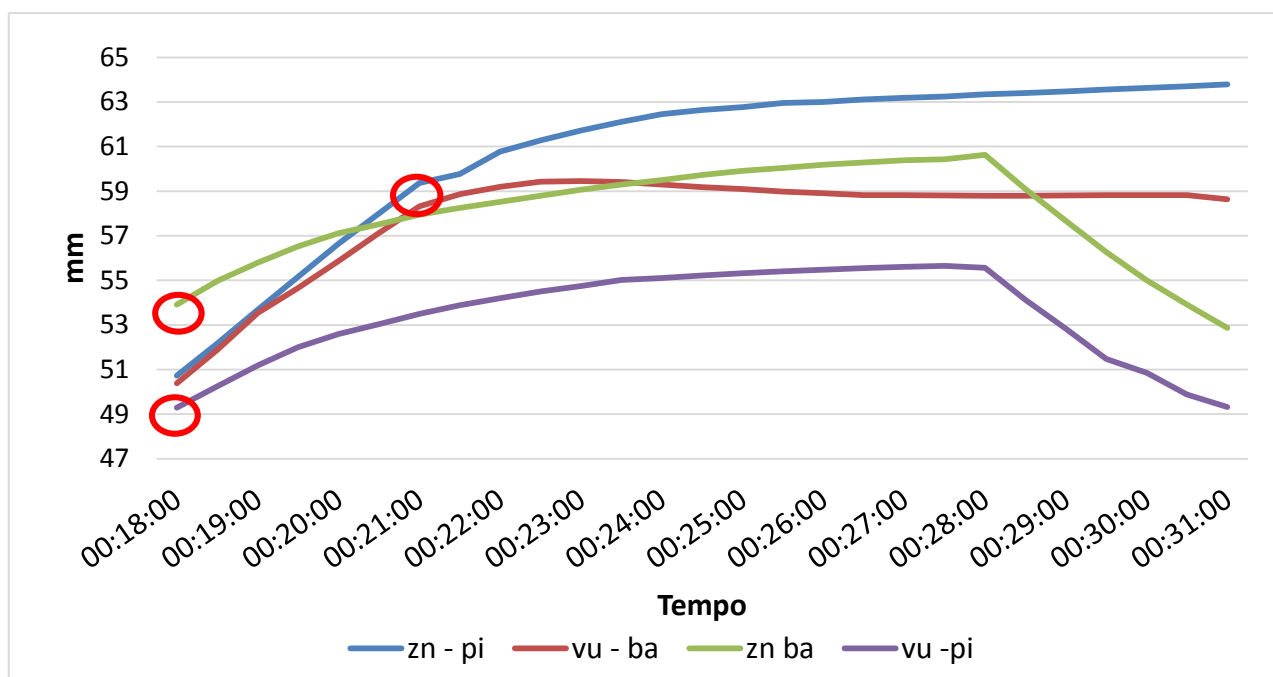
Prova Tr 30 anni con condizione di substrato secco				
	Volume d'acqua nella cassetta (l)			
Tempo	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
00:00:30	0,2	0,68	0,59	0,642
00:01:00	0,69	1,34	1,12	1,23
00:01:30	1,78	1,97	1,65	1,82
00:02:00	2,35	2,63	2,19	2,43
00:02:30	2,89	3,29	2,76	3,05
00:03:00	3,25	3,95	3,31	3,65
00:03:30	3,86	4,61	3,92	4,26
00:04:00	4,53	5,26	4,5	4,86
00:04:30	4,91	5,9	5,07	5,47
00:05:00	5,55	6,6	5,68	6,09
00:05:30	6,18	7,2	6,22	6,7
00:06:00	6,8	7,87	6,8	7,31
00:06:30	7,43	8,55	7,4	7,92
00:07:00	8,09	9,2	7,99	8,54
00:07:30	8,74	9,85	8,58	9,15
00:08:00	9,38	10,5	9,18	9,79
00:08:30	10,03	11,17	9,79	10,37
00:09:00	10,71	11,82	10,39	10,98
00:09:30	11,35	12,48	10,99	11,64
00:10:00	11,59	13,18	11,6	12,2
00:10:30	12,62	13,86	12,22	12,83
00:11:00	13,3	14,49	12,86	13,45
00:11:30	13,91	15,16	13,58	14,07
00:12:00	14,57	15,85	14,08	14,69
00:12:30	15,2	16,5	14,75	15,3
00:13:00	15,87	17,17	15,48	15,92
00:13:30	16,5	17,85	16	16,55
00:14:00	17,16	18,55	16,6	17,19
00:14:30	17,8	19,2	17,24	17,78
00:15:00	18,5	19,85	17,92	18,48
00:15:30	19,1	20,3	18,45	19,16
00:16:00	19,8	21,2	19,09	19,69
00:16:30	20,38	21,85	19,7	20,32
00:17:00	21,09	22,53	20,45	20,91
00:17:30	21,67	23,17	20,99	21,53
00:18:00	22,32	23,72	21,69	22,17
00:18:30	22,96			22,83
00:19:00	23,62			23,56
00:19:30	24,27			24,05
00:20:00	24,92			24,58
00:20:30	25,52			25,14
00:21:00	26,12			25,66

	: quantità a 10 minuti
	: inizio del deflusso

	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
Intensità media (mm/min)	2,8	2,9	2,7	2,7
Pioggia media in 10 min (mm)	28,1	29,1	26,6	27,1
Inizio deflusso (mm)	58,9	52,4	48,0	56,9

Il Grafico 5 mostra la differenza dei tempi necessari alla saturazione (inizio del deflusso) dei diversi substrati analizzati. Il grafico evidenzia un ritardo di 3 minuti fra l'inizio del deflusso di due combinazioni (ZN-BA e VU-PI) rispetto alle altre due (ZN-PI e VU-BA). L'interruzione di apporto di acqua è coincisa con i rispettivi 10 minuti successivi all'inizio del deflusso, per ciascuna prova.

Grafico 5 Altezza di pioggia (in mm) accumulata nelle cassette per le prove con substrato saturo ed evento di pioggia con Tr pari a 30 anni: l'inizio del deflusso nelle quattro combinazioni è evidenziato da un cerchio rosso.



Nel Grafico 6, che riassume l'andamento afflussi-deflussi per la prova con Tr 30 anni e substrato saturo, vengono riportati gli andamenti dell'altezza di pioggia accumulata nei quattro sistemi a partire dal momento di raggiungimento della condizione di saturazione (inizio del deflusso) fino al momento in cui è stata fatta terminare la precipitazione (10 minuti dopo l'inizio del deflusso). Se si analizza la quantità di acqua trattenuta in funzione del tempo (Grafico 6) si può vedere molto bene che nei sistemi ZN-PI, ZN-BA, VU-PI l'accumulo d'acqua prosegue anche dopo l'inizio del deflusso, mentre nel sistema VU-BA il peso massimo di acqua trattenuta viene raggiunto subito, nel momento in cui inizia a defluire acqua dal sistema. In quest'ultimo sistema, quindi, l'acqua all'interno della cassetta resta abbastanza costante per tutti i 10 minuti, mentre defluisce nella tanica di raccolta con una velocità pari a circa l'intensità di pioggia. Il sistema che combina il substrato fornito dalla ZinCo e il sistema di drenaggio della Perlite italiana si è rivelato essere quello che trattiene una maggior quantità di acqua, ma con un conseguente maggior peso del sistema a saturazione. Il Grafico 7 mostra, invece, l'andamento del deflusso nelle taniche da quando inizia la prova in condizioni di

saturazione sino a quando viene interrotto l'apporto d'acqua. Gli andamenti sono complementari alle linee di accumulo di acqua del Grafico 6. Mostrano quindi il raggiungimento della massima pendenza in corrispondenza alla massima intensità di deflusso (pari all'intensità di pioggia che si sta simulando) in tempi diversi.

Grafico 6 Comparazione afflussi-deflussi al minuto 0 di tutti e quattro i sistemi con Tr 30 anni

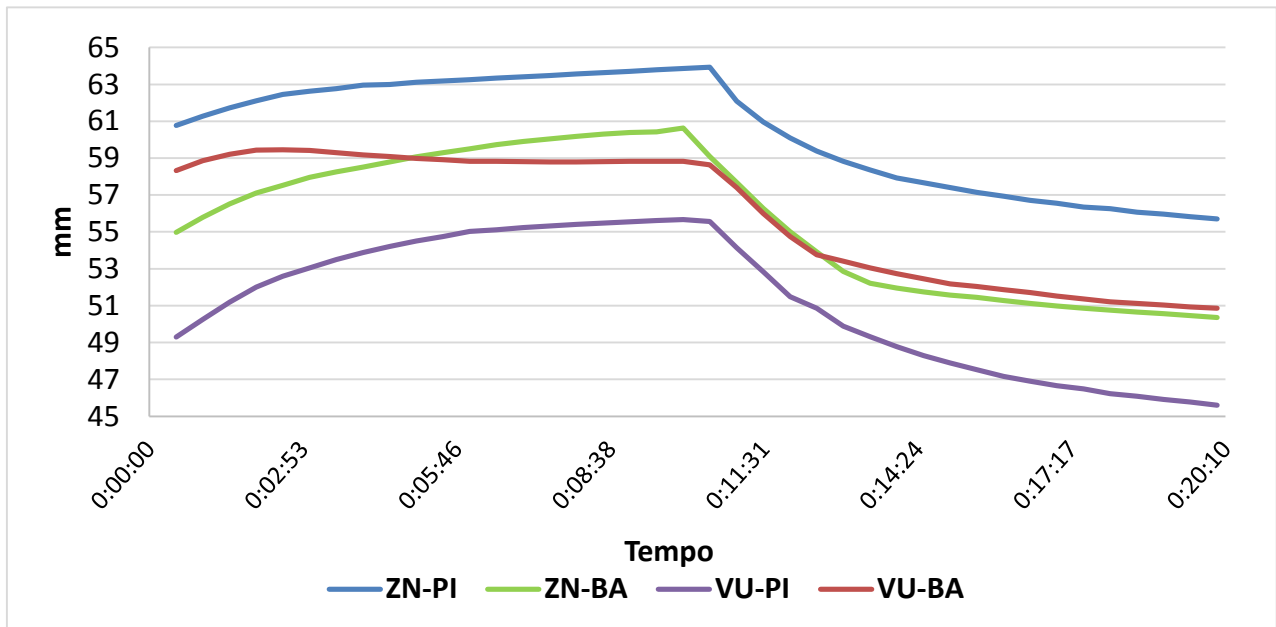
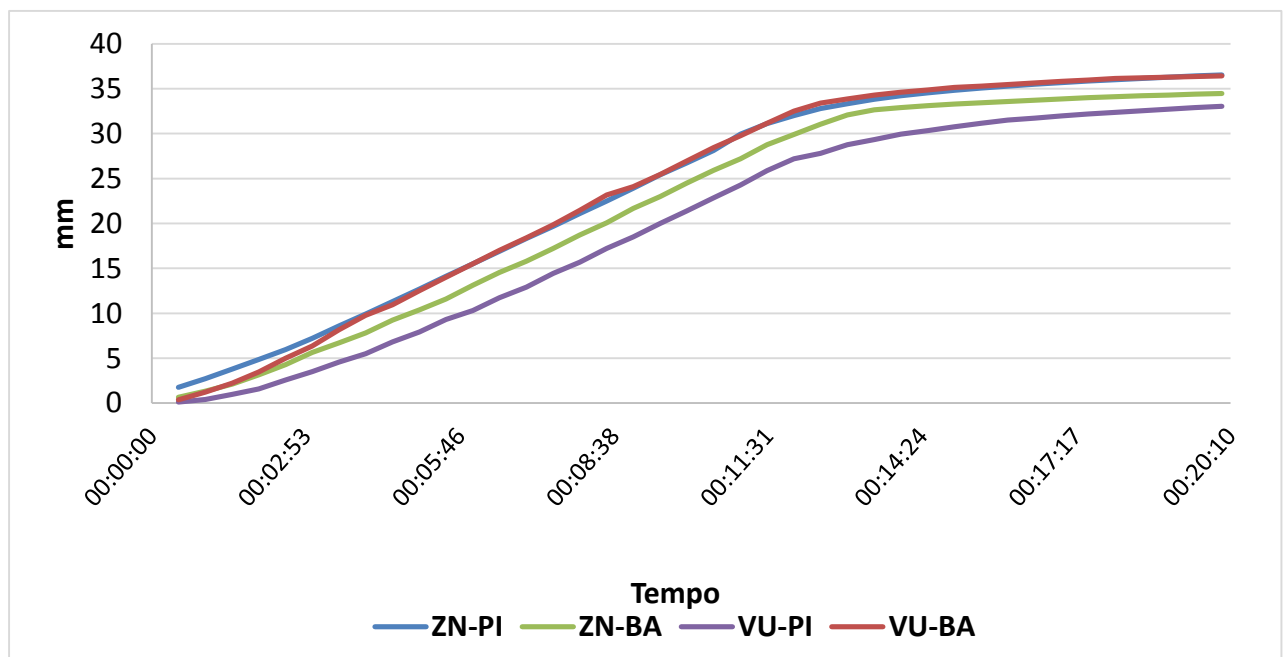


Grafico 7 Quantità d'acqua accumulata nelle diverse taniche nel tempo, in condizioni di saturazione, in fase di carico (primi 10 minuti) e in fase di scarico con Tr 30 anni



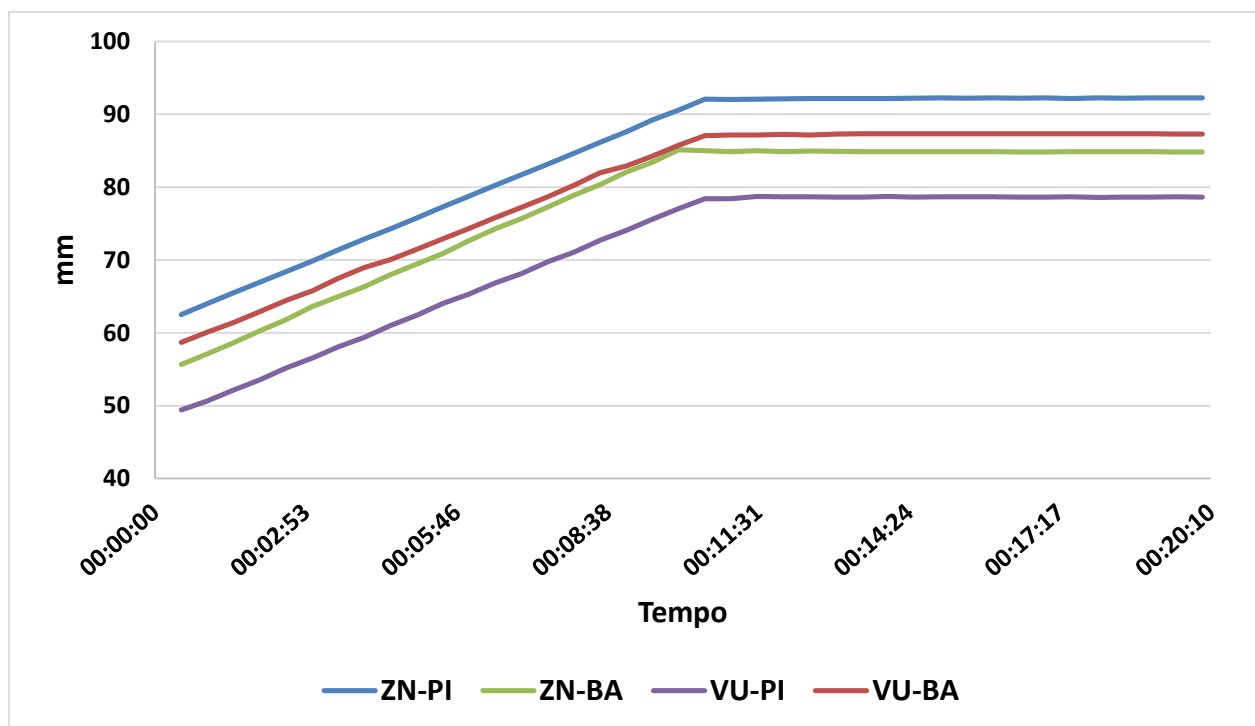
Nella Tabella 10 a sinistra vengono confrontati i volumi nelle taniche evidenziando il momento in cui si interrompe l'apporto di acqua con il simulatore (a 10 minuti). A destra vengono evidenziati invece i valori totali (volume dell'acqua nella tanica più il volume dell'acqua nel substrato) che corrispondono quindi alla pioggia totale cumulata simulata durante la prova.

Tabella 10 Volume di acqua nelle taniche e quantità totale dall'inizio della prova con Tr di 30 anni

Tempo	Volume acqua tanica (l)					Volume di acqua totale (l)			
	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA		ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
00:00:30	0,77	0,29	0,05	0,16		27,51	24,48	21,74	25,82
00:01:00	1,2	0,58	0,18	0,54		28,16	25,13	22,29	26,44
00:01:30	1,66	0,93	0,43	0,97		28,82	25,8	22,95	27,02
00:02:00	2,13	1,39	0,69	1,53		29,46	26,52	23,57	27,68
00:02:30	2,62	1,88	1,14	2,20		30,1	27,19	24,28	28,36
00:03:00	3,17	2,48	1,54	2,79		30,73	27,98	24,88	28,93
00:03:30	3,78	2,96	2,01	3,60		31,4	28,592	25,55	29,69
00:04:00	4,37	3,44	2,42	4,30		32,07	29,19	26,13	30,338
00:04:30	4,97	4,06	3,00	4,82		32,69	29,93	26,85	30,82
00:05:00	5,58	4,57	3,49	5,50		33,35	30,56	27,47	31,452
00:05:30	6,22	5,1	4,09	6,16		34,02	31,19	28,18	32,082
00:06:00	6,82	5,78	4,54	6,83		34,65	31,96	28,75	32,71
00:06:30	7,44	6,4	5,16	7,48		35,31	32,68	29,41	33,36
00:07:00	8,06	6,95	5,68	8,10		35,96	33,31	29,98	33,978
00:07:30	8,66	7,58	6,35	8,74		36,59	34	30,69	34,612
00:08:00	9,28	8,23	6,90	9,45		37,25	34,71	31,28	35,32
00:08:30	9,9	8,83	7,58	10,20		37,9	35,36	31,99	36,074
00:09:00	10,52	9,53	8,14	10,60		38,55	36,1	32,58	36,48
00:09:30	11,18	10,12	8,80	11,20		39,25	36,71	33,27	37,08
00:10:00	11,76	10,78	9,41	11,85		39,86	37,46	33,9	37,73
00:10:30	12,38	11,4	10,05	12,51		40,51	37,4	34,5	38,31
00:11:00	13,18	11,96	10,68	13,09		40,5	37,34	34,5	38,35
00:11:30	13,69	12,65	11,39	13,70		40,51	37,41	34,64	38,34
00:12:00	14,09	13,15	11,96	14,30		40,53	37,35	34,61	38,39
00:12:30	14,42	13,66	12,24	14,70		40,55	37,38	34,62	38,35
00:13:00	14,67	14,11	12,65	14,90		40,55	37,37	34,6	38,4
00:13:30	14,88	14,37	12,90	15,08		40,56	37,34	34,6	38,42
00:14:00	15,06	14,48	13,17	15,22		40,55	37,34	34,63	38,42
00:14:30	15,2	14,57	13,35	15,34		40,57	37,34	34,6	38,42
00:15:00	15,32	14,65	13,54	15,46		40,58	37,34	34,61	38,42
00:15:30	15,43	14,71	13,70	15,52		40,57	37,35	34,61	38,42
00:16:00	15,53	14,78	13,86	15,61		40,58	37,34	34,61	38,43
00:16:30	15,62	14,84	13,96	15,68		40,57	37,33	34,6	38,43
00:17:00	15,7	14,9	14,07	15,76		40,58	37,33	34,6	38,43
00:17:30	15,77	14,96	14,16	15,82		40,56	37,34	34,61	38,42
00:18:00	15,84	15	14,24	15,90		40,59	37,333	34,58	38,43
00:18:30	15,9	15,05	14,32	15,94		40,57	37,34	34,6	38,43
00:19:00	15,96	15,09	14,40	15,97		40,58	37,34	34,6	38,426
00:19:30	16,02	15,13	14,47	16,00		40,58	37,33	34,61	38,41
00:20:00	16,07	15,17	14,53	16,03		40,58	37,33	34,59	38,41
Velocità drenaggio in fase di carico (mm/min)	2,5	2,4	2,1	2,7	Intensità media (mm/min)	2,8	3,0	2,8	2,7
Velocità drenaggio in fase di scarico (mm/min)	0,8	0,9	1,0	0,8	Pioggia in 10 min (mm)	28,1	29,5	27,6	27,1

Il Grafico 8 ne mostra l'andamento analogo della pioggia cumulata per tutti e quattro i sistemi (stessa pioggia simulata), tranne per la quantità d'acqua iniziale che varia a seconda della capacità di accumulo dei diversi sistemi. Ancora una volta si evidenzia come, pur avendo tarato lo strumento, vi possano essere delle differenze, seppur minime, fra una prova e l'altra (valori in Tabella 10). L'intensità media di pioggia, calcolata per dieci minuti della fase di carico, varia di massimo 0.3 mm/min, conseguentemente le piogge totali dei 10 minuti mostrano delle differenze, discostandosi al massimo del 10% dal valore di pioggia che si voleva simulare. La velocità di drenaggio in fase di carico fa riferimento ai valori di acqua accumulata nelle taniche nell'intervallo di tempo che va dall'inizio della prova a saturazione (momento in cui inizia a defluire acqua nella tanica) sino al momento in cui si è interrotto l'apporto d'acqua (10 minuti dopo). La velocità di drenaggio in fase di scarico, invece, analizza i valori dal momento successivo all'interruzione dell'acqua apportata sino alla fine della prova. I valori della velocità di drenaggio in fase di carico si avvicinano, ed in un caso raggiungono, i valori dell'intensità media (mm/min) di pioggia. Questo significa che l'effetto di laminazione del sistema viene meno, in quanto tutta l'acqua che cade su di esso raggiunge la rete di drenaggio con una velocità pari all'intensità dell'apporto

Grafico 8 Volume totale ottenuto dalla somma dei mm delle taniche ed i mm delle cassette con Tr 30 anni



5.1.2. TEMPO DI RITORNO 2 ANNI

Nella seconda prova l'evento di pioggia considerato è quello relativo al tempo di ritorno di 2 anni con una altezza di pioggia di 16.8 mm (carico nel serbatoio pari a 5,3 cm).

La prova è iniziata con substrato già saturo d'acqua; non è stata realizzata la prova per il substrato secco in quanto per la precipitazione con tempo di ritorno pari a 30 anni tutta la pioggia si è accumulata nei 4 sistemi, quindi lo stesso sarebbe avvenuto per la prova con pioggia con tempo di ritorno pari a 2 anni. La *Tabella 11* mostra, come nel caso precedente, il volume delle taniche per i vari sistemi sulla sinistra ed il volume totale sulla destra. In azzurro si sono evidenziati i momenti di interruzione dell'apporto di acqua (10 minuti dopo l'inizio del deflusso).

Tabella 11 Confronto fra il volume d'acqua accumulato nelle taniche e il volume totale d'acqua apportato ai quattro sistemi dall'inizio della prova per l'evento con Tr di 2 anni (il peso totale include l'acqua accumulata dal sistema da quando questo era secco fino a quando ha raggiunto la saturazione).

Tempo	Volume acqua tanica (l)					Volume acqua totale (l)			
	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA		ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
00:00:30	0,18	0,01	0,04	0,13		26,69	22,76	21,52	24,150
00:01:00	0,36	0,06	0,15	0,29		27	22,98	21,78	24,428
00:01:30	0,58	0,19	0,27	0,48		27,34	23,28	22,12	24,720
00:02:00	0,83	0,34	0,41	0,70		27,67	23,58	22,47	25,000
00:02:30	1,1	0,49	0,57	0,93		28	23,86	22,79	25,296
00:03:00	1,4	0,66	0,79	1,17		28,36	24,15	23,17	25,572
00:03:30	1,72	0,85	1,2	1,41		28,71	24,43	23,72	25,840
00:04:00	2,04	1,03	1,27	1,69		29,05	24,72	23,89	26,132
00:04:30	2,37	1,24	1,53	1,96		29,4	25,01	24,23	26,412
00:05:00	2,7	1,46	1,8	2,24		29,74	25,29	24,55	26,692
00:05:30	3,03	1,71	2,07	2,52		30,08	25,6	24,86	26,952
00:06:00	3,36	1,96	2,36	2,78		30,44	25,89	25,18	27,238
00:06:30	3,69	2,2	2,65	3,01		30,776	26,17	25,49	27,466
00:07:00	4,04	2,46	2,91	3,28		31,128	26,46	25,78	27,724
00:07:30	4,37	2,72	3,21	3,53		31,46	26,74	26,1	27,984
00:08:00	4,7	2,97	3,47	3,78		31,788	27	26,37	28,236
00:08:30	5,05	3,23	3,74	4,00		32,136	27,28	26,66	28,470
00:09:00	5,34	3,48	4,07	4,28		32,414	27,54	27	28,750
00:09:30	5,68	3,74	4,34	4,55		32,75	27,83	27,29	29,000
00:10:00	5,99	4	4,63	4,79		33,062	27,85	27,58	29,270
00:10:30	6,3	4,21	4,87	5,06		33,13	27,84	27,83	29,540
00:11:00	6,61	4,47	5,23	5,28		33,14	27,82	28,19	29,760
00:11:30	6,88	4,57	5,49	5,57		33,13	27,77	28,45	30,050
00:12:00	7,11	4,66	5,74	6,04		33,13	27,86	28,4	30,460
00:12:30	7,32	4,77	5,99	6,10		33,14	27,82	28,38	30,170
00:13:00	7,49	4,84	6,21	6,28		33,14	27,84	28,33	30,230
00:13:30	7,65	4,93	6,41	6,49		33,15	27,84	28,29	30,240
00:14:00	7,78	4,98	6,58	6,67		33,14	27,84	27,91	30,240
00:14:30	7,9	5,05	6,74	6,83		33,15	27,74	28,2	30,240
00:15:00	8,03	5,11	6,87	6,97		33,15	27,84	28,16	30,240
00:15:30	8,1	5,2	7,04	7,09		33,14	27,89	28,17	30,230
00:16:00	8,18	5,23	7,11	7,19		33,158	27,83	28,1	30,252
00:16:30	8,26	5,27	7,21	7,27		33,15	27,8	28,01	30,256
00:17:00	8,34	5,31	7,31	7,34		33,164	27,83	28,06	30,252
00:17:30	8,4	5,3	7,39	7,41		33,16	27,7	28,04	30,260
00:18:00	8,46	5,39	7,48	7,48		33,162	27,82	28,03	30,260
00:18:30	8,51	5,42	7,55	7,54		33,16	27,81	28,01	30,260
00:19:00	8,57	5,46	7,61	7,59		33,16	27,82	27,99	30,254
00:19:30	8,61	5,48		7,65		33,158	27,81		30,268
00:20:00	8,66					33,203			
Velocità drenaggio in fase di carico (mm/min)	1,3	0,9	1,1	1,1	Intensità media (mm/min)	1,4	1,2	1,4	1,2
Velocità drenaggio in fase di scarico (mm/min)	0,6	0,3	0,7	0,7	Pioggia in 10 min (mm)	14,5	11,6	13,8	11,6

Anche in questa prova si notano alcuni errori da parte del simulatore di pioggia, che sono in media dell'ordine del 24 % (discostamento massimo del 31 %) dal valore di pioggia che si intendeva simulare (16.8 mm). Questi errori, che potrebbero essere stati dovuti ad una parziale ostruzione dei fori degli aghi dovuta a polvere o calcare e a errori umani commessi dall'operatore nella fase di mantenimento del carico costante, hanno portato alla simulazione di un quantitativo di pioggia inferiore a quello aspettato. Le prove sono comunque tra di loro abbastanza confrontabili in quanto si discostano al massimo del 12 % dal valore medio di 12.9 mm che corrisponderebbe quindi a una pioggia con tempo di ritorno pari a 1.2 anni.

Anche in questo caso i valori di velocità in fase di carico erano prossimi ai valori dell'intensità media. L'intensità di pioggia differente, influenza anche la quantità di acqua che defluisce rispetto alla prova precedente. I diversi sistemi si comportano in modo simile tranne nel caso dello ZN-BA dove la quantità d'acqua defluita in fase di scarico, ovvero senza l'apporto di acqua dal simulatore, è minima, in quanto il sistema mantiene al suo interno quasi tutta l'acqua accumulata (Grafico 9).

Grafico 9 Andamento del deflusso in fase di scarico all'interno delle taniche per la prova di simulazione dell'evento con Tr 2 anni e con terreno già saturo

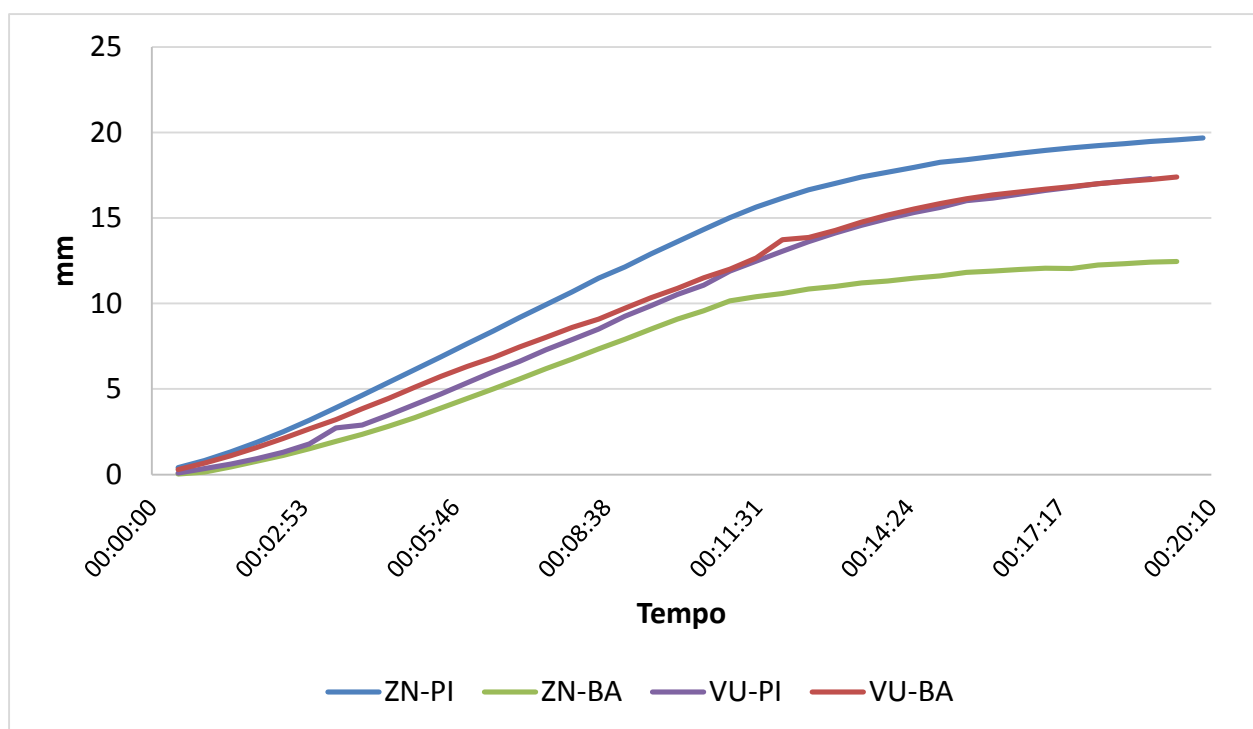


Tabella 12 Comparazione dei pesi fra vari sistemi saturi

Peso cassette complete sature con Tr 30 anni (kg)		Peso (in kg) riferito a una copertura equivalente e di superficie pari a 1m ²
ZN-BA	73,845	167,83
VU-BA	72,237	164,18
ZN-PI	78,270	177,89
VU-PI	75,212	170,94
Peso cassette complete sature con Tr 2 anni (kg)		
ZN-BA	71,015	161,40
VU-BA	72,227	164,15
ZN-PI	77,212	175,48
VU-PI	73,672	167,44

La Tabella 12 riassume i valori totali delle cassette complete con i substrati saturi sino al momento in cui l'acqua ha iniziato a defluire ad ogni evento simulato e per ogni sistema riprodotto (senza vegetazione). La tabella mostra che i pesi raggiunti dai vari sistemi a saturazione sono leggermente diversi se si confrontano i dati per la prova con simulazione dell'evento trentennale con quella dell'evento biennale. In entrambi i casi si osserva comunque che il peso maggiore viene sempre raggiunto dal sistema ZN-PI (in media pari a 176.7 kg/m²), seguito dal sistema VU-PI (in media pari a 169.2 kg/m²) e poi dai sistemi ZN-BA e VU-BA che presentano pesi simili (entrambi in media pari a circa 165.8 kg/m²)

Come evidenziato più volte nelle simulazioni precedenti, il sistema ZN-PI presenta un peso maggiore principalmente a causa di una maggior capacità di trattenere acqua. Dai risultati, la maggior capacità di accumulo dell'acqua sembra da imputare principalmente al substrato di accumulo e drenaggio di Perlite Italiana che da questo punto di vista risulta più efficiente di quello fornito da Bauder.

I sistemi VU-BA e ZN-BA sono, invece, risultati peggiori dal punto di vista della trattenuta e dell'accumulo di acqua, anche se dal punto di vista del peso sono risultati i più leggeri e quindi quelli che gravano meno sulla tetto in cui verrebbero installati

Per verificare quale dei sistemi risulta il migliore in termini di trattenuta in funzione del peso si può calcolare un indice definito come: indice di efficienza espresso in litri di acqua su chilo di sistema. Partendo dal rapporto:

$$\text{peso d'acqua trattenuta massima} / \text{peso del sistema secco}$$

si ottiene un indice molto utile nel fornire un dato più preciso rispetto al valore dell'altezza di pioggia misurata. Il sistema con il valore più alto indica la tipologia di microcosmo più efficiente dal punto di vista della trattenuta in funzione del peso.

Tabella 13 Indice di efficienza per i valori con Tr pari a 30 anni

Tr 30	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
indice efficienza	0,56	0,57	0,48	0,54

Tabella 14 Indice di efficienza per i valori con Tr pari a 2 anni

Tr 2	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
indice efficienza	0,54	0,51	0,45	0,51

Tabella 15 Indice di efficienza ricavato dalla media dei valori di Tr 30 e Tr 2 anni

	ZN-PI	ZN-BA	VU-PI	VU-BA
indice di efficienza medio (l/kg)	0,55	0,54	0,47	0,53

L'indice di efficienza maggiore lo si ricava dalla media dei due valori ottenuti dal valore massimo di acqua trattenuta dal sistema saturo con tr di 30 anni e tr 2 anni ed in particolare fa riferimento al sistema ZN – PI (0,55 l/kg), a seguire ZN-BA, VU-BA e per ultimo VU-PI (Tabella 15) che ha sempre evidenziato una minor altezza di acqua nel sistema rispetto agli altri. Il valore dell'indice risulta più elevato nel caso dei soli pesi registrati per la prova con tr 30 anni, e questo aumento si osserva in particolare per le tipologie di sistemi con Bauder in cui si osserva un aumento, tra la prova con tr 2 anni a quella con tr 30 anni, del 10 % (nel caso di ZN-BA), mentre per gli altri sistemi le differenze tra i due tr sono dell'ordine del 3-5% (Tabella 13 e Tabella 14).

5.2. SONDE DI UMIDITA' – DATI RACCOLTI E ANALISI

Le sonde utilizzate nella prova, permettono di calcolare l'umidità nel substrato (m^3/m^3 , metri cubi di acqua su metro cubo di substrato) e la temperatura ($^{\circ}C$). L'analisi di quest'ultima verrà descritta successivamente. Le sonde sono impostate per registrare nel datalogger un dato ogni 10 minuti. I dati sono stati scaricati ogni settimana e permettono di analizzare come la temperatura e l'umidità varia all'interno di ciascun strato di coltivazione in 12 cassette (1 blocco). Da questa analisi è stato escluso il testimone con la ghiaia.

Per la valutazione delle perdite d'acqua per evapotraspirazione è essenziale conoscere la quantità di acqua all'interno dei substrati. Ci siamo quindi chiesti se è possibile individuare la quantità di acqua in l/m^3 presente in ciascuna cassetta utilizzando le sonde poste al loro interno. Per analizzare questo è stato nuovamente utilizzato il simulatore di pioggia. Lo strumento è stato utilizzato per simulare un evento piovoso sul solo strato colturale

Sono stati quindi inseriti, in una cassetta vuota, $0,0528 m^3$ di substrato di coltivazione (due cassette utilizzate, una riempita con substrato Vulcaflor e l'altra con substrato Zinco). Sono state inserite due sonde ai lati opposti della cassetta ad una profondità di 6 cm (stessa profondità delle sonde utilizzate nella prova in campo, pari a metà della profondità dello strato colturale. (Figura 75). Il simulatore di pioggia è stato tarato nuovamente per un tempo di ritorno pari a 30 anni (altezza di pioggia pari a 30.2 mm, carico di 12,7 cm). Alla base, fra il substrato e il fondo della cassetta è stato posto del tessuto-non tessuto, strato filtrante, per evitare che il terreno scendesse nel sifone di scarico. Analogamente alle prove descritte in precedenza, il peso della cassetta e della tanica che raccoglie l'acqua drenata sono stati misurati in modo da conoscere esattamente l'acqua all'interno della cassetta in ogni istante considerato. Le sonde una volta inserite sono state tarate per una lettura dei dati ad ogni minuto. Anche in questo caso è stato simulato un evento di pioggia della durata di 10 minuti. Il contenuto d'acqua nella cassetta è stato pesato ad intervalli regolari di 1 minuto per circa 50 minuti dall'inizio dell'evento di pioggia simulata. Nei 10 giorni successivi si è continuata a misurare la variazione di umidità del substrato e il contenuto d'acqua preciso è stato nuovamente misurato tramite 5 pesate successive. Una volta conclusa la prova i dati sono stati tutti scaricati dal datalogger delle sonde al computer.

La prima osservazione riguarda sicuramente il momento in cui l'acqua ha iniziato a defluire dal foro centrale della cassetta (2 cm di diametro). Se nel caso precedente, con la presenza dello strato drenante, l'inizio del deflusso si è attestato fra 18 e 20 minuti dall'inizio dell'evento in questo caso

invece il deflusso è iniziato dopo 17 minuti in un caso (ZinCo) e dopo 13 minuti nel secondo (Vulcaflor). Il sistema di drenaggio aiuta sicuramente nell'accumulare e drenare l'acqua così come svolge molto bene quest'ultima funzione lo strato di protezione e accumulo. In termini di tempo, si assiste quindi ad una lieve differenza fra il solo substrato e la combinazione di tutti gli strati del sistema.

Un altro fatto emerso durante questa prova riguarda come il comportamento dei due tipi di substrato in assenza di strato drenante, quindi con meno volume ed una diversa allocazione dell'acqua nello spazio. Se il Vulcaflor non ha evidenziato problemi di drenaggio, il substrato della ZinCo, invece, ha mostrato una maggior lentezza nel far infiltrare l'acqua in profondità e nel permettere il suo drenaggio al di fuori del sistema, creando quindi delle zone di ristagno superficiale (Figura 76). Le cause possono essere dovute alle particolari caratteristiche fisiche del terreno, alla mancanza dello strato drenante e/o alla compattazione del substrato in profondità che hanno comportato una riduzione della capacità di deflusso.



Figura 75 Terreno ZinCO con sonde di temperatura e umidità durante la prova con il simulatore di pioggia



Figura 76 Difficoltà nell'infiltrazione dell'acqua al di sopra del substrato ZinCo in assenza dello strato drenante

Tabella 16 Volume d'acqua accumulato sul solo substrato Vulcaflor misurato per pesatura e misurato attraverso l'utilizzo delle sonde di umidità (in azzurro è evidenziato il momento in cui è stato interrotto l'apporto di acqua)

Tempo (min)	Misura realizzata per pesatura	Misura realizzata con sonde di umidità		scostamento medio (%)
	Volume d'acqua accumulato nel substrato (l)	Unità media m ³ /m ³ VWC	Volume d'acqua accumulato nel substrato (l)	
00:01:00	1,27	-0,01514		
00:02:00	2,53	-0,01541		
00:03:00	4,01	-0,01541		
00:04:00	5,1	-0,01541		
00:05:00	6,4	-0,01541		
00:06:00	7,74	-0,01541		
00:07:00	8,93	-0,01541		
00:08:00	10,21	-0,01430		
00:09:00	11,49	-0,01514		
00:10:00	13	-0,01458		
00:11:00	14,06	-0,01458		
00:12:00	15	-0,01430		
00:13:00	16,46	-0,01347		
00:14:00	17,3	0,00023	0,01	100%
00:15:00	18,13	0,04468	2,36	87%
00:16:00	18,95	0,09758	5,15	73%
00:17:00	19,88	0,12010	6,34	68%
00:18:00	20,73	0,13453	7,10	66%
00:19:00	20,34	0,14265	7,53	63%
00:20:00	19,97	0,14964	7,90	60%
00:21:00	19,67	0,15192	8,02	59%
00:22:00	19,38	0,15523	8,20	58%
00:23:00	19,13	0,16041	8,47	56%
00:24:00	18,9	0,16692	8,81	53%
00:25:00	18,67	0,16650	8,79	53%
00:26:00	18,47	0,16830	8,89	52%
00:27:00	18,3	0,15897	8,39	54%
00:28:00	18,12	0,13950	7,37	59%
00:29:00	17,96	0,12670	6,69	63%
00:30:00	17,8	0,12059	6,37	64%
00:31:00	17,66	0,11709	6,18	65%
00:32:00	17,52	0,11170	5,90	66%
00:33:00	17,41	0,10784	5,69	67%
00:34:00	17,28	0,10373	5,48	68%
00:35:00	17,16	0,10092	5,33	69%
00:36:00	16,99	0,09836	5,19	69%
00:37:00	16,59	0,09579	5,06	70%
00:38:00	16,88	0,09366	4,95	71%
00:39:00	16,79	0,09174	4,84	71%
00:40:00	16,71	0,08963	4,73	72%
00:41:00	16,62	0,08888	4,69	72%
00:42:00	16,56	0,08768	4,63	72%
00:43:00	16,49	0,08622	4,55	72%
00:44:00	16,45	0,08527	4,50	73%
00:45:00	16,35	0,08407	4,44	73%
00:46:00	16,29	0,08334	4,40	73%
00:47:00	16,23	0,08285	4,37	73%
00:48:00	16,17	0,08237	4,35	73%
00:49:00	16,12	0,08164	4,31	73%
4:00:00	10,16	0,06275	3,31	67%
22:30:00	9,864	0,05734	3,03	69%
27:30:00	9,746	0,05591	2,95	70%
96:10:00	71,53	0,04694	2,48	97%
191:10:00	70,29	0,03913	2,07	97%

Tabella 17 Volume d'acqua accumulato sul solo substrato ZinCo misurato per pesatura e misurato attraverso l'utilizzo delle sonde di umidità (in azzurro è evidenziato il momento in cui è stato interrotto l'apporto di acqua)

Tempo (min)	Misura realizzata per pesatura	Misura realizzata con sonde di umidità		scostamento medio (%)
	Volume d'acqua accumulato nel substrato (l)	Unità media m ³ /m ³ VWC	Volume d'acqua accumulato nel substrato (l)	
00:01:00	1,5	-0,02322		
00:02:00	2,56	-0,02322		
00:03:00	3,2	-0,02322		
00:04:00	5,19	-0,02322		
00:05:00	6,67	-0,02322		
00:06:00	7,75	-0,02322		
00:07:00	8,92	-0,02322		
00:08:00	10,32	-0,02015		
00:09:00	11,59	-0,00474		
00:10:00	12,89	0,01102		
00:11:00	14,29	0,01102		
00:12:00	15,46	0,01102		
00:13:00	16,66	0,01075		
00:14:00	18,07	0,01102		
00:15:00	19,55	0,01155		
00:16:00	20,72	0,01155		
00:17:00	21,96	0,01182	0,62	97%
00:18:00	23,49	0,01209	0,64	97%
00:19:00	24,17	0,01209	0,67	97%
00:20:00	25,2	0,01315	0,72	97%
00:21:00	26,39	0,01422	0,86	97%
00:22:00	27,27	0,01847	1,61	94%
00:23:00	26,59	0,04468	6,27	76%
00:24:00	26,63	0,17582	10,85	59%
00:25:00	26,36	0,23126	12,78	51%
00:26:00	26,05	0,25203	13,49	48%
00:27:00	25,82	0,25982	13,81	46%
00:28:00	25,57	0,26337	13,93	45%
00:29:00	25,34	0,26656	14,09	44%
00:30:00	25,05	0,27123	14,38	42%
00:31:00	24,75	0,28831	15,51	37%
00:32:00	24,69	0,36185	21,01	15%
00:33:00	24,56	0,40473	21,81	11%
00:34:00	24,4	0,41316	21,86	10%
00:35:00	24,27	0,41416	21,87	10%
00:36:00	24,13	0,41497	21,92	9%
00:37:00	24	0,41606	21,96	8%
00:38:00	23,9	0,41521	22,24	7%
00:39:00	23,9	0,42112	22,25	7%
00:40:00	23,7	0,42115	22,26	6%
00:41:00	23,61	0,42171	22,27	5%
00:42:00	23,51	0,42130	22,24	5%
00:43:00	23,4	0,42114	22,24	5%
00:44:00	23,35	0,42115	22,23	5%
00:45:00	23,26	0,42080	22,22	4%
00:46:00	23,2	0,42032	22,20	4%
00:47:00	23,08	0,42058	22,19	4%
00:48:00	22,92	0,41996	22,16	3%
00:49:00	22,89	0,41944	22,14	3%
00:50:00	22,85	0,41924	22,10	3%
00:51:00	22,76	0,41806	22,08	3%
4:00:00	22,70	0,41817	18,91	41%
22:30:00	22,03	0,25565	13,38	40%
27:30:00	21,90	0,24885	13,06	40%
96:10:00	21,02	0,24802	12,83	41%
191:10:00	19,65	0,23409	11,92	42%

Le Tabella 16 e 17 riportano i dati relativi all'accumulo di acqua nei due substrati, prima ed in seguito all'interruzione dell'apporto d'acqua tramite il simulatore. Per poter confrontare i dati si è proceduto a calcolare il volume d'acqua accumulato in litri partendo dal valore di umidità misurato dalle sonde. Il valore di umidità dalle sonde (m^3/m^3) riportato in tabella è il valore medio registrato dalle due sonde ed è stato trasformato in litri d'acqua accumulata moltiplicandolo per il volume totale del substrato.

Il valore di scostamento medio rispetto al volume di acqua reale all'interno della cassetta (misurato per pesatura) è dato dalla differenza tra il volume d'acqua accumulato nel substrato meno il volume d'acqua ricavato dalla misura delle sonde, il tutto rapportato al volume d'acqua accumulato nel substrato (misurato per pesatura e quindi pari al volume d'acqua reale presente nella cassetta).

Analizzando i dati si nota sicuramente come non sia possibile calcolare il quantitativo di acqua presente all'interno del substrato Vulcaflor per la particolarità del substrato stesso, ovvero alla capacità di far defluire velocemente l'acqua e alla macro e microporosità accentuata che compromettono il perfetto funzionamento delle sonde.

Nel substrato della ZinCo (Tabella 17), invece, lo scostamento percentuale tra contenuto d'acqua reale e contenuto d'acqua misurato dalle sonde diminuisce visibilmente, sino a valori prossimi allo zero dopo un tempo di 50 minuti dall'inizio della pioggia (equivalenti a 40 minuti dal termine della pioggia). Le sonde riescono quindi a funzionare in modo migliore in questa tipologia di substrato e a fornire valori che si avvicinano alla realtà quando il substrato è saturo.

Ciò che accade nei 5 rilievi condotti a distanza di qualche ora e fino a 10 giorni dopo, mostra che lo scostamento torna ad aumentare con l'aumentare del tempo nonostante il quantitativo di umidità all'interno del volume di substrato si sia abbassato e si possa pensare che possa essersi uniformato rispetto alle fasi iniziali. Il substrato con lapillo vulcanico presenta valori di scostamento molto prossimi ai valori da saturo (tranne negli ultimi giorni). Il substrato della ZinCo "roccia fiorita" evidenzia invece uno scostamento sin da pochi giorni dopo la prima prova, ma con valori che non superano il 42 % (nei 10 giorni successivi) a dimostrazione che l'umidità in questo caso è meglio distribuita rispetto al substrato a base di lapillo.

La differenza dei valori percentuali fra le due sonde inserite nello stesso substrato, nel caso del substrato ZinCo è stato mediamente del 8 % (valore massimo pari a 26 %). Nel substrato con lapillo il valore massimo di scostamento fra le due sonde si è invece rivelato pari a 14 % (valore massimo

pari a 30 %). Questi valori dimostrano nuovamente il diverso comportamento dei due substrati: il substrato ZinCo distribuisce in modo più omogeneo l'umidità rispetto al Vulcaflor.

Questa prova, pur non evidenziando i risultati sperati (definizione di una relazione efficace tra umidità registrata dalla sonda e contenuto reale di acqua), ci ha comunque permesso di identificare il campo di applicazione dei dati delle sonde di umidità. Infatti, se per il Vulcaflor non è possibile identificare il contenuto d'acqua a partire dall'umidità del substrato, per il substrato ZinCo è possibile nel caso in cui l'acqua sia distribuita in modo omogeneo nel substrato stesso (quindi non durante l'evento di pioggia, ma nelle fasi successive).

Altra possibilità per ottenere una buona misura del contenuto d'acqua nel substrato Zinco potrebbe essere quella di inserire più sonde a diversi livelli di profondità in modo da cogliere la disomogeneità verticale del contenuto d'acqua e quindi raggiungere stime del contenuto idrico più accurate.

Le prove con solo substrato hanno inoltre permesso di evidenziare alcune situazioni di criticità verificatesi anche nella prova in campo in assenza di vegetazione in seguito ad un evento meteorico di forte intensità registrato fra il 28 e il 29 aprile 2014 (altezza di pioggia in 48 ore pari a 86 mm). Nella Figura 77 si nota come i due substrati, indipendentemente dal tipo di drenaggio, gestiscano in modo differente gli eventi meteorici intensi in assenza di copertura vegetale.

Sicuramente il substrato della ZinCo, pesa maggiormente da umido e trattiene più acqua (quasi 15 kg/m² in più rispetto al Vulcaflor) e per più tempo, ma con una più lenta velocità di percolazione. Particolare attenzione andrà posta in sede di progettazione, in merito ai carichi gravanti sulla copertura degli edifici.



Figura 77 Difficoltà di infiltrazione dell'acqua nel substrato ZinCo a differenza del substrato dell'Europomice in seguito ad un evento di

5.3. DEFLUSSI DI PIOGGIA – DATI RACCOLTI E ANALISI

Una volta raccolti tutti i dati si sono ottenuti i valori medi per singolo sistema (drenaggio – substrato – miscuglio). In totale, dall’inizio della prova, su 82 giorni ha piovuto 44 che, in questa sede, vengono sintetizzati in 17 rilievi. I valori sono stati trasformati in litri per metro quadro dividendo il valore raccolto per 0,44 (area della cassetta). Sono stati sommati i valori di ogni singolo rilievo e sono stati ricavati valori totali dei deflussi, espressi in l/m^2 . Da una prima analisi, emerge sicuramente un dato interessante, ovvero che le cassette che presentavano una copertura a *Sedum*, indipendentemente dal tipo di substrato e/o drenaggio hanno rilasciato una quantità maggiore rispetto a tutte le altre. Questo è dovuto alle caratteristiche proprie di queste specie compresa una crescita più lenta del miscuglio A (*Sedum*) (Grafico 14) rispetto agli altri come evidenziato nel paragrafo 5.6. Lo stesso andamento lo si può notare per il miscuglio B (erbacee) e per ultimo il C (suffruticose) che hanno rilasciato sempre un quantitativo inferiore di acqua rispetto al miscuglio A (Grafico 12). Il periodo preso come riferimento è denominato “periodo estivo” va dall’inizio della prova quando sono stati raccolti i primi dati sui deflussi (20/6) siano alla fine del periodo di raccolta (10/9). Questo range di tempo è stato preso come campione per l’analisi statistica oltre ai grafici già visti precedentemente.

Nel Grafico 10 sono riportati i deflussi cumulati espressi come mm totali delle tesi avvenuti nel periodo considerato, oltre ai valori cumulati dai testimoni con ghiaia e le precipitazioni ricavate dai dati ARPAV. Emerge chiaramente come i sistemi con *Sedum* - Vulcaflor - Bauder presentino un maggior deflusso così come i sistemi sempre a *Sedum* - ZinCo - Bauder. I migliori si sono rivelati i sistemi più volte ribaditi in precedenza ovvero con miscuglio di suffruticose, substrato in laterizio o lapillo e sistema di drenaggio della Perlite Italiana. Nel Grafico 11 i valori precedenti sono confrontati senza i valori delle precipitazioni totali cumulate e senza i valori dei testimoni.

Il Grafico 12 mostra la media delle percentuali di deflusso/trattenuta riassunti in Tabella 18. Il Grafico 13 mette a confronto i valori in percentuali di deflusso rispetto al testimone. In questo caso è possibile mettere a confronto il sistema migliore rispetto ad una copertura a ghiaia (testimoni). I valori migliori si sono riscontrati nel sistema suffruticose ZinCo, il quale ha rilasciato un quantitativo di acqua di poco inferiore al 30% rispetto al testimone. Il peggior risultato lo si è ottenuto nel caso del sistema con substrato vulcanico e sistema drenante Bauder con miscuglio a *Sedum*. In questo caso il deflusso è stato quasi del 60% rispetto al testimone e quasi il doppio rispetto al sistema risultato migliore. La Tabella 19 mostra i valori dei mm totali nel periodo dal 20/6 al 10/9 e le percentuali di deflusso rispetto al testimone dello stesso periodo.

DEFLUSSI CUMULATI DAL 20/06 AL 10/09

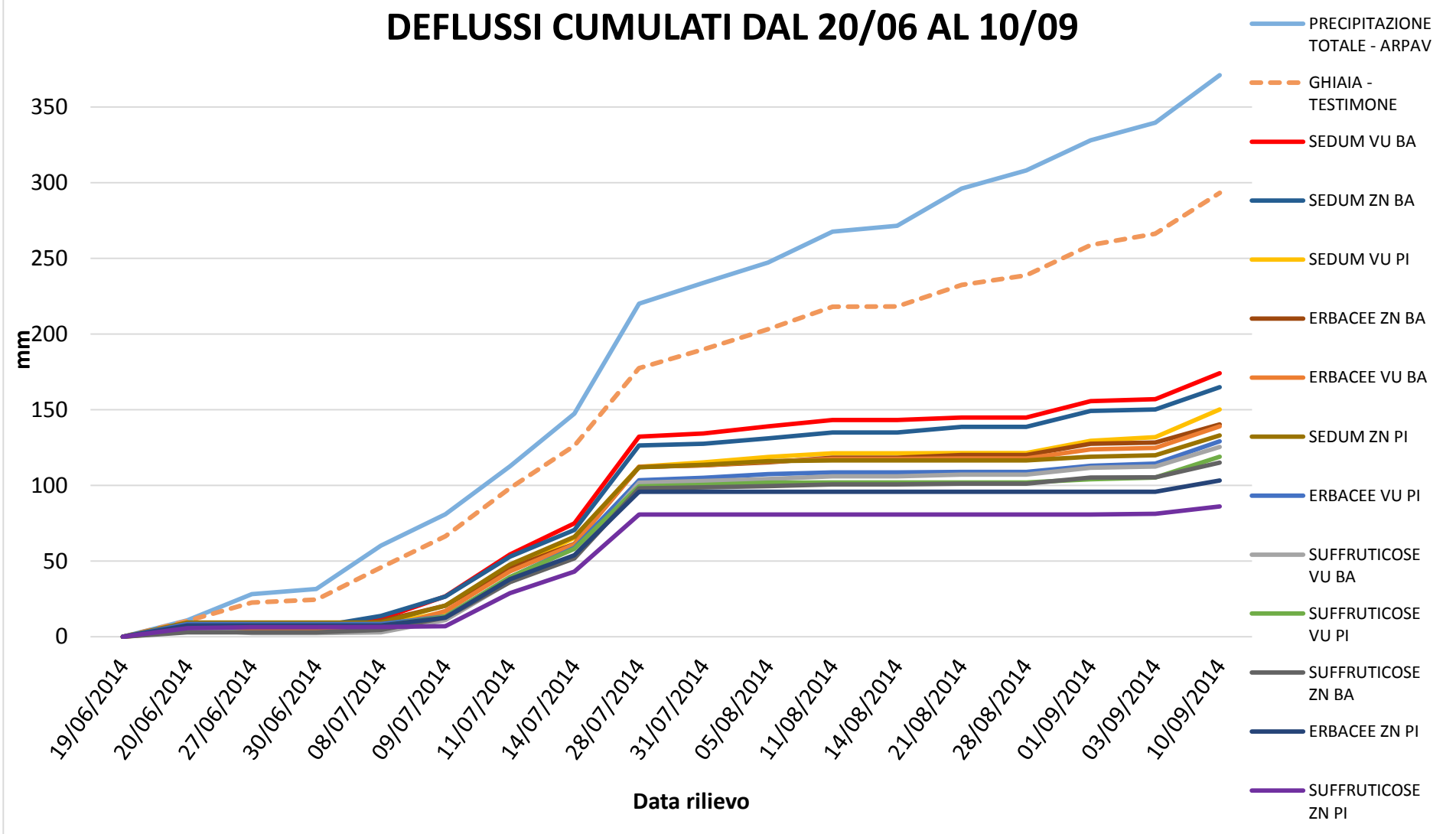


Grafico 10 Grafico dei deflussi cumulati

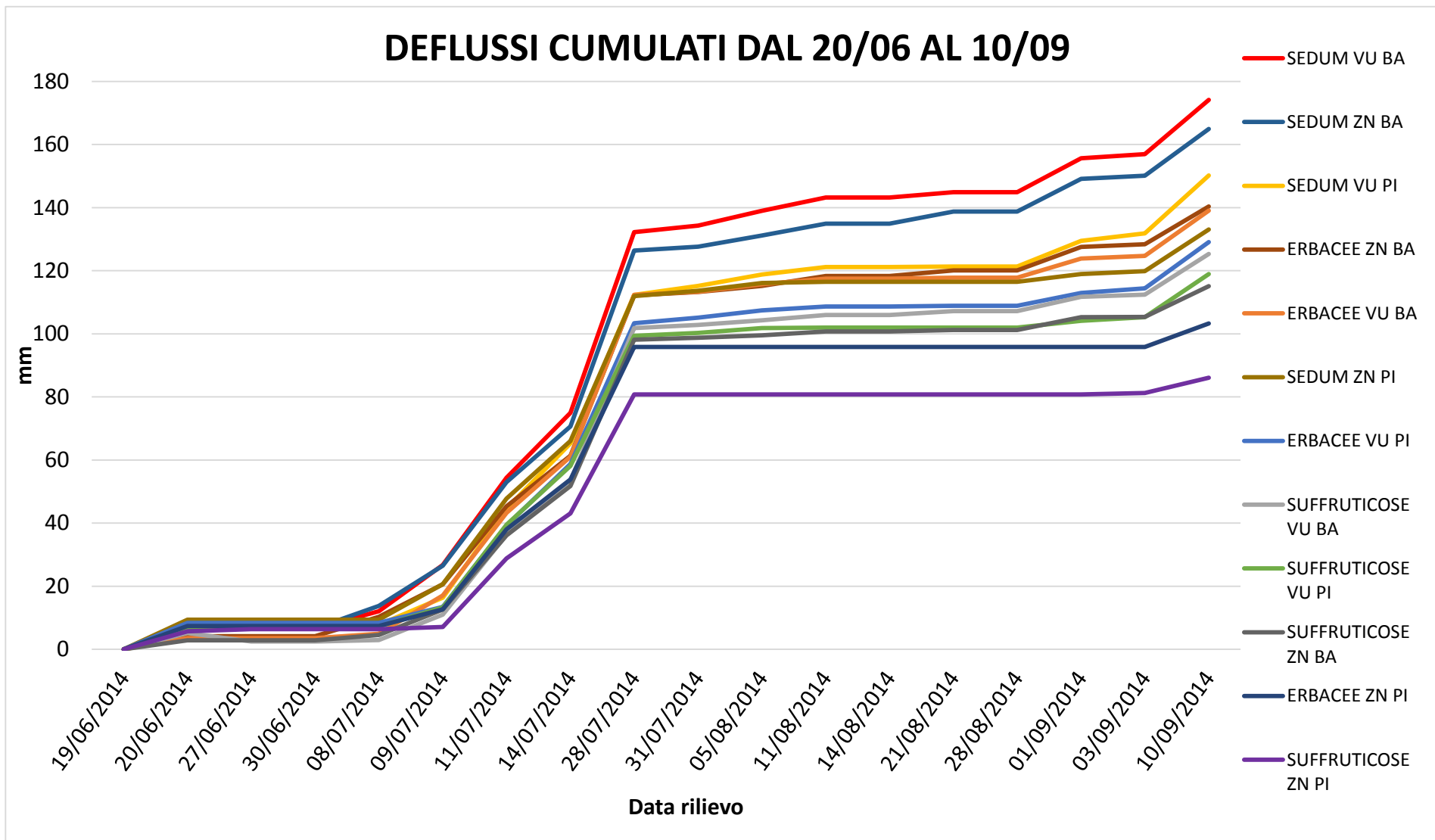


Grafico 11 Grafico dei deflussi cumulati senza valori delle precipitazioni totali e dei testimoni

Tabella 18 Percentuali di deflusso rispetto alla precipitazione totale

PERCENTUALI DI DEFLUSSO - PERIODO ESTIVO (20/06 - 10/09)		
	mm	% deflusso
PRECIPITAZIONE TOTALE	371,05	100,00
GHIAIA - TESTIMONE	293,27	79,04
SEDUM_VU_BA	174,17	46,94
ERBACEE_VU_BA	139,09	37,49
SUFFRUTICOSE_VU_BA	125,36	33,79
SEDUM_VU_PI	150,23	40,49
ERBACEE_VU_PI	129,09	34,79
SUFFRUTICOSE_VU_PI	118,98	32,07
SEDUM_ZN_BA	164,94	44,45
ERBACEE_ZN_BA	140,36	37,83
SUFFRUTICOSE_ZN_BA	115,11	31,02
SEDUM_ZN_PI	133,11	35,87
ERBACEE_ZN_PI	103,31	27,84
SUFFRUTICOSE_ZN_PI	86,10	23,20

Tabella 19 Percentuali di deflusso rispetto al testimone

PERCENTUALI DI DEFLUSSO - PERIODO ESTIVO (20/06 - 10/09)		
	mm	% deflusso
GHIAIA - TESTIMONE	293,27	100,00
SEDUM_VU_BA	174,17	59,39
ERBACEE_VU_BA	139,09	47,43
SUFFRUTICOSE_VU_BA	125,36	42,75
SEDUM_VU_PI	150,23	51,22
ERBACEE_VU_PI	129,09	44,02
SUFFRUTICOSE_VU_PI	118,98	40,57
SEDUM_ZN_BA	164,94	56,24
ERBACEE_ZN_BA	140,36	47,86
SUFFRUTICOSE_ZN_BA	115,11	39,25
SEDUM_ZN_PI	133,11	45,39
ERBACEE_ZN_PI	103,31	35,23
SUFFRUTICOSE_ZN_PI	86,10	29,36

Percentuali di deflusso rispetto alle precipitazioni totali - Periodo estivo (20/06 - 10/09)

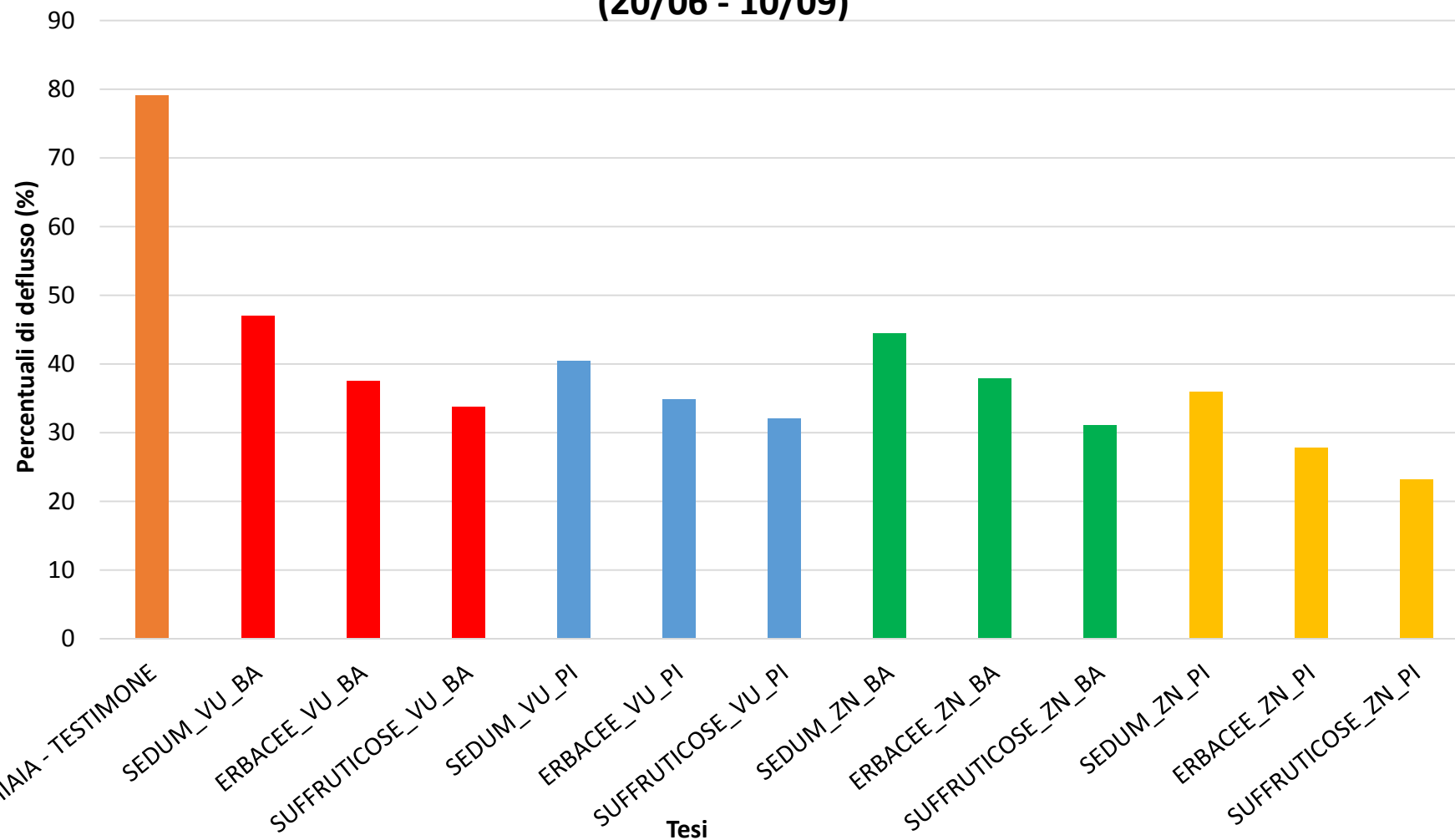


Grafico 12 Grafico delle percentuali di deflusso rispetto alle precipitazioni totali

Percentuali di deflusso rispetto al testimone - Periodo estivo (20/06 - 10/09)

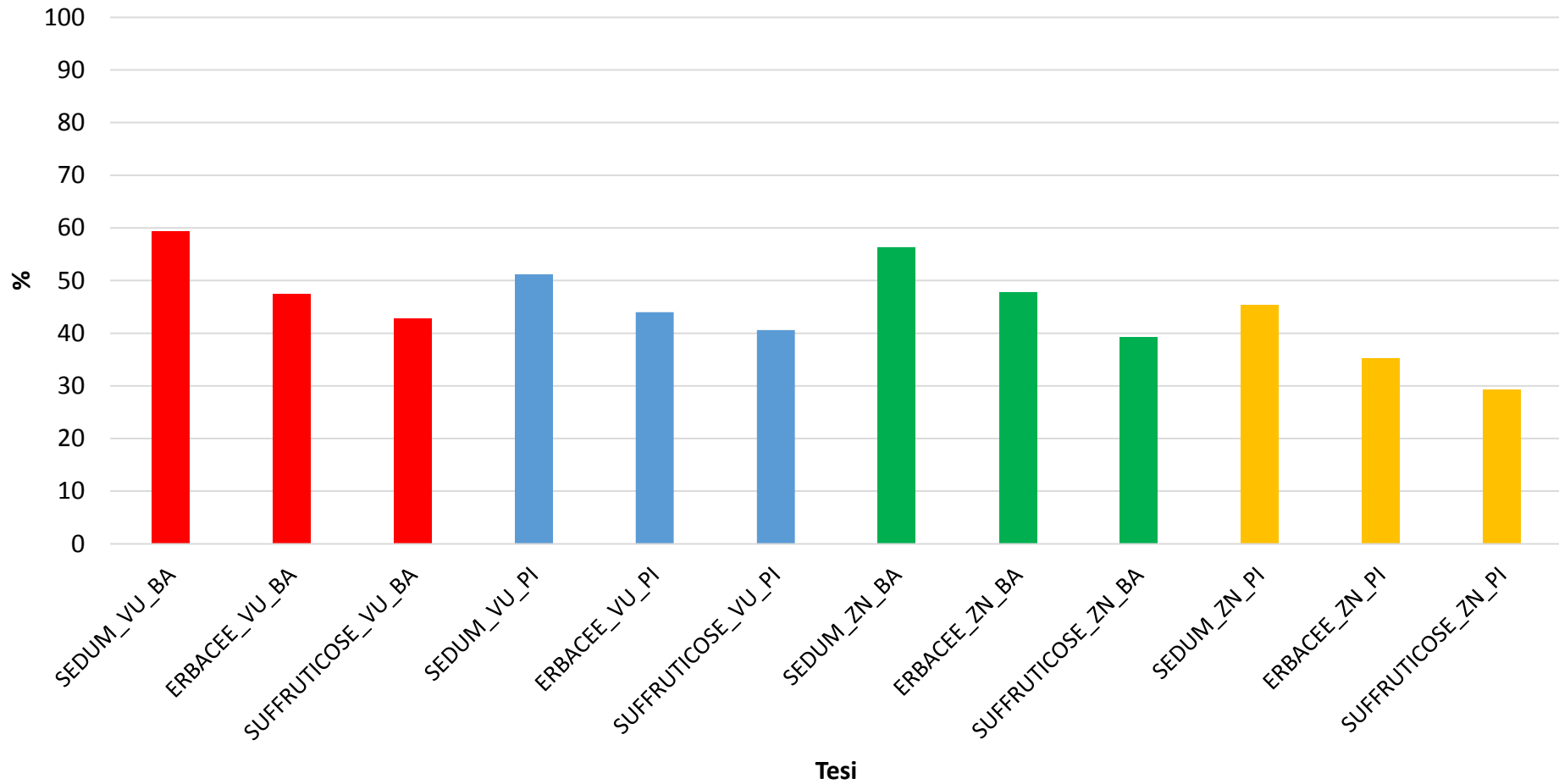


Grafico 13 Grafico delle percentuali di deflusso rispetto al testimone

5.3.1. ANALISI STATISTICA DEI DATI

Già di per se i dati evidenziano valori molto significativi in termini di drenaggio in alcuni sistemi. Volendo approfondire in merito al se e quali elementi influiscono su questi valori, si è utilizzata l'analisi statistica per individuare la significatività.

Dall'analisi ANOVA – Test di Duncan è emerso:

Fonte

Blocchi	ns
Effetti principali	
Mix	***
Sub	***
Dr	***
Interazione	
Mix x Sub	ns
Mix x Dr	ns
Sub x Dr	**
Mix x Sub x Dr	ns

Tutti gli elementi che compongono i microcosmi di tetto verde hanno evidenziato un effetto significativo sul quantitativo drenato. Viceversa solo un'interazione era significativa: quella fra substrato e sistema di drenaggio (Sub x Dr).

Il Grafico 14 evidenzia come il miscuglio a Sedum sia in questa prima fase quello che lascia defluire un maggior quantitativo d'acqua, il miscuglio con le erbacee si colloca fra il Sedum e le suffruticose che risultano essere quelle che trattengono maggiormente acqua. La barra relativa alla ghiaia permette di aver un confronto sul valore medio dei deflussi in assenza di una copertura vegetale di qualsiasi tipo. Nella media dei due tipi di substrato e due tipo di drenaggi, con il miscuglio di Sedum i deflussi sono stati ridotti di quasi 134 l/m² e con le specie suffruticose sino a 174 l/m².

Il Grafico 15 mostra invece come si siano comportati i due tipi di strato culturale indipendentemente dal tipo di miscuglio e dallo strato drenante. Il substrato della ZinCo "roccia fiorita" ha trattenuto un quantitativo di acqua maggiore (+ 9 %).

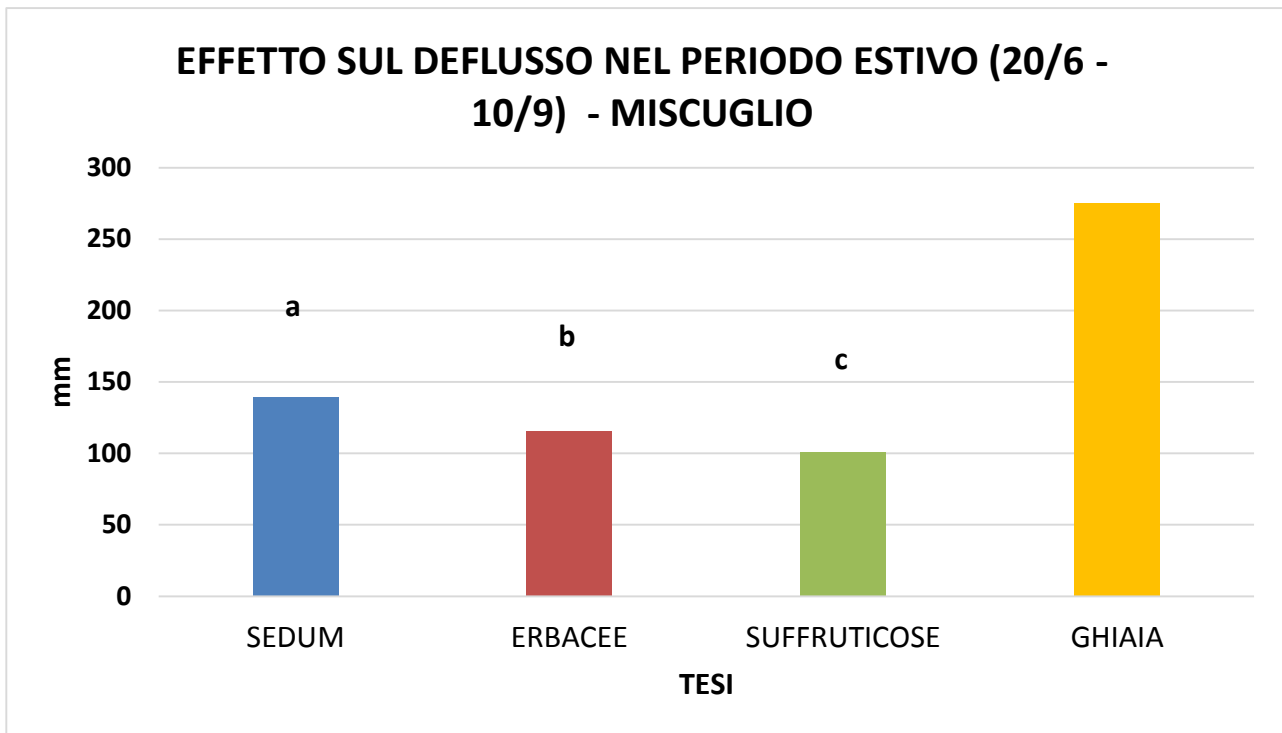


Grafico 14 Analisi dei diversi miscugli e gli effetti sul quantitativo di drenaggio

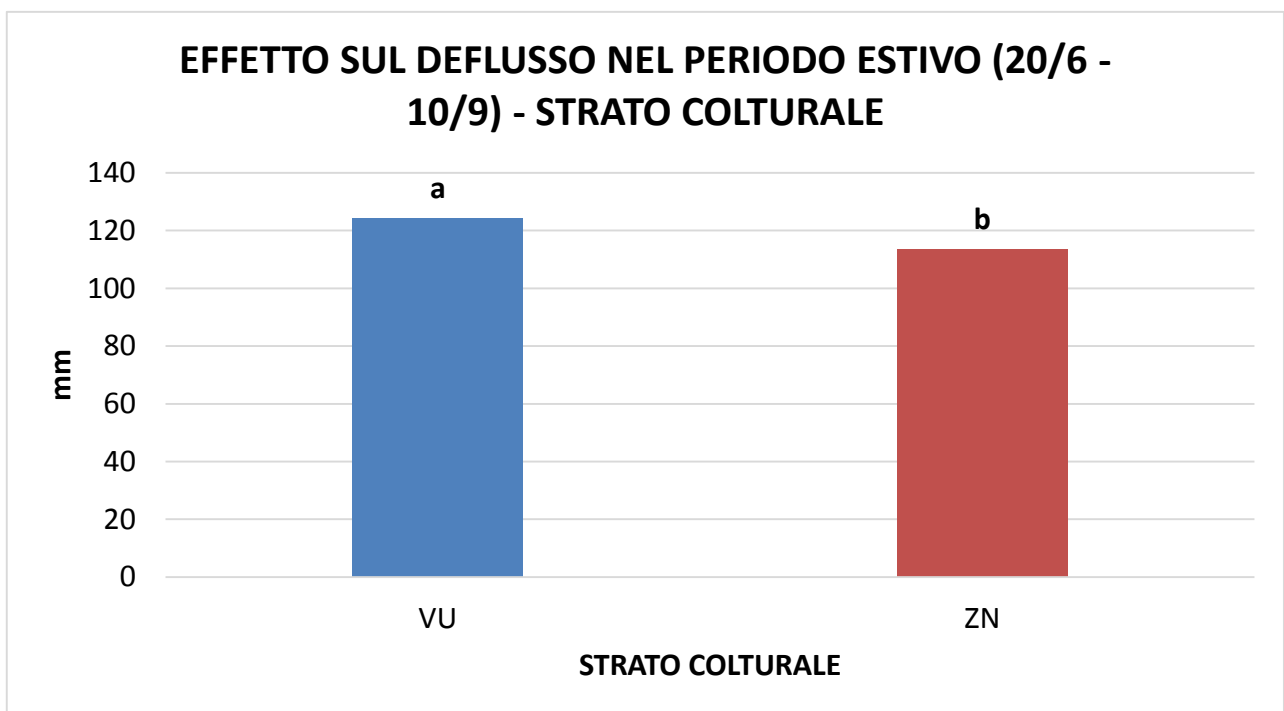


Grafico 15

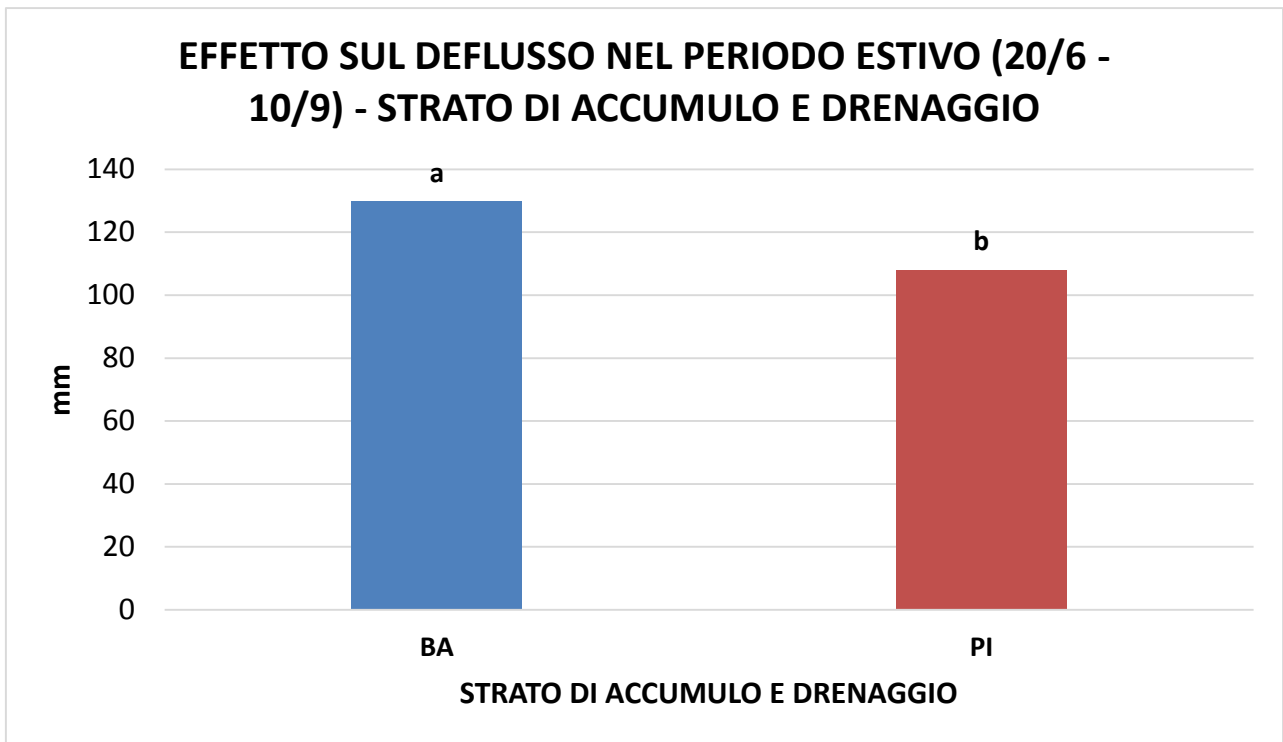


Grafico 16

Il terzo grafico (Grafico 16), mette a confronto i due sistemi di accumulo e drenaggio. Anche in questo caso il quantitativo maggiore d'acqua è stato rilasciato dal substrato in lapillo vulcanico con una differenza fra uno e l'altro di circa 22 mm.

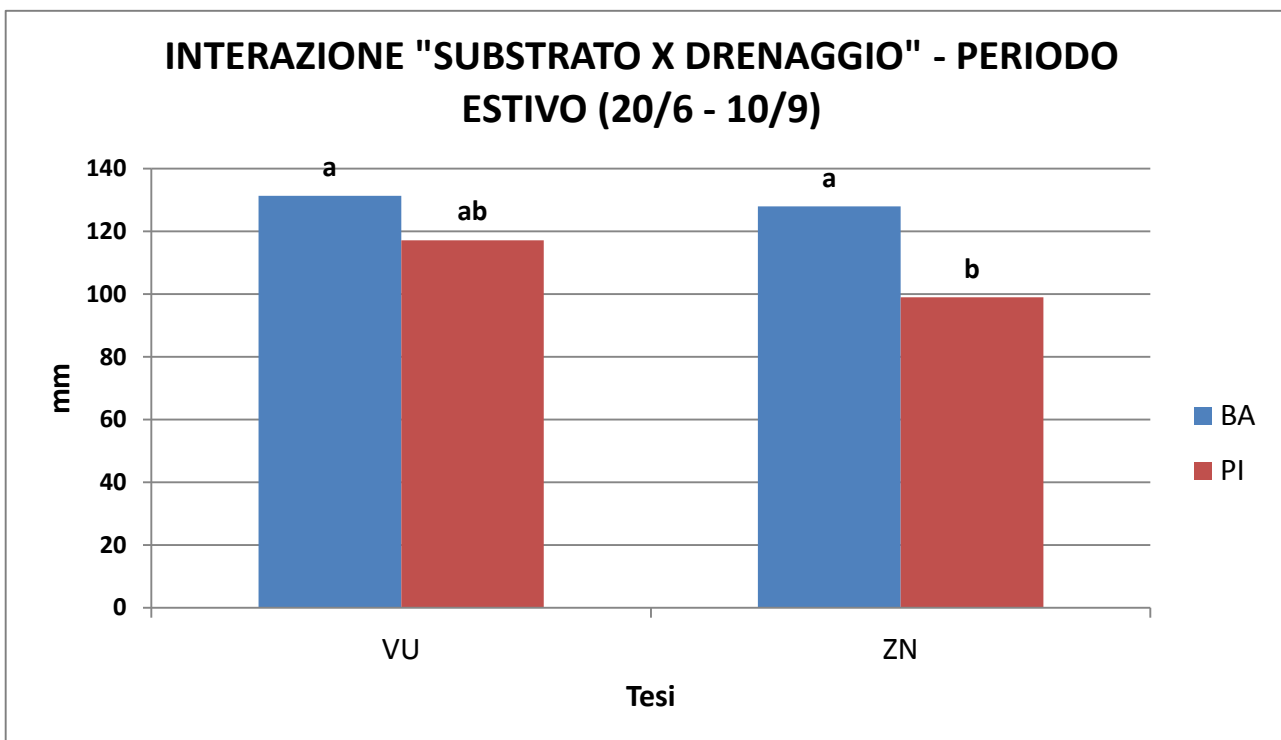
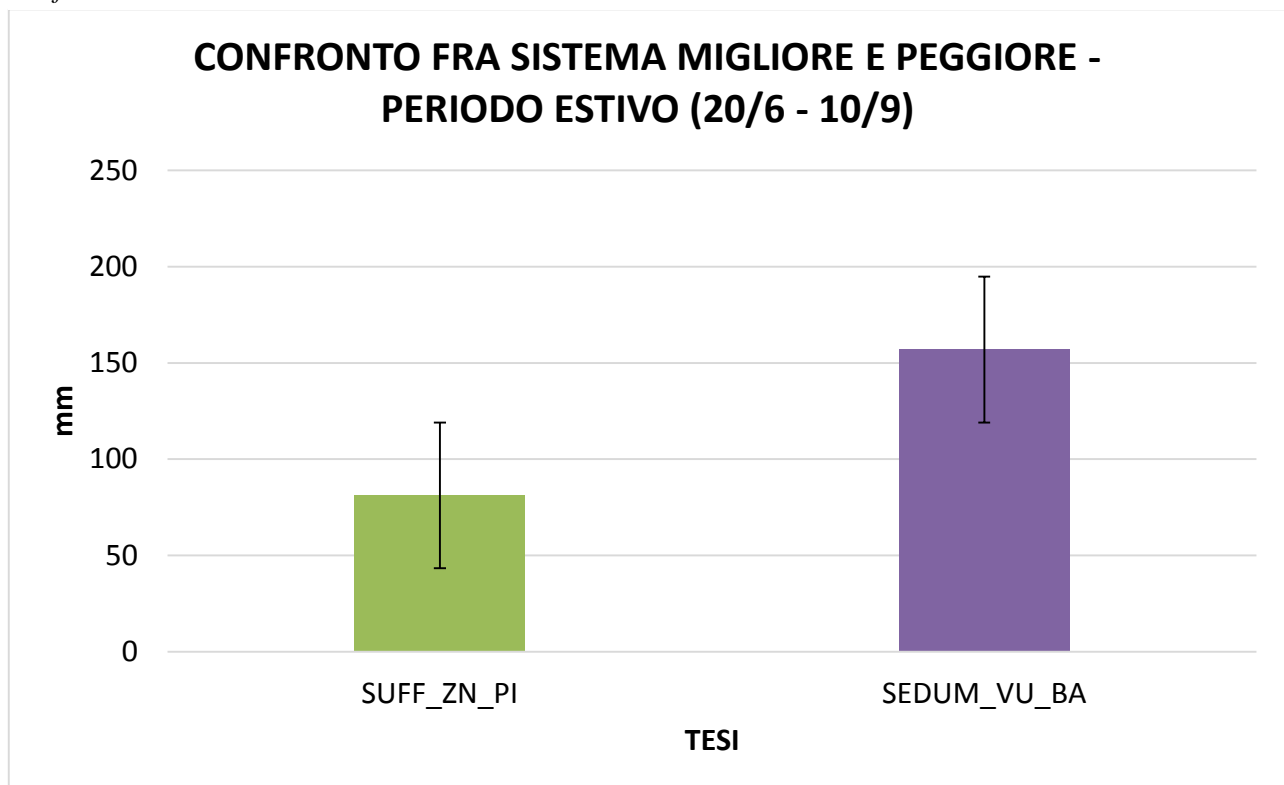


Grafico 17

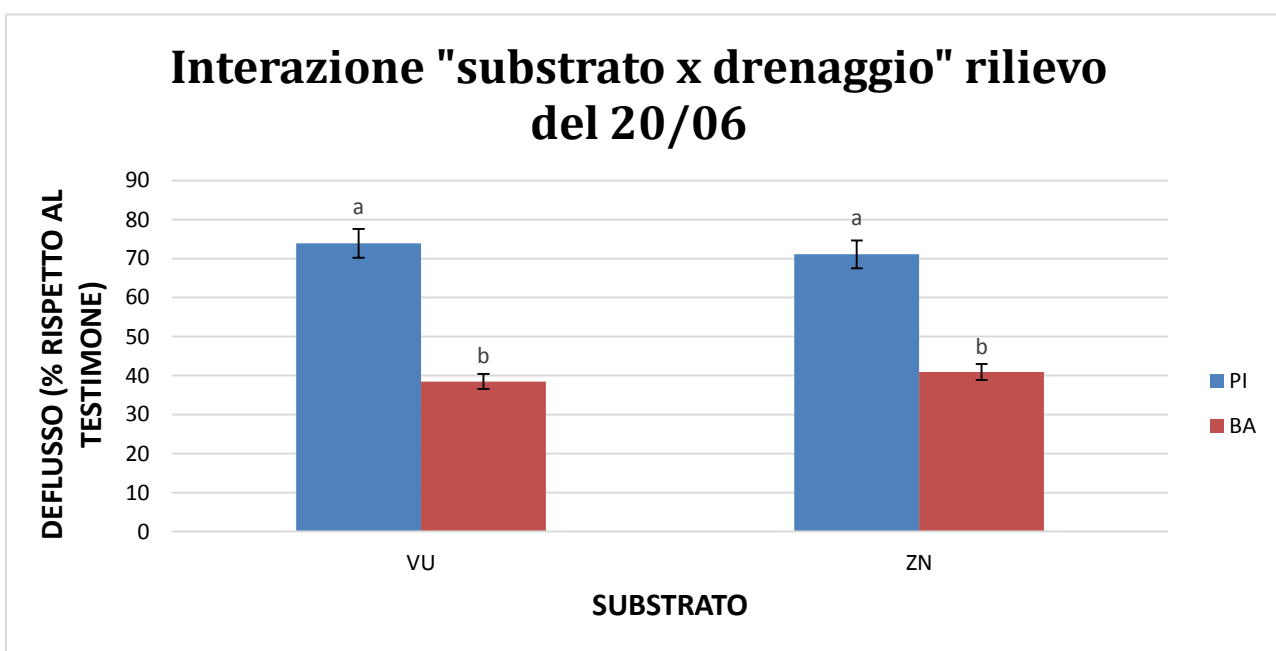
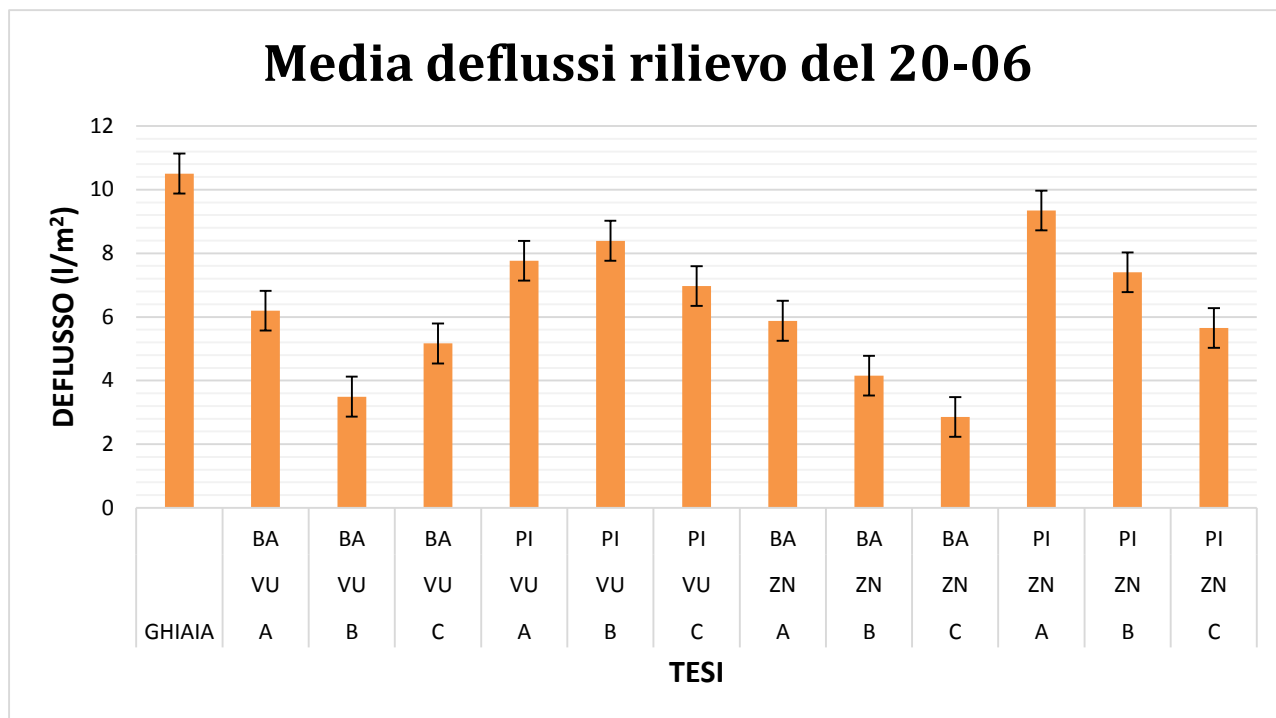
In fine nel Grafico 17 è evidenziata l'interazione substrato per drenaggio, che è risultata essere quella significativa fra le varie combinazioni. Va anche fatto notare, che quando è stato impiegato il substrato Vulcaflor, l'uso di un sistema drenante rispetto all'altro non ha portato a nessun miglioramento. Diversamente, quando è stato impiegato il substrato roccia fiorita, l'uso di perlite ha comportato un miglioramento significativo dei volumi idrici trattenuti. Complessivamente analizzando i singoli elementi che compongono i microcosmi ad Agripolis possiamo sicuramente dire che il sistema che in questo periodo (20/6 – 10/9) ha trattenuto un maggior quantitativo d'acqua è quello con suffruticose come mix vegetale, strato culturale "roccia fiorita" e sistema drenante a base di perlite. Quello che ha dato risultati peggiori è il sistema con miscuglio di *Sedum*, substrato in lapillo e sistema drenante preformato con una differenza fra i due sistemi di quasi 78 mm (Grafico 18).

Grafico 18



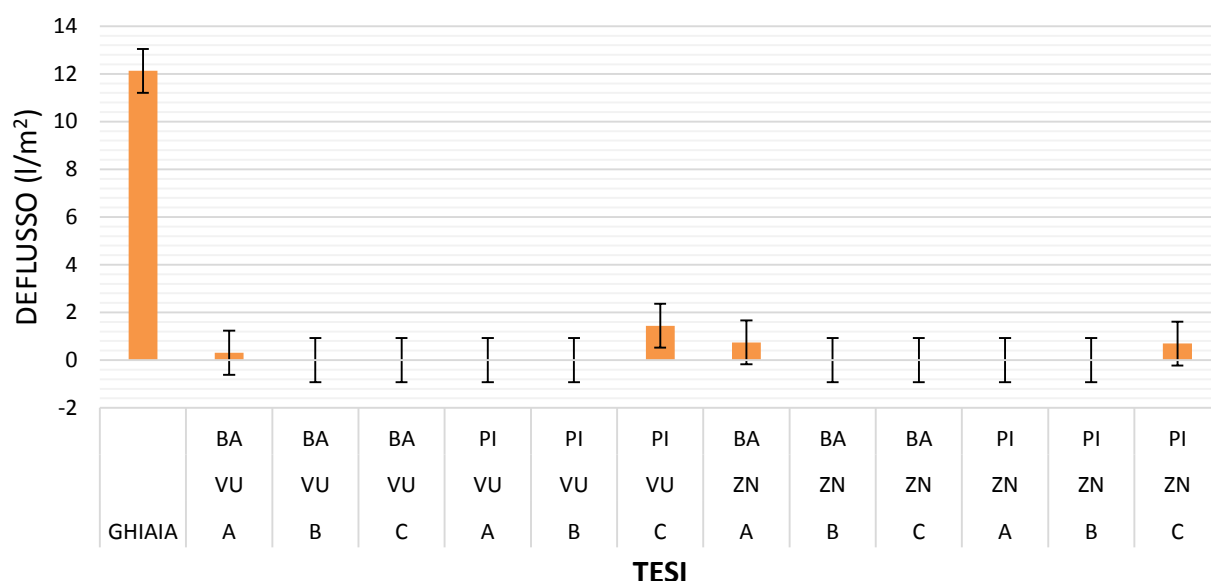
L'ultima analisi statistica (paragrafo 5.3.1.1) è servita per osservare le interazioni substrato x drenaggio per singolo evento. In questo caso i dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza e le differenze tra le medie saggiate con il test di Tukey. Prima dell'analisi, i valori percentuali sono stati trasformati nei rispettivi valori angolari. I grafici ricavati mostrano un'interazione fra sistema di drenaggio e strato di coltivazione. In tutti i casi sull'asse x è posto lo strato culturale (substrato).

5.3.1.1. VALUTAZIONE DEI SINGOLI EVENTI

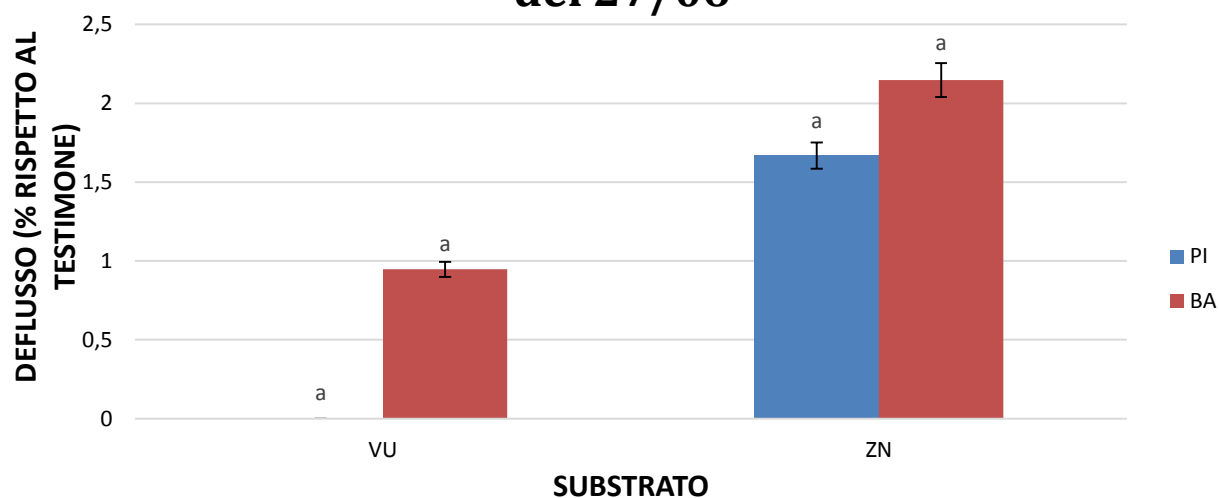


Nel primo rilievo si nota un andamento differente della quantità di acqua defluita fra le varie tesi, indipendentemente dal tipo di copertura vegetale o miscuglio. Il secondo grafico indica come, in questo evento, solamente i sistemi drenanti abbiano condizionato in modo diverso i deflussi, con i deflussi maggiori nel caso di impiego del sistema Bauder. La precipitazione secondo i dati validati dall'ARPAV è stata pari a 10.8 mm.

Media deflussi rilievo del 27-06

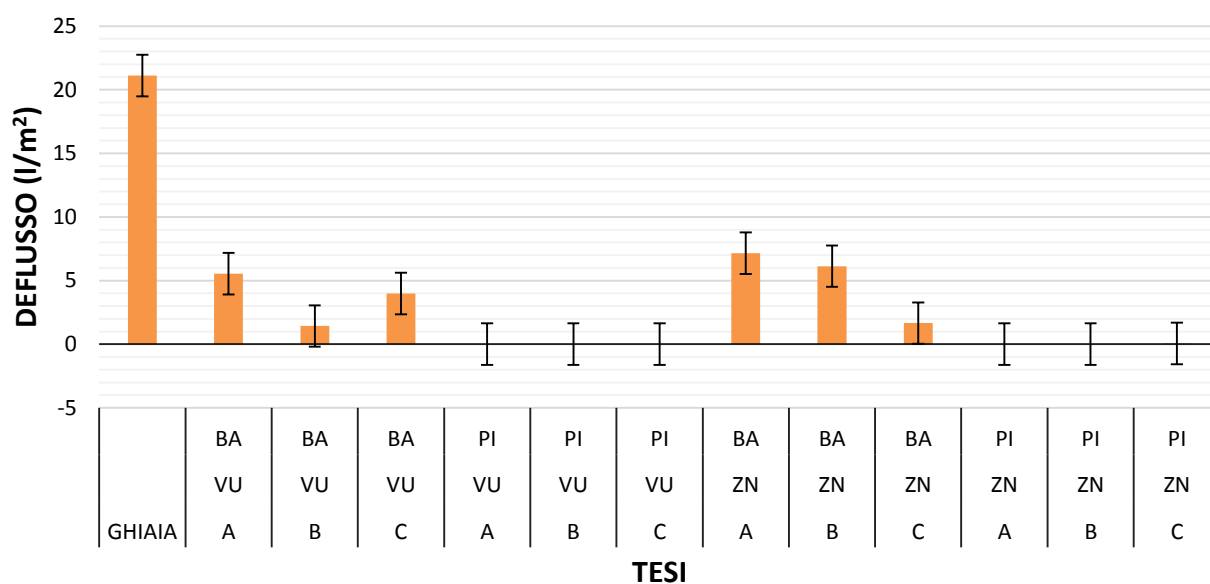


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 27/06

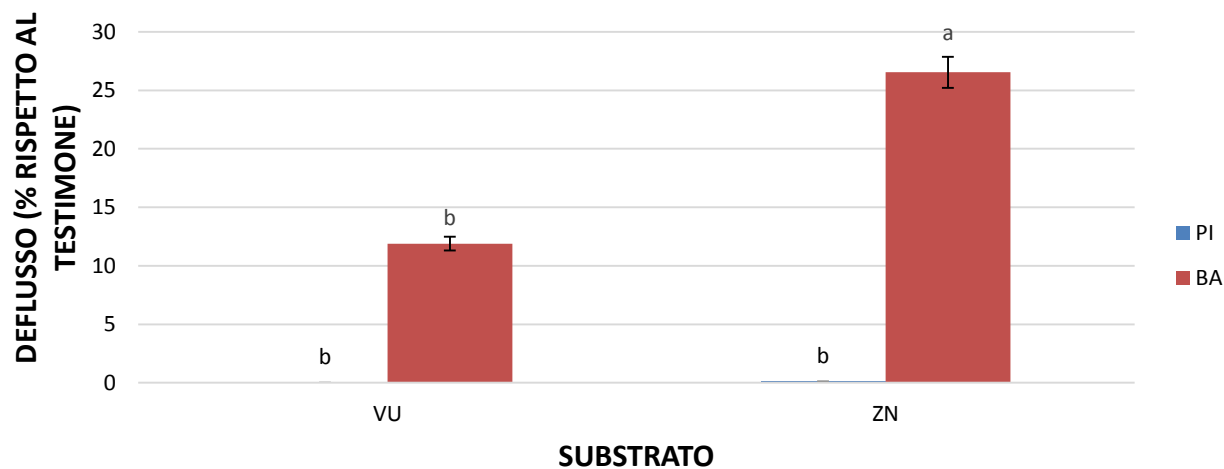


Il secondo rilievo, mostra come i valori percentuali di deflusso non siano stati significativamente differenti nelle 4 combinazioni fra substrato e drenaggio. Pur evidenziando un leggero aumento di deflusso nel caso del substrato della ZinCo indipendentemente dal tipo di sistema di drenaggio utilizzato. Il valore validato di precipitazione ARPAV è stato di 15,4 mm. I valori di deflusso si sono misurati solamente in poche taniche.

Media deflussi rilievo del 08/07

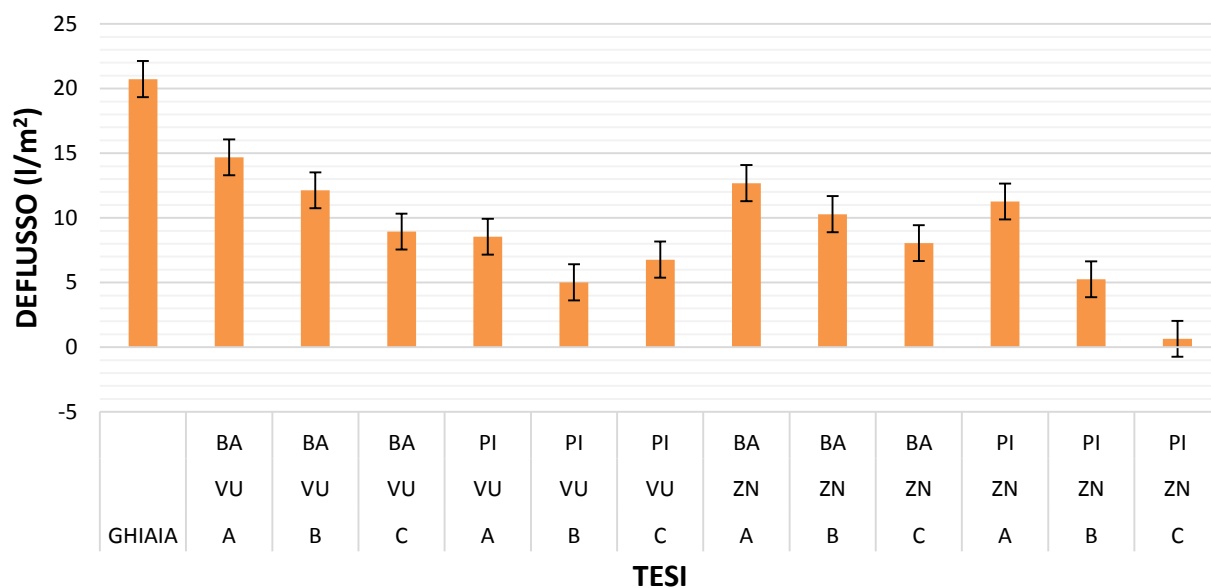


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 08/07

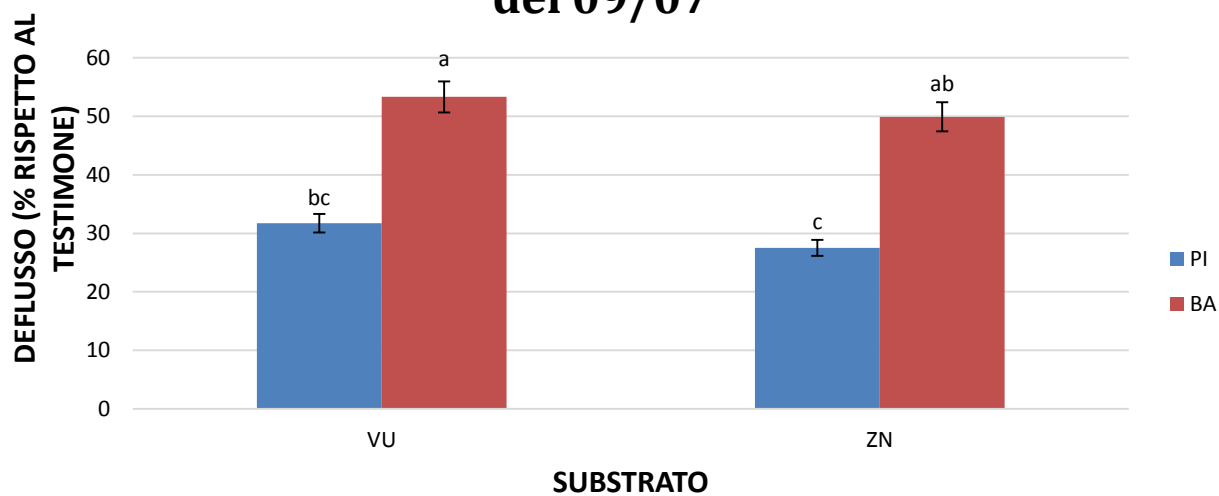


Il grafico mostra un deflusso esclusivamente nel caso in cui è stato presente il sistema di drenaggio preformato della Bauder, e con deflussi minori con il substrato Vulcaflor. L'evento di pioggia validato dall'ARPAV è pari a 27,4 mm. Nel caso di VU-PI non c'è stato alcun deflusso, valori prossimi allo zero anche nel caso dei sistemi ZN-PI.

Media deflussi rilievo del 09/07

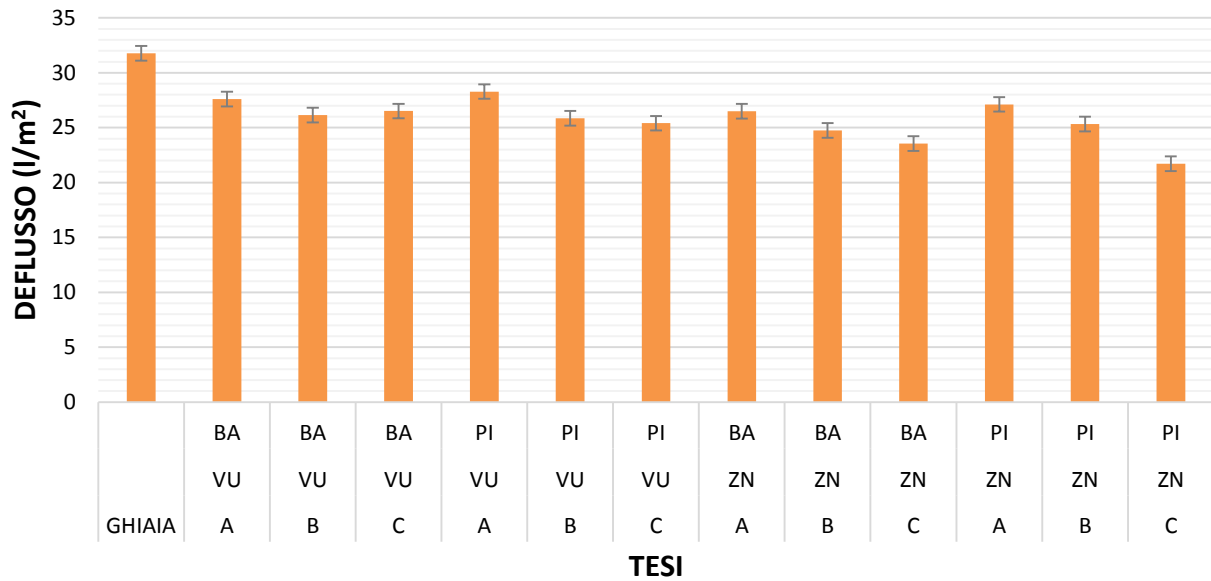


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 09/07

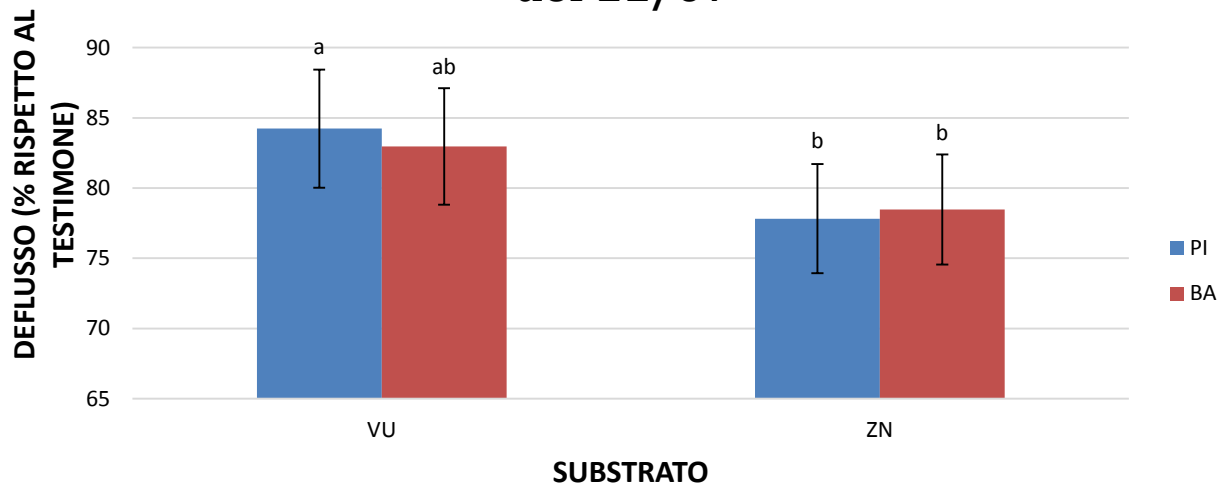


Nel rilievo effettuato il 09/07 solamente il sistema drenante ha avuto effetto e, in particolare, la Perlite Italiana ha evidenziato un minor quantitativo di acqua in seguito all'evento di pioggia.

Media deflussi rilievo del 11-07

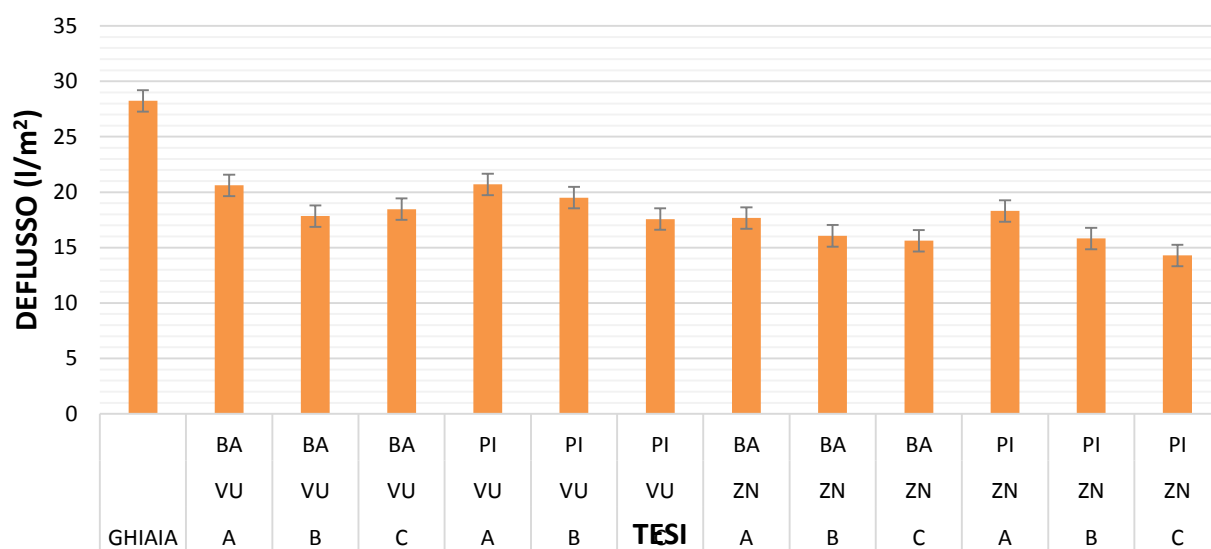


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 11/07

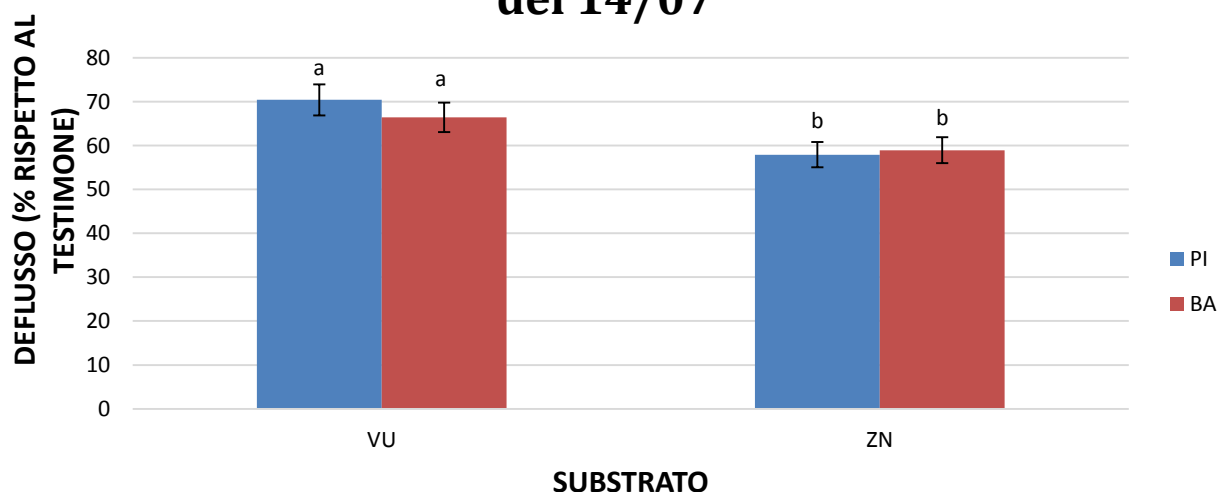


Il dato evidente lo si ha con il sistema substrato per drenaggio VU-PI che è risultato non significativamente differente rispetto al VU-BA, ma significativamente differente rispetto a ZN-PI e ZN-BA. In questo caso l'evento di pioggia validato dall'ARPAV è risultato pari a 25,6 mm. Le tesi con il substrato della ZinCo hanno trattenuto un quantitativo maggiore d'acqua.

Media deflussi rilievo del 14-07

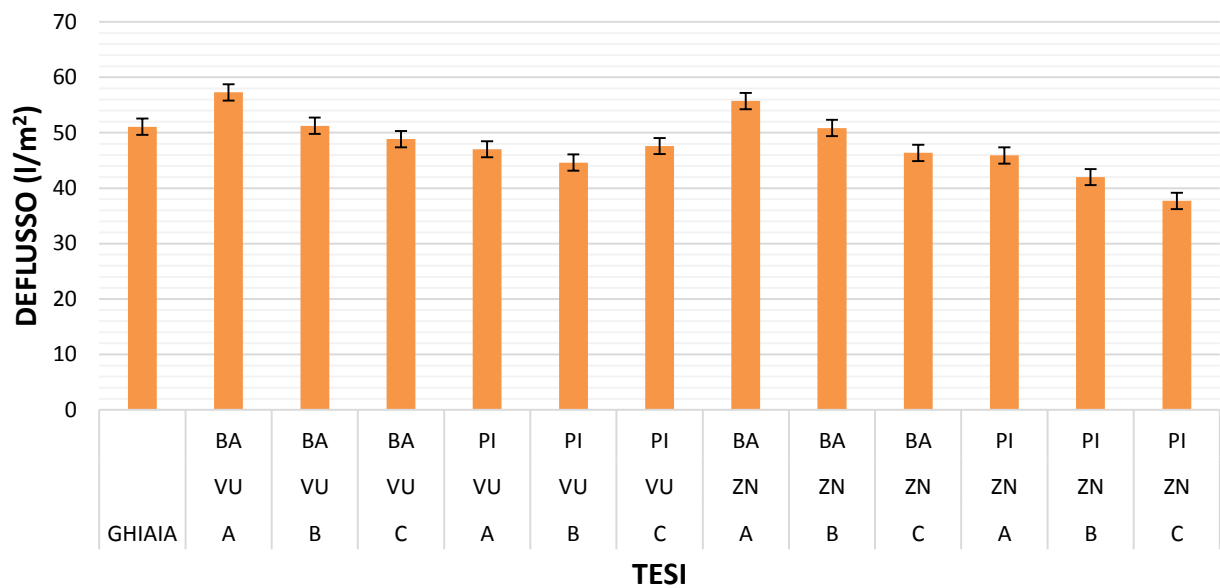


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 14/07

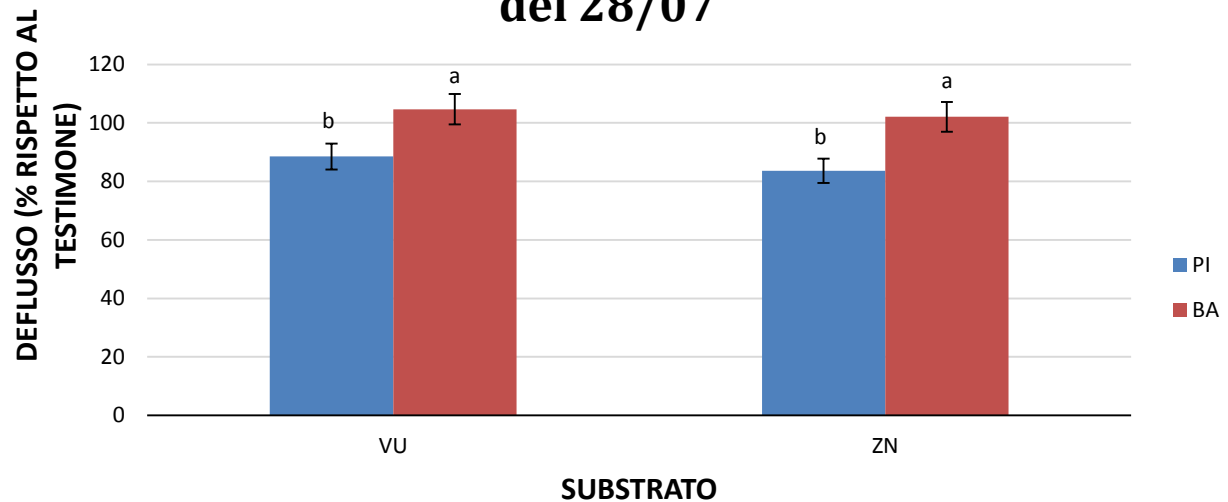


Il deflusso misurato il 14 luglio mostra una significativa differenza fra le tesi con il sistema colturale Vulcaflor indipendentemente dal sistema di drenaggio ed il sistema con il substrato della ZinCo, che ancora una volta risulta trattenere più acqua. L'evento di pioggia è stato pari a 34.6 mm.

Media deflussi rilievo del 28-07

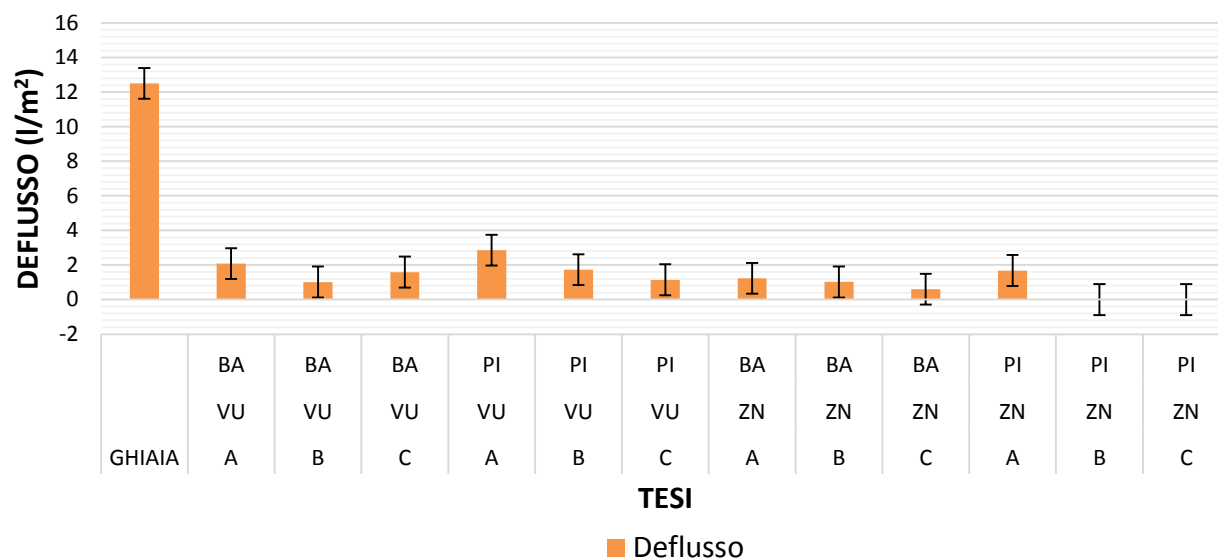


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 28/07

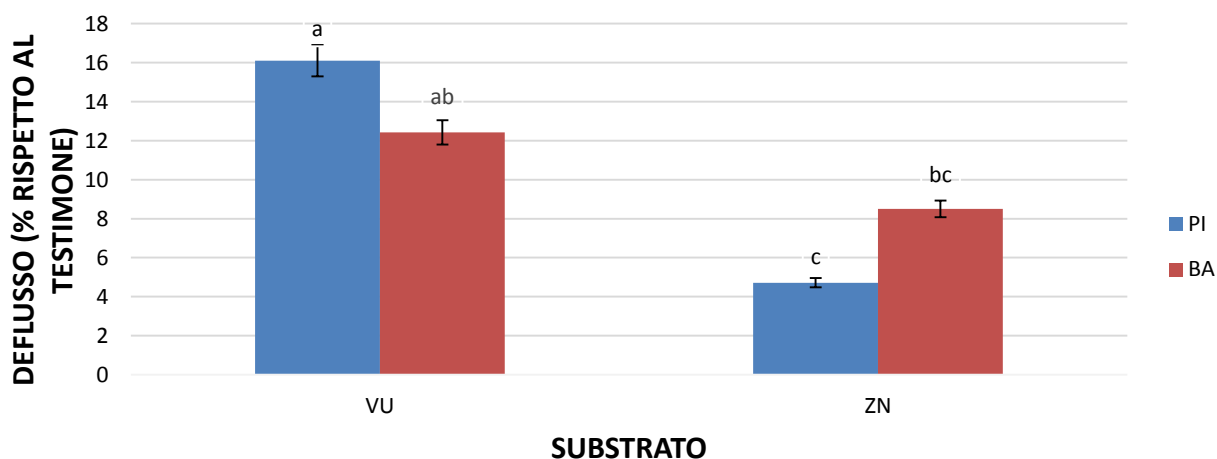


In questo caso l'interazione del substrato con il sistema drenante della Bauder evidenzia un dato significativamente diverso di deflusso (maggiore) rispetto all'altro sistema di drenaggio della Perlite Italiana. In questo caso il deflusso è stato praticamente totale, rispetto al testimone, con il sistema della Bauder. L'evento di pioggia è stato particolarmente intenso con un valore validato pari a 67.4 mm.

Media deflussi rilievo del 31-07

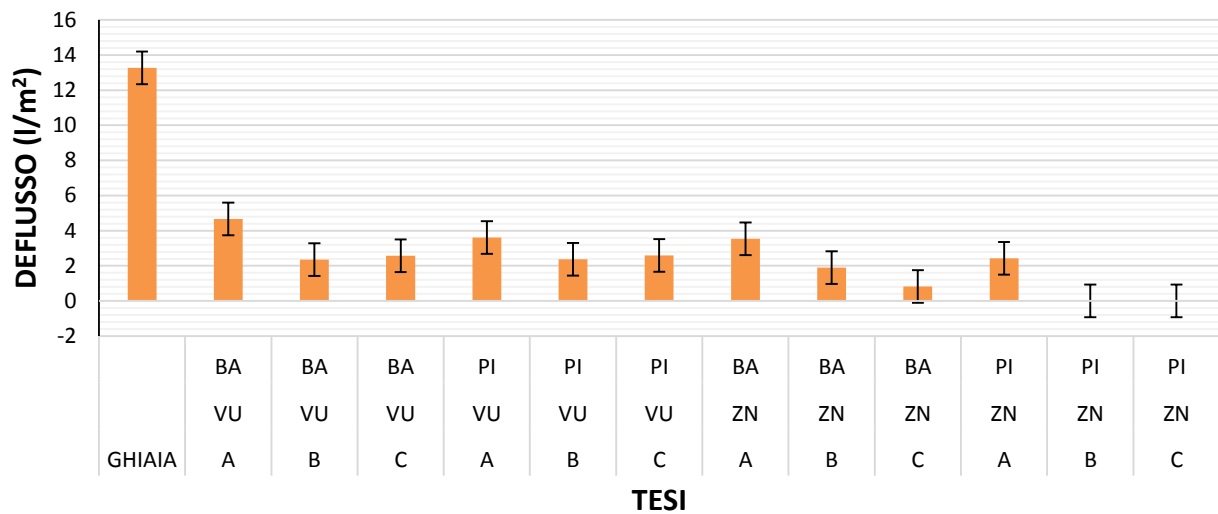


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 31/07

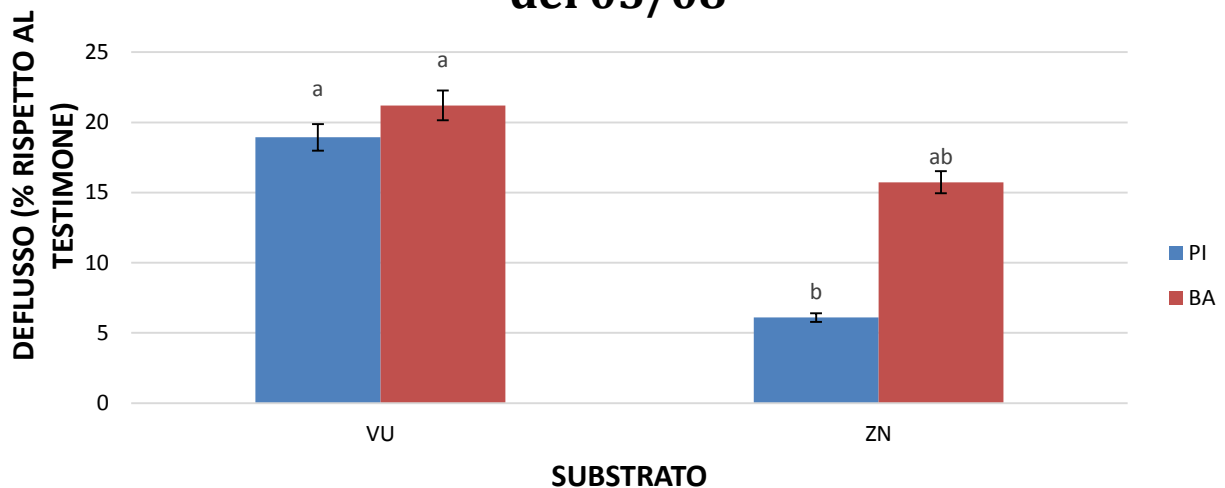


Alcuni giorni dopo, un evento pari a 11.4 mm ha evidenziato come solo alcune cassette presentassero un deflusso, in questo caso tutte eccetto la consociazione ZN-PI con erbacee e suffrutuose. Di quelle con deflusso il valore era significativamente diverso fra VU-PI e ZN-PI. Mentre non lo è stato fra VU-BA e ZN-BA.

Media deflussi rilievo del 05-08

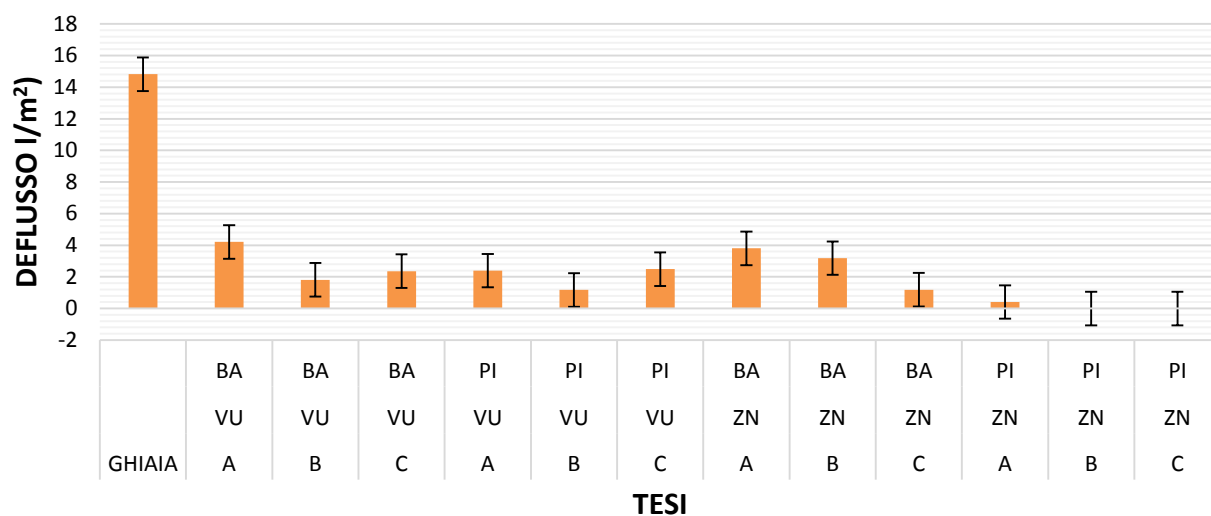


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 05/08

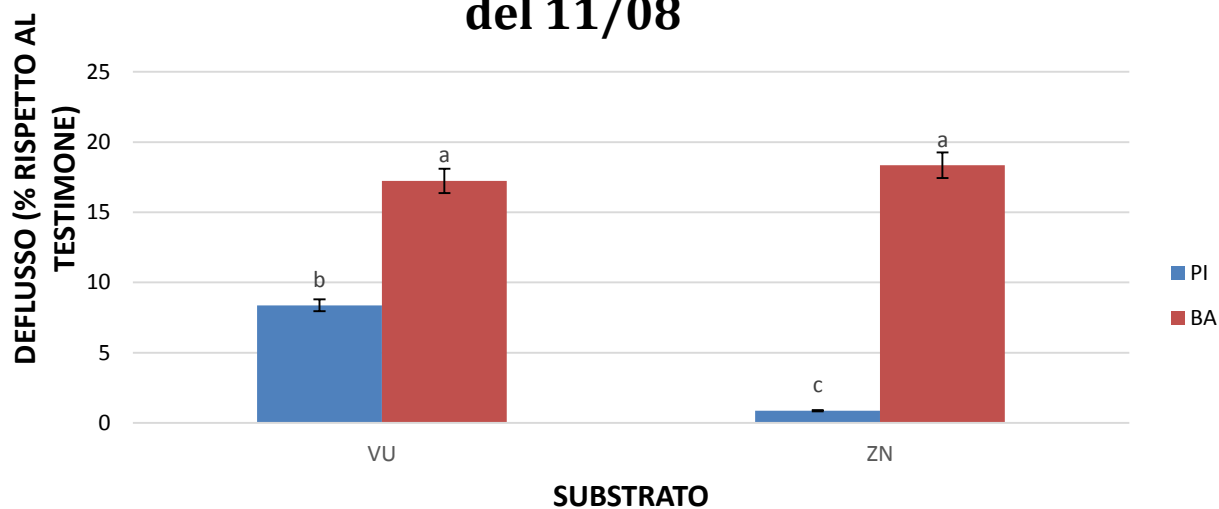


Cinque giorni dopo si è verificato nuovamente un evento di pioggia simile al precedente, se in termini di percentuali di deflusso in corrispondenza dei sistemi di deflusso con perlite si sono rivelati avere un andamento praticamente uguale rispetto all'evento precedente questo non lo si può dire per il Bauder, in quanto il deflusso medio percentuale è risultato essere quasi il doppio. Il sistema ZinCo – Perlite Italiana rimane comunque quello con minor quantità di acqua defluita

Media deflussi rilievo del 11-08

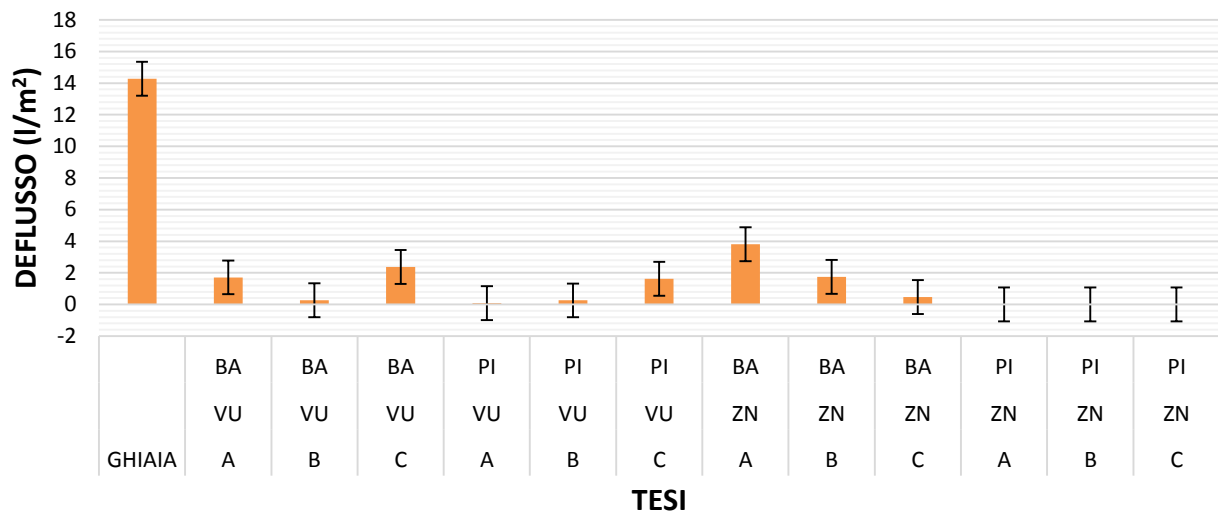


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 11/08

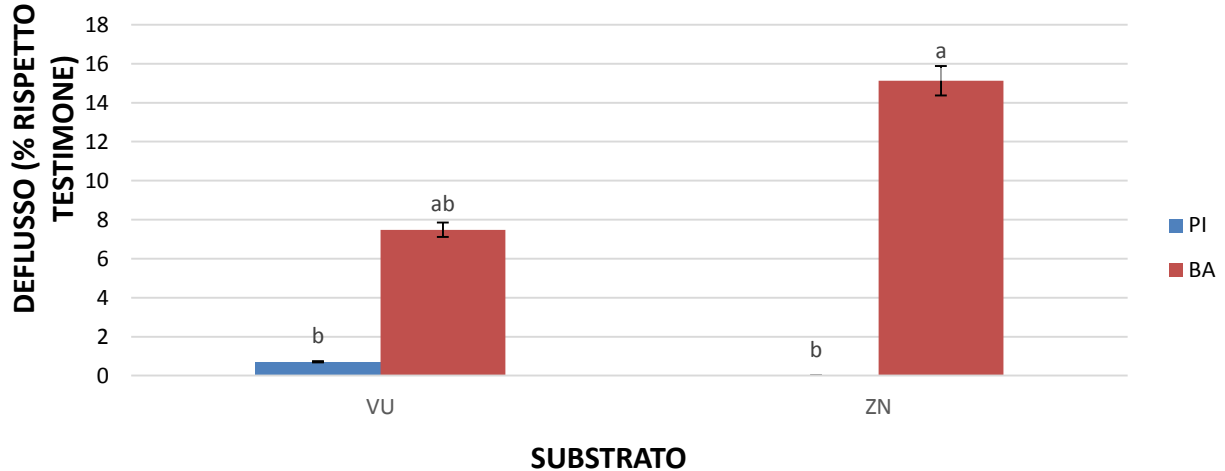


Il rilievo dell'undici agosto ha presentato valori di deflusso del testimone molto simili a quelli avvenuti 5 giorni prima. Dimostrando però come nel caso di VU-PI vi sia stato un calo sostanziale di deflusso rispetto all'evento di pioggia precedente. I substrati con sistema drenante della Bauder sono rimasti comunque con valori di deflusso simili fra loro. Il sistema ZN-PI ha continuato a trattenere la maggior quantità d'acqua rispetto agli altri.

Media deflusso rilievo del 21-08

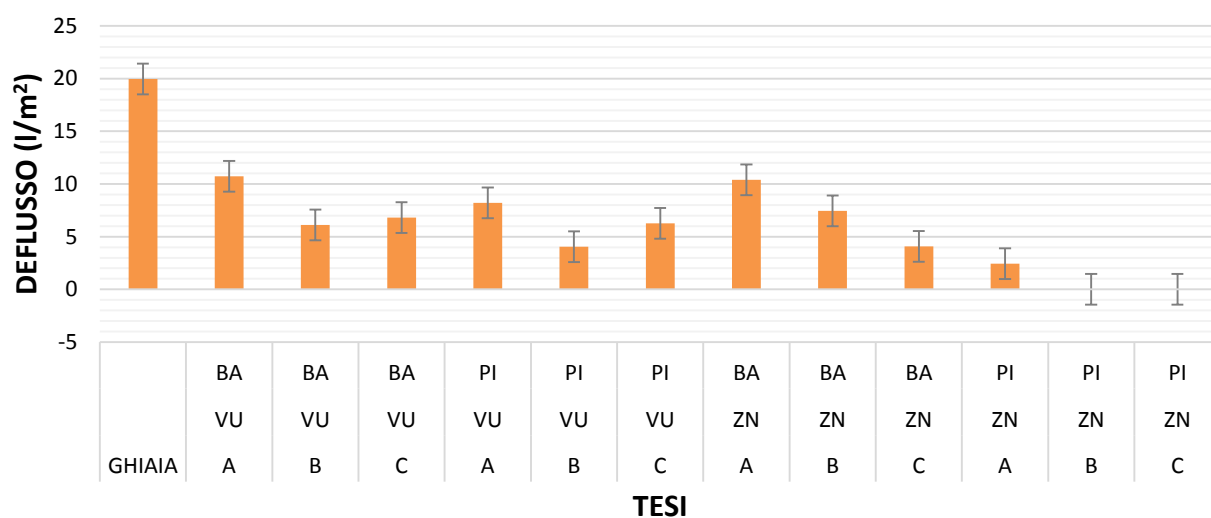


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 21/08

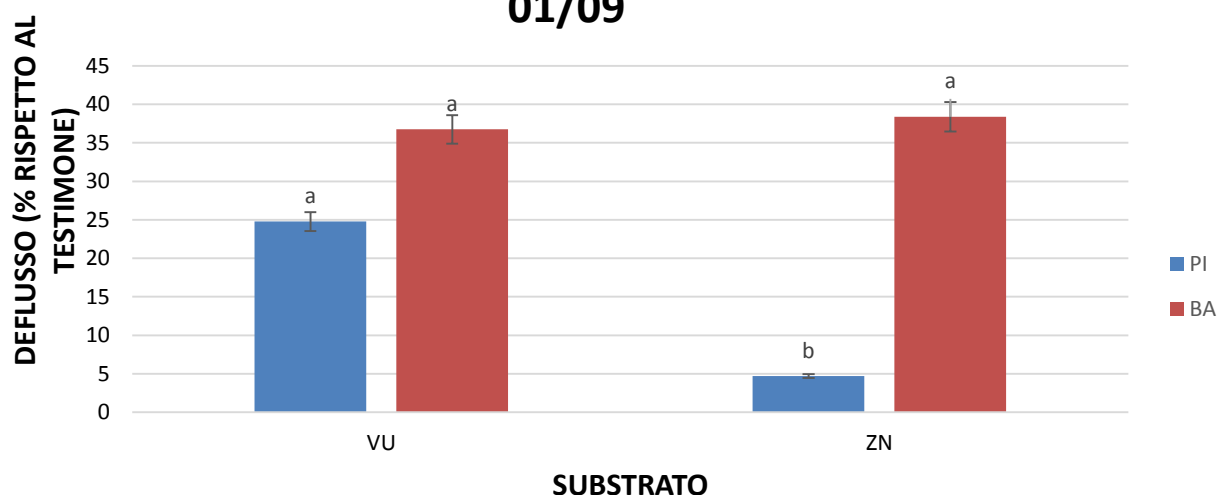


Il rilievo del 21 agosto mostra come, in seguito ad un evento di pioggia pari a 15 l/m² (valore medio dei testimoni), si è avuto un deflusso maggiore nel caso dei sistemi con lo strato di accumulo della Perlite Italiana.

Media deflussi rilievo del 01-09

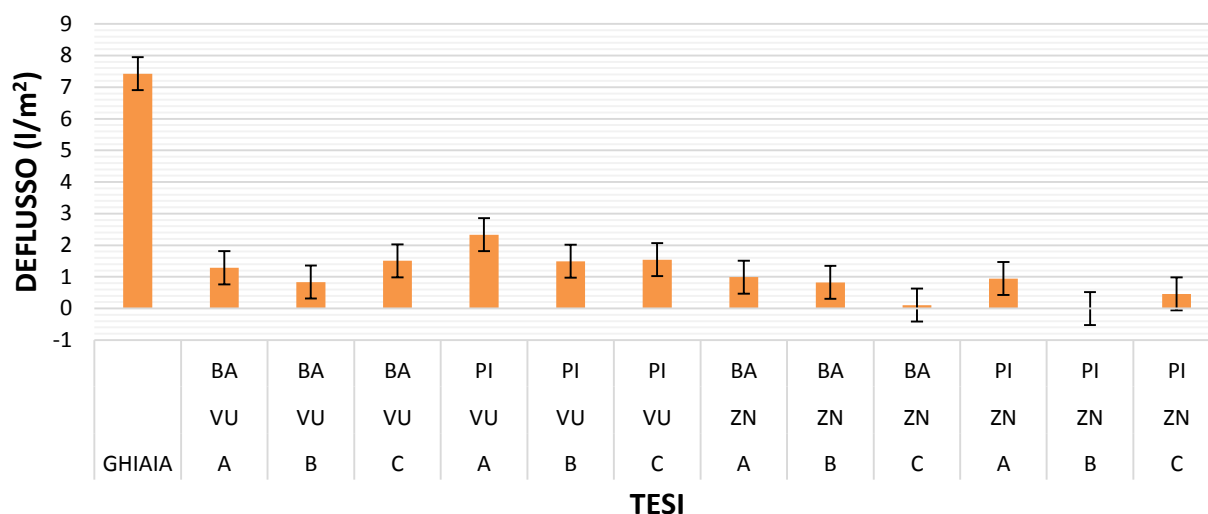


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 01/09

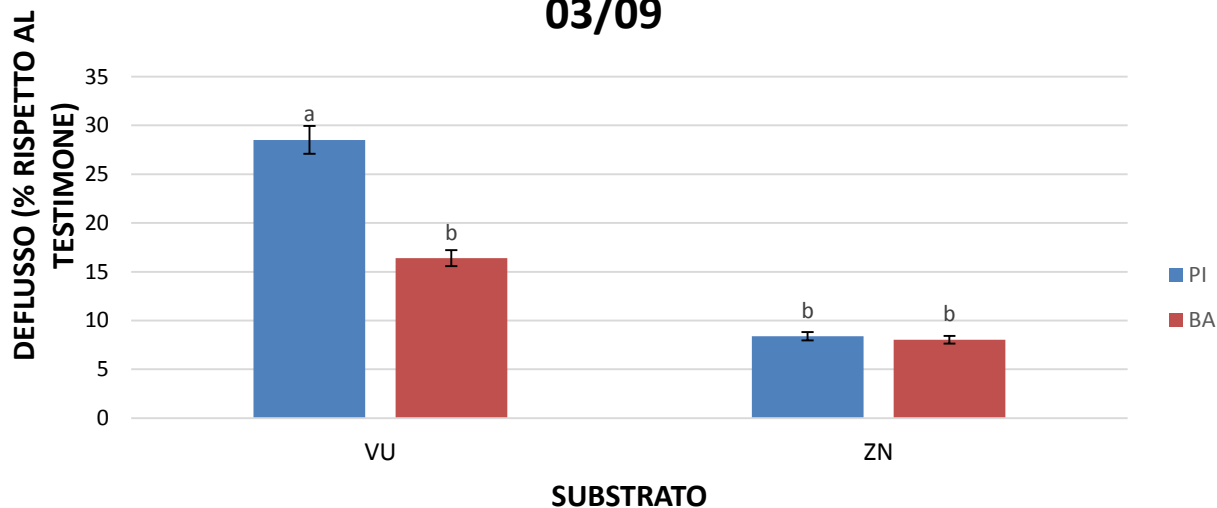


Ad inizio settembre, dieci giorni dopo dall'ultimo evento di pioggia, la quantità d'acqua precipitata è risultata maggiore di 5 l/m² (valore medio dei testimoni). Questo valore ha comportato un deflusso in percentuale quasi del doppio rispetto all'evento precedente. I due sistemi che hanno evidenziato una maggior valore in termini percentuali di deflusso sono sempre quelli con il sistema di drenaggio della Bauder, indipendentemente dal tipo di substrato, in questo caso però si aggiungono valori elevati con il sistema VU-PI. Sempre inferiori i valori di deflusso nel caso delle cassette con il substrato della ZinCo e la Perlite Italiana.

Media deflusso rilievo del 03-09

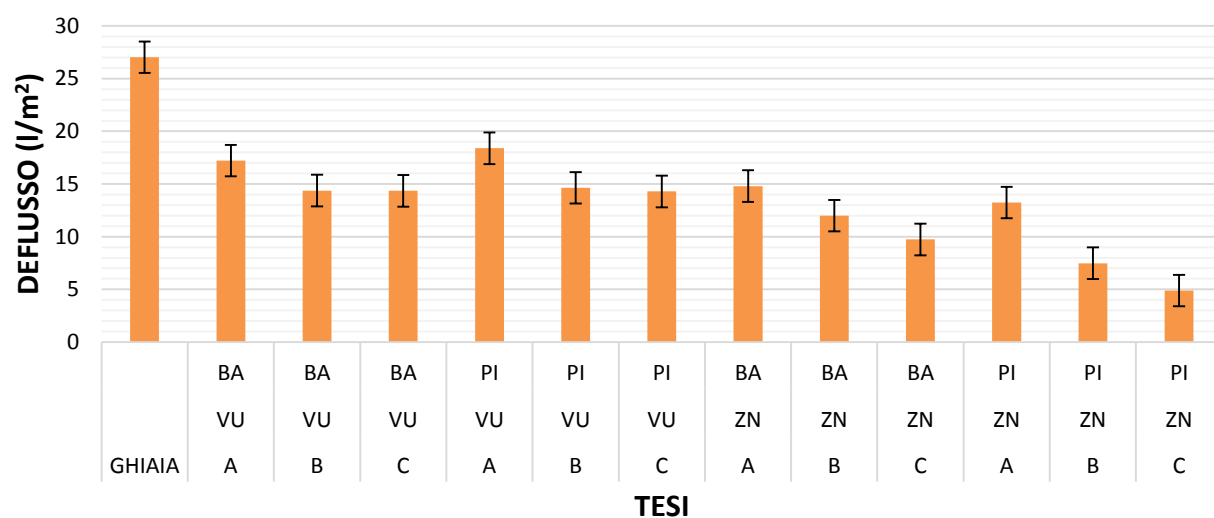


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 03/09

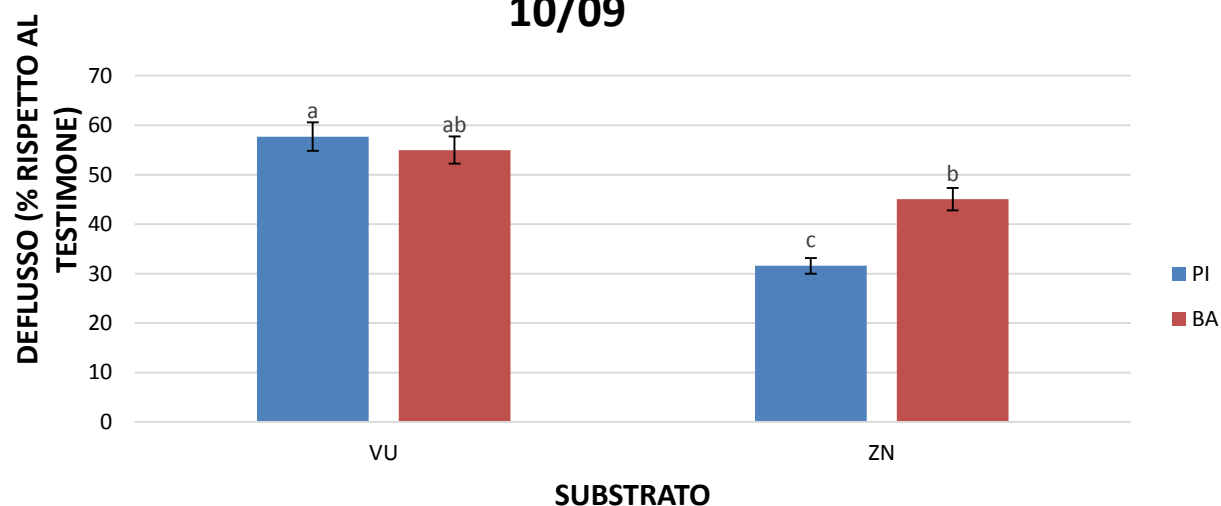


L'evento di pioggia successivo, seppur limitato rispetto ai precedenti, ha portato ad una variazione del "comportamento" delle varie tesi. Con valori percentuali di deflusso in aumento sicuramente nel caso del sistema VU-PI, e valori significativamente simili fra le altre tesi ovvero VU-BA, ZN-BA e ZN-BA con un aumento della quantità defluita leggermente in aumento rispetto a quella dell'evento passato, ma con valori sempre inferiori al 10% rispetto al testimone.

Media deflussi rilievo del 10-09

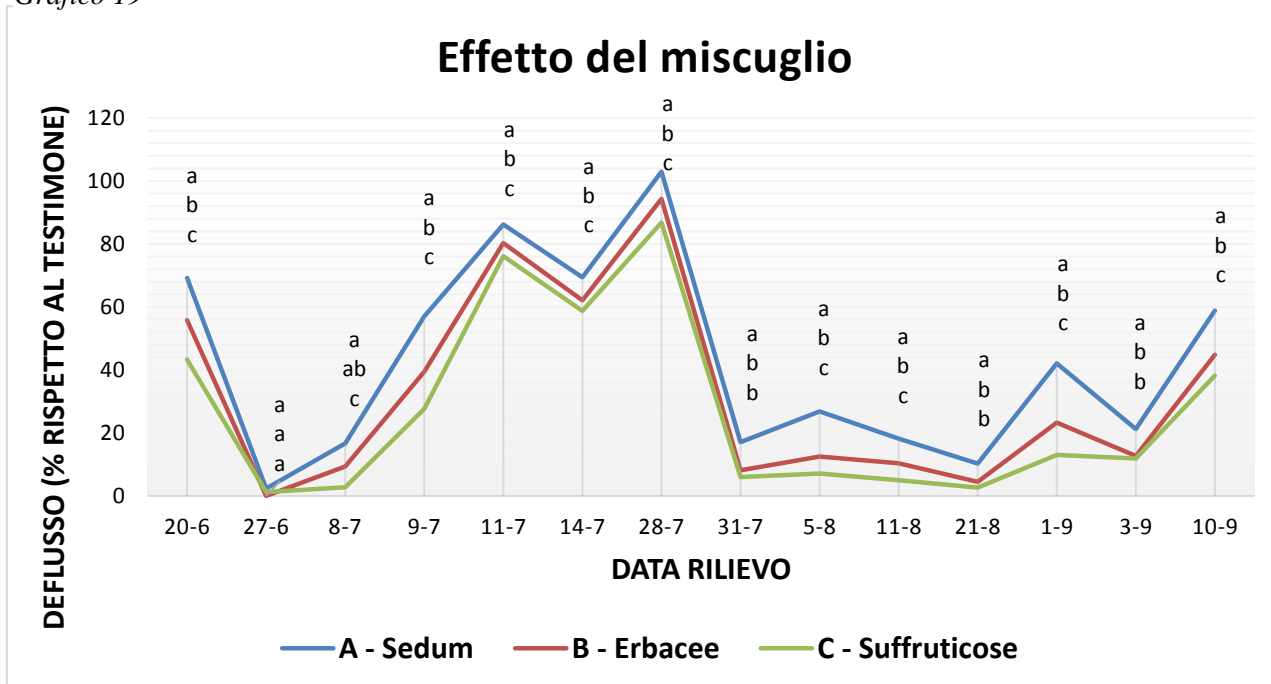


Interazione "substrato x drenaggio" rilievo del 10/09



L'evento piovoso di una settimana dopo, ha evidenziato come il deflusso aumentasse ulteriormente e soprattutto nel caso dei sistemi con perlite. Si sono rilevati valori significativamente simili nei due sistemi che presentano Vulcaflor come substrato. Deflussi inferiori si sono avuti con il substrato ZinCo soprattutto in presenza di perlite. Quest'ultimo con un deflusso poco superiore al 30 % a fronte di una precipitazione poco superiore ai 25 l/m² (dato medio dei testimoni).

Grafico 19



Il Grafico 19 riporta l'effetto principale del miscuglio ovvero il comportamento dei vari miscugli in seguito ad ogni evento di pioggia evidenziando quali specie vegetali (mix) hanno contribuito maggiormente alla riduzione del deflusso. Dall'analisi della varianza sono emerse differenze significative in termini di deflusso a seconda del mix scelto sulle varie tesi. In tutti i casi le tesi con il miscuglio a *Sedum* sono quelle che hanno rilasciato più acqua. Questo è dovuto principalmente alla crescita delle piante e alle loro caratteristiche come un apparato radicale più superficiale e meno profondo.

Il miscuglio a base di erbacee perenni si è sempre classificato per avere valori di deflusso inferiori al *Sedum*, le piante utilizzate sono comunque più vigorose e sono cresciute più velocemente. Le graminacee presentavano già apparati radicali profondi. L'area fotosintetizzante è maggiore ed anche l'aumento della traspirazione permette un consumo d'acqua superiore quando questa risulta disponibile.

Il terzo miscuglio, di suffruticose, è risultato quello significativamente migliore nel trattenere maggiori quantità d'acqua indipendentemente dal sistema di drenaggio o di substrato. Come si vedrà in seguito però il substrato ha comportato valori differenti di sviluppo dei miscugli nel tempo e nella fase successiva alla messa a dimora. Anche in questo caso la presenza di specie vegetali a più rapido accrescimento fogliare e radicale ha avuto un effetto positivo in termini di gestione sostenibile dei deflussi. Interessante sarà poter osservare l'andamento dei deflussi dei tre miscugli anche nella

stagione autunno-invernale, con eventuali situazioni di precipitazioni nevose ed anche con la variazione della quantità di specie presenti e l'eventuale morte di alcune con conseguente riduzione di traspirazione e fotosintesi.

Complessivamente si può dichiarare che l'intensa quantità di piogge ha permesso di avere una quantità di valori sufficienti per poter osservare differenze o similitudini in questa prima fase fra i sistemi in base alla quantità di acqua precipitata, in base alla presenza o meno di acqua nel sistema quando si è verificato l'evento di pioggia ed in base al tipo di vegetazione locale utilizzata.

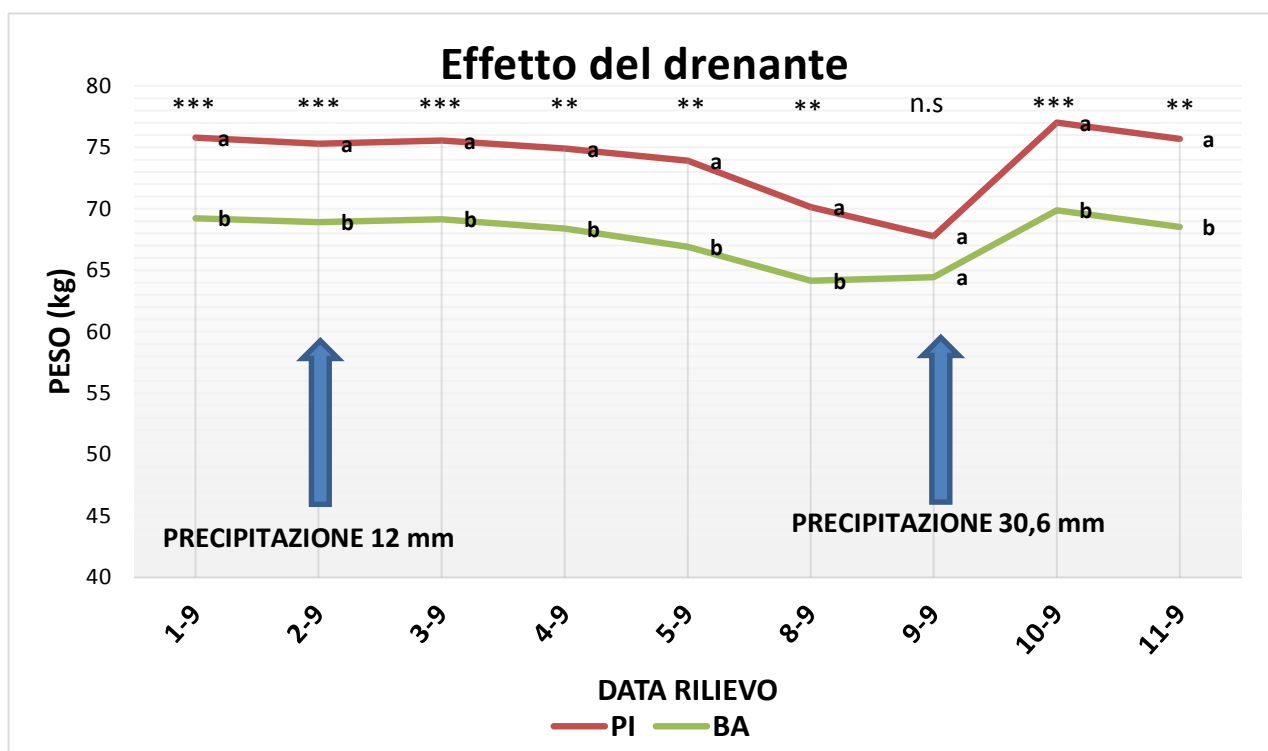
5.4. PESO DIRETTO DELLE CASSETTE – DATI RACCOLTI E ANALISI

Per valutare quale fosse il peso di ciascuna cassetta e valutare l'eventuale differenza fra un sistema ed un altro, si sono misurati i pesi diretti di un blocco per due settimane quasi ogni giorno (weekend escluso). In quest'arco di tempo gli eventi di pioggia sono stati due con intensità differenti. I pesi delle piante nei vari miscugli, visto lo sviluppo ancora in fase di crescita, non sono stati considerati e a livello statistico con l'analisi ANOVA hanno dimostrato non essere un parametro che potesse indicare significatività. Cosa diversa è emersa nel caso del tipo di drenante. Evidenziandone un'alta significatività in quasi tutti i rilievi. La tabella seguente mostra i valori misurati (chilogrammi) (substrato-strato drenante-peso delle piante ed acqua):

Pesi (kg) rilevati											
mix	sub	dren	1-9	2-9	3-9	4-9	5-9	8-9	9-9	10-9	11-9
A	VU	BA	72	71,95	72,33	71,48	70,71	67,92	67,03	72,17	71,233
A	ZN	BA	68,18	68	67,91	66,92	66,2	62,62	62,08	66,84	65
A	VU	PI	76,63	75,96	75,91	75,4	74,68	71,42	70,45	75,83	75,65
A	ZN	PI	79,73	79,52	80,43	79,89	79,75	75,09	71,73	81,48	79,86
B	VU	BA	70,49	70,06	70,38	69,88	69,03	65,63	64,46	71,25	69,952
B	ZN	BA	68,81	68,16	68,25	67,57	65,07	63,52	69,74	69,72	68,79
B	VU	PI	74,33	73,24	73,03	71,87	70,51	68,95	63,33	74,54	71,8
B	ZN	PI	74,76	74,42	74,63	73,93	72,71	68,95	67,62	76,32	75,108
C	VU	BA	67,62	67,48	68,03	67,17	64,03	62,89	62,06	69,37	67,64
C	ZN	BA	68,32	67,79	68,02	67,33	66,33	62,35	61,21	69,95	68,471
C	VU	PI	75,64	75,38	75,33	74,99	74,2	70,84	66,74	76,34	75,48
C	ZN	PI	73,58	73,23	73,95	73,33	71,67	65,59	66,74	77,55	76,26

Il Grafico 20 mostra l'interazione fra il peso rilevato ed il tipo di drenante. Le cassette con il drenante della Perlite Italiana mostrano un peso maggiore nel tempo rispetto a quelle con il drenante della Bauder. Evidenziando come in questa prima fase sia l'elemento drenante la parte del sistema che influenza maggiormente il peso. Interessante sarà sicuramente vedere come nel tempo anche la vegetazione possa influire su questo parametro e analizzare come l'evapotraspirazione possa ridurre il peso ed in quanto tempo. Un andamento che rispecchia le prove con i simulatore di pioggia.

Grafico 20



5.5. TEMPERATURA DEL SUBSTRATO – DATI RACCOLTI E ANALISI

Precedentemente è stato descritto come si è svolta la prova al chiuso con il simulatore di pioggia utilizzando le sonde di temperatura. Nella prova all'aperto le sonde sono state poste all'interno di 12 cassette ad una profondità di 6 cm dalla superficie dello strato colturale in posizione centrale. La raccolta dei dati di temperatura è iniziata dalla settimana 21 (19 maggio) sino alla settimana 37 (14 settembre) rilevando la temperatura ogni 10 minuti. L'elaborazione dei dati medi settimanali è avvenuta con il modello statistico ANOVA ha messo in evidenza come, nel primo periodo, quando le piante erano più piccole, il substrato ZN avesse temperature superiori al VU (Grafico 21). Su questo parametro non ha avuto effetto né il miscuglio, né il sistema drenante.

Grafico 22

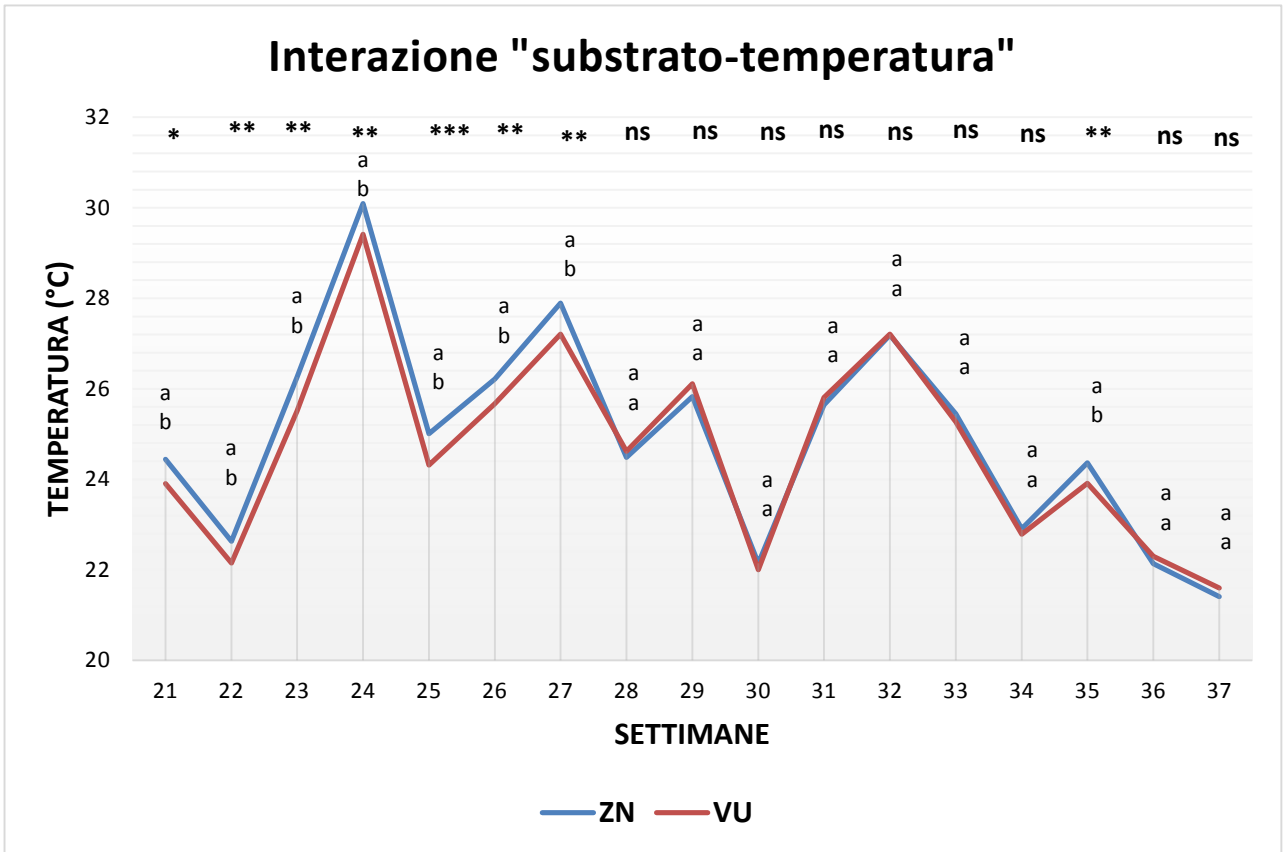
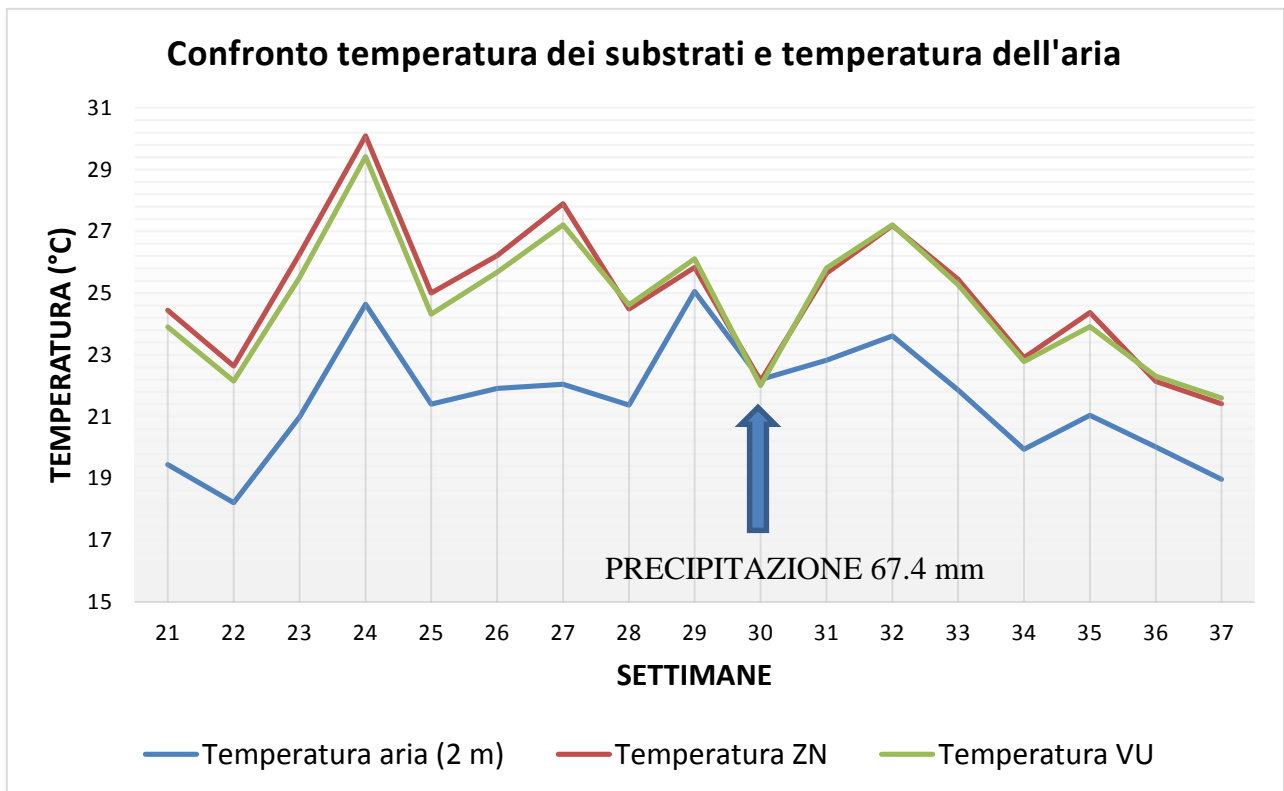


Grafico 21



La temperatura dei due diversi substrati è stata poi confrontata con il valore medio della temperatura dell'aria a due metri dalla superficie fornito dall'ARPAV. Si vede dal Grafico 21 come l'andamento sia molto simile a quello della temperatura nei substrati, sino a raggiungere un punto di uguaglianza in seguito ad un forte evento di pioggia nella settimana numero 30. Lo scostamento medio fra la temperatura dell'aria e la temperatura del substrato con laterizio è risultata essere pari a 3,45 °C, mentre nel caso del substrato con lapillo vulcanico è di 3,19 °C.

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Differenza ZN-aria	5,00	4,42	5,28	5,45	3,61	4,30	5,85	3,11	0,77	-0,05	2,82	3,58	3,59	2,97	3,32	2,12	2,44
Differenza VU-aria	4,46	3,93	4,53	4,77	2,91	3,76	5,17	3,25	1,06	-0,20	2,98	3,59	3,41	2,84	2,87	2,29	2,63

Analizzando i risultati si può constatare come il substrato della ZinCo abbia avuto mediamente una temperatura maggiore rispetto al substrato Vulcaflor. Questo può essere dovuto alla differente composizione. Nel momento in cui il substrato si riempie di acqua riesce a mantenere una temperatura prossima, se non anche inferiore rispetto a quella del Vulcaflor.

Sarà sicuramente interessante analizzare la temperatura quando la copertura vegetale avrà ricoperto in modo uniforme le cassette. Così come è interessante il dato nella stagione autunnale-invernale.

La temperatura misurata in Veneto nei tre mesi (giugno, luglio ed agosto) è risultata più fresca rispetto alla norma. I valori massimi giornalieri hanno evidenziato scarti fra i -1 e -2 °C. Sono complessivamente le temperature massime più fresche dell'ultimo ventennio. Le temperature minime stagionali invece sono in linea con i valori medi. Le ondate di caldo si sono registrate tra il 7 ed il 13 giugno, ed una seconda tra il 15 ed il 20 luglio. L'andamento così descritto è frutto di circolazioni cicloniche con presenza di masse d'aria fresche ed umide in origine dal nord Europa, l'Anticiclone delle Azzorre non ha quindi influenzato le temperature sulla nostra Penisola.

5.6. LO SVILUPPO DELLA VEGETAZIONE – DATI RACCOLTI E ANALISI

In seguito all'analisi fotografica eseguita per ciascuna tesi si è proceduto all'elaborazione dei dati, un esempio delle foto fatte è dimostrato nella Figura 78 (in questo caso riferito ad una delle cassette con miscuglio A, substrato in laterizio e strato drenante con perlite). Il risultato ottenuto attraverso MatLab, invece è quello visibile nella Figura 79.

I valori di canopy closure raccolti nelle quattro epoche (una volta al mese da giugno a settembre), sono stati evidenziati graficamente e raggruppati per le differenti combinazioni di strato colturale e strato drenante.

Rilievo 18/6 Sedum_ZN_PI



Rilievo 18/7 Sedum_ZN_PI



Rilievo 18/8 Sedum_ZN_PI



Rilievo 18/9 Sedum_ZN_PI



Figura 78 Rilievo fotografico su una tesi con Sedum, substrato con laterizio e strato di accumulo e drenaggio perlite

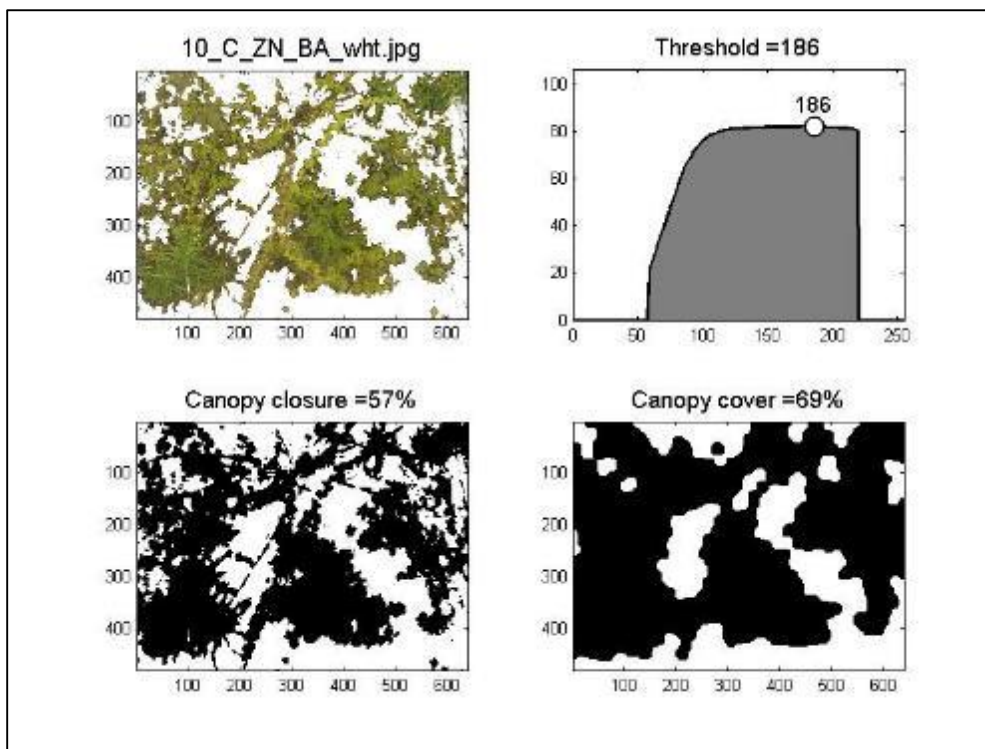
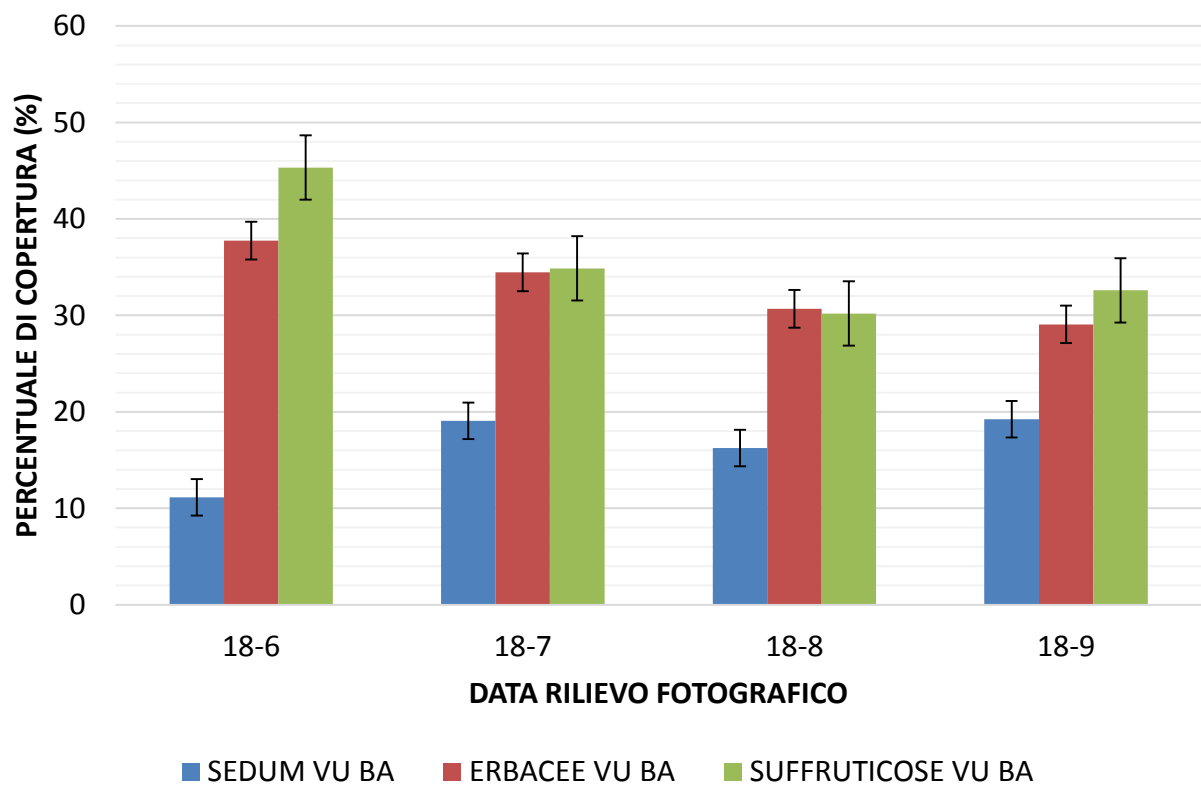


Figura 79 Elaborazione delle immagini attraverso MatLab

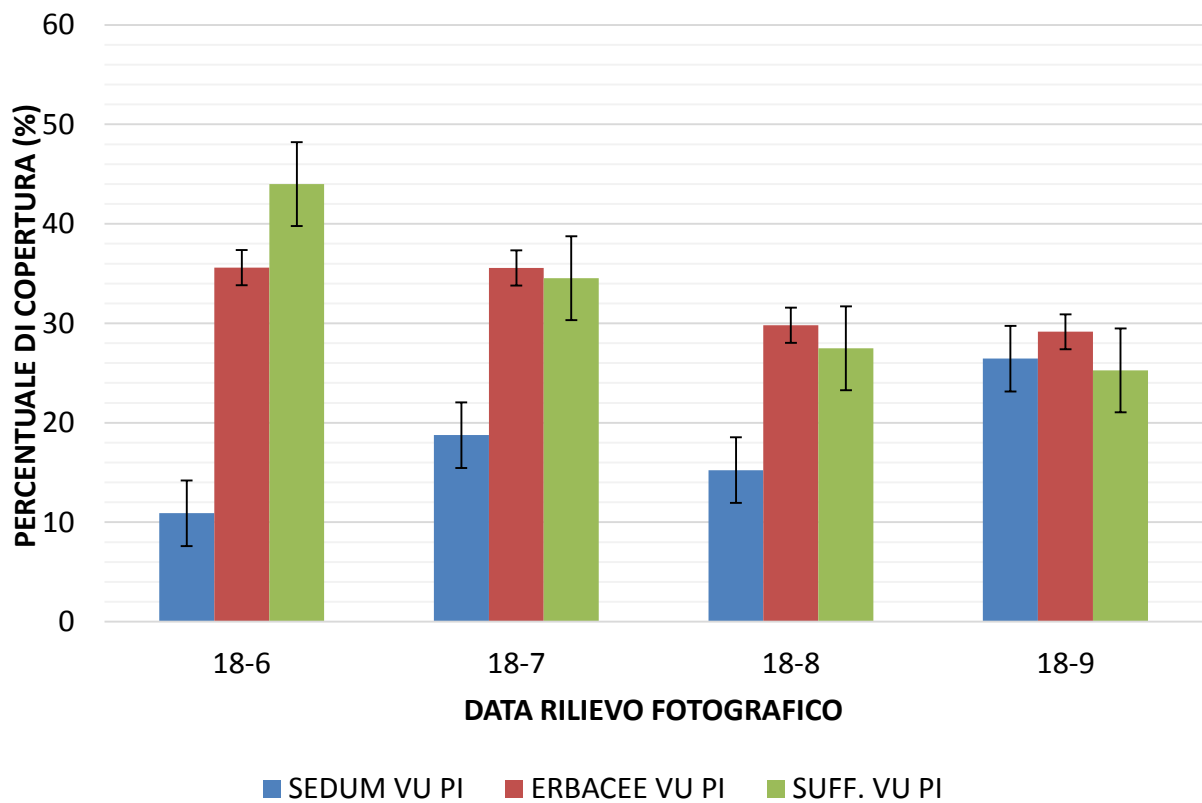
			Percentuale di copertura Canopy closure			
			18/6	18/7	18/8	18/9
SEDUM	VU	PI	10,91	18,76	15,24	26,45
ERBACEE	VU	PI	35,61	35,56	29,81	29,15
SUFF.	VU	PI	44,00	34,54	27,49	25,27
SEDUM	VU	BA	11,13	19,07	16,25	19,22
ERBACEE	VU	BA	37,75	34,47	30,68	29,06
SUFF.	VU	BA	45,32	34,87	30,19	32,60
SEDUM	ZN	PI	16,64	31,19	29,24	36,76
ERBACEE	ZN	PI	38,32	46,92	37,31	44,99
SUFF.	ZN	PI	52,04	51,78	42,55	51,05
SEDUM	ZN	BA	10,89	24,52	24,17	26,00
ERBACEE	ZN	BA	33,27	37,98	27,31	37,91
SUFF.	ZN	BA	41,78	50,95	37,67	47,89

Tabella 20 Valori medi percentuali delle coperture vegetali sulle varie tesi

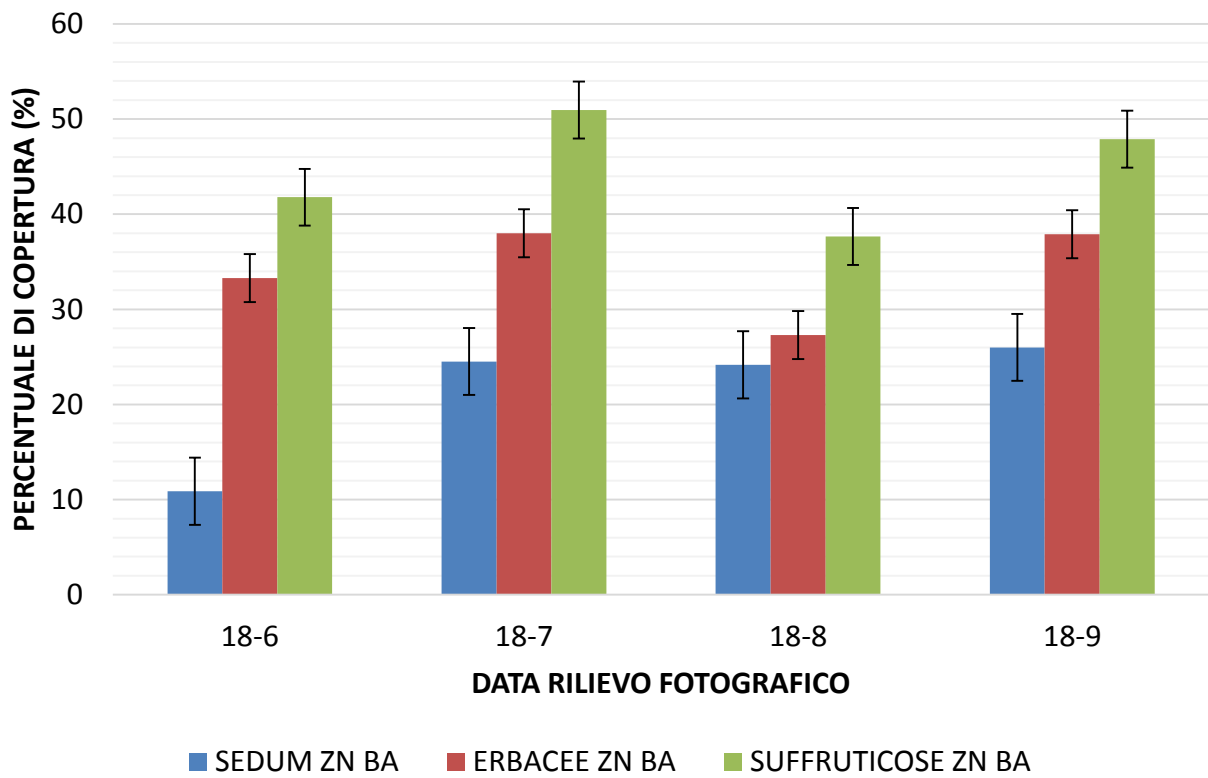
Percentuale di copertura dei miscugli su VU-BA



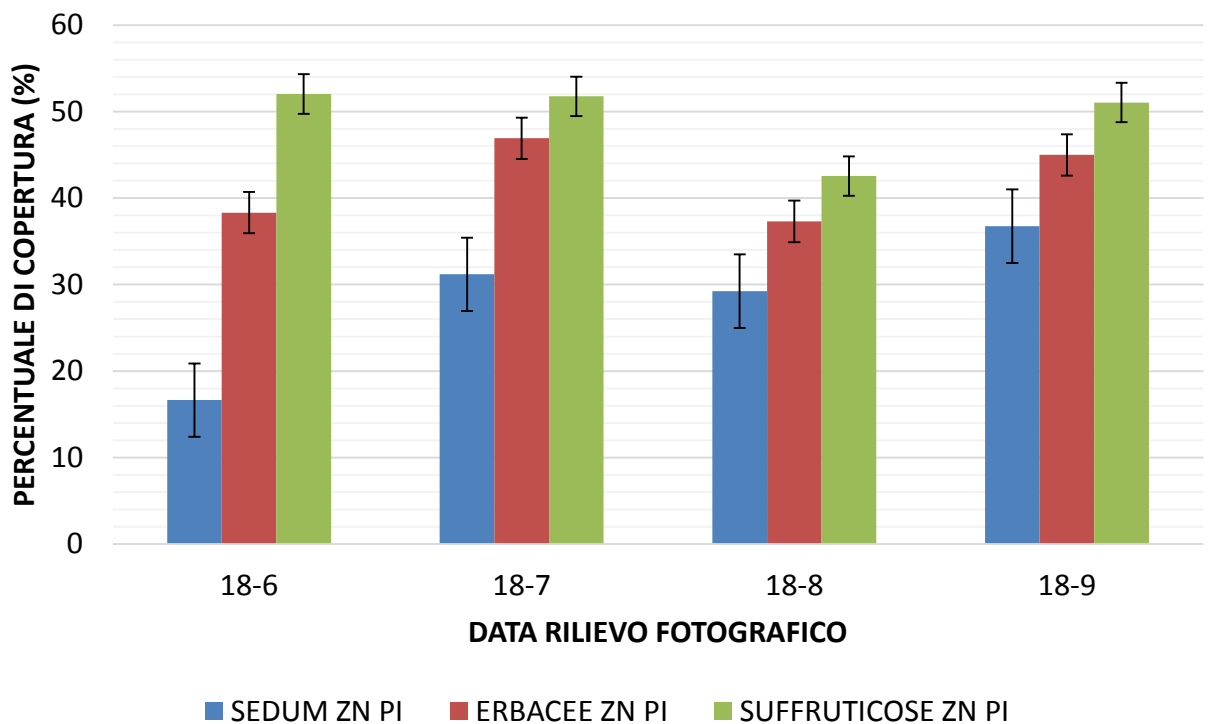
Percentuale di copertura dei miscugli su VU-PI



Percentuale di copertura dei miscugli su ZN-BA



Percentuale di copertura dei miscugli su ZN-PI



In primo luogo va evidenziato che le piante messe a dimora non hanno avuto problemi di affrancamento e, salvo una eccezione (il *Dianthus hyssopifolius* su una tesi VU-PI) tutte le piante sono sopravvissute e hanno mostrato un iniziale buon accrescimento. Le piogge frequenti e la presenza di sostanza organica hanno sicuramente aiutato lo sviluppo delle giovani piante evidenziando valori percentuali di copertura maggiori sin da subito nel caso dei sistemi con substrato ZinCo. Successivamente si è assistito ad un aumento costante della crescita del *Sedum* in tutti e quattro i sistemi, mentre andamenti di crescita differenti si sono assistiti a seconda della tipologia di sistema per quanto riguarda erbacee e suffruticose. Nel caso delle erbacee la percentuale di copertura è rimasta praticamente uguale dal primo rilievo nei sistemi con substrato vulcanico e drenante in perlite ed un leggero calo con drenante con elementi preformati, mentre in entrambi i microcosmi con substrato ZinCo “roccia fiorita” c’è stata una crescita netta più marcata in presenza dello strato drenante PI (quasi il 47% di copertura). Per quanto riguarda le suffruticose invece si è riscontrato un calo marcato dopo il primo rilievo in entrambi i sistemi con substrato VU, mentre nei sistemi con substrato della ZN le percentuali medie hanno raggiunto e superato il 50% di copertura. Il mese di agosto ha evidenziato una leggera sofferenza in tutti i miscugli molto più marcata con substrato Vulcaflor e con ZinCo - Bauder, fra questi il miscuglio a *Sedum* ha subito un rallentamento nella crescita seppur meno evidente rispetto agli altri, per poi ricominciare a crescere nel mese di settembre. In particolar modo la combinazione ZN-PI è risultata essere quella con maggior copertura sia nel tempo che in base al tipo di miscuglio. In generale sicuramente nell’ultimo rilevamento si è riscontrato un aumento rapido e costante nella crescita dei miscugli, anche se sicuramente con maggiori livelli percentuali nei microcosmi ZN-PI.

La presenza più o meno uniforme e/o rada della vegetazione sulle diverse tesi si accosta ai valori di deflusso ricavati, evidenziando sicuramente come a parità di aumento della vegetazione e di specie vegetali impiegate vi sia una diminuzione della quantità di deflusso in seguito agli eventi meteorici. Le specie vegetali che si sono rivelate essere le più vigorose e meno soggette ai fattori esterni come l’alternanza di forti piogge e sole diretto sono la *Potentilla pusilla*, il *Thymus serpyllum*, l’*Euphorbia* oltre ai vari *Sedum* (nessuna moria). Stazionari nella crescita i *Dianthus*, le graminacee (*Bromus* e *Melica*), l’*Artemisia* e l’*Anthemis*. Una crescita più stentata con colorazione tendente al giallo l’ha evidenziata il *Clinopodium* anche se in seguito alla fioritura si è disseminato un quantitativo elevato di semi con la nascita di giovani piantine; stessa situazione si è verificata anche nel caso dei *Dianthus* sp.. Sofferente con una parziale moria successiva alla fioritura è risultata esser la *Campanula*, interessante sarà osservare se si svilupperanno giovani piantine in seguito alla disseminazione.

Va ricordato che in nessun caso è stato apportato concime oltre a quello già presente all'interno dello strato di coltivazione. Non si sono eseguite operazioni di manutenzione straordinaria. Sarà sicuramente interessante osservare l'andamento negli anni delle specie vegetali soprattutto in termini di propagazione e copertura delle cassette. La Tabella 21 negli allegati permette di avere una visione totale di tutte le foto fatte durante i 4 rilievi.

6. CONCLUSIONI

Osservando i risultati delle prove emergono chiaramente i primi aspetti positivi. Il sistema tetto verde nel complesso reagisce sicuramente in modo migliore rispetto ad una pura e semplice copertura piana priva di elementi di accumulo e drenaggio. Il periodo in cui si è svolta la prova, pur essendo nella stagione estiva, ha permesso di ottenere una serie di dati per analizzare l'andamento dei deflussi in virtù delle frequenti piogge.

Una prima considerazione la si può esprimere proprio sulla gestione delle acque meteoriche: si può sicuramente evidenziare come questa sia sostenibile per l'ambiente urbano presentando vantaggi interessanti per le reti di drenaggio con effetti positivi sulla trattenuta in-situ e sulla laminazione dei volumi di pioggia. In particolare, le simulazioni su eventi con tempi di ritorno di 30 anni (intensità di pioggia 30,23 mm in 10 min) hanno evidenziato che ciascun sistema tetto verde, quando si parte da condizioni di substrato e strato drenante asciutti, può trattenere quantitativi importanti di pioggia, rilasciandoli lentamente. Più precisamente, escludendo la copertura vegetale, il sistema con lapillo vulcanico e strato di accumulo e drenaggio preformato è quello che da saturo pesa meno (164 kg/m²) e trattiene un'altezza di pioggia massima pari a 58,82 mm; invece il sistema con substrato a base di laterizio e sistema di accumulo e drenaggio con sacchi di perlite riesce a trattenere 63,86 mm (+ 8,5%), con un peso finale a saturazione superiore (178 kg/m²). I valori comunque rientrano all'interno degli standard di peso che normalmente caratterizzano i sistemi estensivi. Interessante è anche il dato relativo al ritardo di deflusso dai sistemi: pur con un evento di pioggia considerato molto intenso, essi hanno iniziato a lasciar defluire l'acqua solo dopo un tempo variabile tra i 18 e i 21 minuti dall'inizio dell'apporto di pioggia e con una certa lentezza. Solo il sistema lapillo + preformato dal momento di inizio del deflusso ha iniziato a perdere praticamente la stessa quantità che veniva apportata con il simulatore.

Nel caso di un tempo di ritorno pari a 2 anni (intensità di pioggia pari a 16,24 mm in 10 min) i sistemi si sono comportati in modo analogo alla prova con tempo di ritorno di 30 anni, ma in questo

caso il sistema con peso saturo inferiore (161 kg/m^2) è risultato essere quello con substrato a base di laterizio e sistema di accumulo e drenaggio con materiale preformato. Il sistema laterizio + perlite è risultato nuovamente il sistema che riesce a trattenere più acqua con peso maggiore (175 kg/m^2).

L'indice di efficienza, riferito al sistema che per ogni chilo di sistema secco riesce a trattenere più acqua, ha evidenziato come il sistema con laterizio + perlite riesca a trattenere $0,55 \text{ l/kg}$, rispetto agli $0,47 \text{ l/kg}$ del sistema peggiore (vulcanico + perlite).

L'analisi dei volumi drenati nelle taniche in seguito ad ogni evento di pioggia verificatosi dal 20/6 al 10/9 ha evidenziato differenze significative tra i microcosmi tetto verde, ma sempre comunque con valori elevati di deflussi di pioggia gestiti. Nel caso peggiore (sistema con miscuglio Sedum, substrato con lapillo e accumulo/drenaggio preformato) si è assistito ad una gestione di quasi il 53% della precipitazione totale, che ha raggiunto valori prossimi al 77% per il sistema con miscuglio di suffruticose, substrato con laterizio e sacchi in perlite. Il testimone con ghiaia ha trattenuto un quantitativo in percentuale pari al 21% della precipitazione totale del periodo, da cui si può dedurre come una copertura a tetto verde presenti dei vantaggi considerevoli rispetto ad una tradizionale.

L'analisi statistica ha evidenziato come tutti gli elementi (miscuglio, substrato, strato di accumulo e drenaggio) che compongono ciascun microcosmo siano significativamente legati ai valori di drenaggio.

L'interazione substrato x strato drenante è l'unica che ha dato valori significativi, indicando ancora una volta come sicuramente il lapillo influenzi positivamente il sistema sia esso con substrato in lapillo che in laterizio, quest'ultimo con risultati migliori.

Per quanto riguarda le variazioni di temperatura nei substrati, queste hanno seguito quelle dell'aria discostandosi di poco da essa; per entrambi i substrati lo scostamento medio della temperatura media è stato inferiore ad $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Le pesate delle cassette effettuate durante le due settimane di rilievi hanno evidenziato che il peso totale è influenzato prevalentemente dal peso dello strato di accumulo e drenaggio con valori prossimi ai 180 kg/m^2 nel caso di sistemi con perlite, indipendentemente da substrato e miscuglio.

La vegetazione, seppur nelle prime fasi di sviluppo, ha comunque permesso di osservare valori diversi fra miscuglio e miscuglio su combinazioni differenti di strato colturale e strato drenante. Lo sviluppo più rapido delle piante erbacce e suffruticose ha sicuramente rallentato la crescita di malerbe rispetto al miscuglio con Sedum. Valori di copertura maggiori (di poco superiori al 50%) si sono verificati nei sistemi con substrato a base di laterizio, migliori in quello con drenante in perlite, con

valori costanti salvo un calo leggero per quanto riguarda erbacee e suffruticose nel mese di agosto. Diversamente, in presenza di substrato in lapillo da luglio si è verificata una crescita lenta del *Sedum* mentre si è assistito a un calo nello sviluppo delle erbacee (non si raggiunge il 40%) e delle suffruticose (solo nel caso di strato di drenaggio in preformato si supera di poco il 30%).

I primi risultati dimostrano che se gli edifici (specie quelle industriali con tetto piano, di cui è ricco il territorio veneto) fossero coperti in buona parte da tetti verdi si potrebbe ottenere una fortissima riduzione nei volumi d'acqua che si riversano nelle reti di drenaggio e fognatura delle aree urbane, anche in termini di laminazione delle piene. Questi sistemi vegetati sono in grado di rallentare il deflusso senza compromettere il carico gravante sull'edificio, dimostrandosi elementi importanti su cui investire visti i sempre più frequenti eventi temporaleschi, spesso correlati a notizie di danni verso cose o persone. La gestione del territorio è un elemento importante e i tetti verdi possono costituire sistemi di integrazione delle grandi opere per la messa in sicurezza delle aree urbane, in grado di apportare altri benefici quali la riduzione dell'inquinamento dell'aria, l'isolamento acustico e termico degli edifici, la riduzione dell'effetto "isola di calore", oltre all'aumento della biodiversità vegetale e animale.

7. BIBLIOGRAFIA

Articoli scientifici

- Akbari, H., M. Pomerantz and H. Taha (2001). "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas." Solar Energy **70**(3): 295-310.
- Barrio, E. P. D. (1998). "Analysis of the green roofs cooling potential in buildings." Energy and Buildings **27**(2): 179-193.
- Benvenuti, S. and D. Bacci (2010). "Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs." Urban Ecosystems **13**(3): 349-363.
- Berardi, U., A. GhaffarianHoseini and A. GhaffarianHoseini (2014). "State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs." Applied Energy **115**(0): 411-428.
- Busato, F., R. M. Lazzarin and M. Noro (2014). "Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results." Sustainable Cities and Society **10**(0): 251-258.
- Connelly, M. and M. Hodgson (2008). Sound transmission loss of extensive green roofs - Field test results.
- Czemiel Berndtsson, J. (2010). "Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review." Ecological Engineering **36**(4): 351-360.
- Dunnett, N., A. Nagase, R. Booth and P. Grime (2008). "Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments." Urban Ecosystems **11**(4): 385-398.
- Eumorfopoulou, E. and D. Aravantinos (1998). "The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece." Energy and Buildings **27**(1): 29-36.
- Johnston, J., J. Newton and L. E. Unit (1993). Building Green: A Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements, Ecology Unit.
- Köhler, M., M. Schmidt, F. Wilhelm Grimme, M. Laar, V. Lúcia de Assunção Paiva and S. Tavares (2002). "Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics." Environmental Management and Health **13**(4): 382-391.
- Korhonen, L. and J. Heikkinen (2009). "Automated Analysis of in Situ Canopy Images for the Estimation of Forest Canopy Cover." Forest Science **55**(4): 323-334.

- McMahon, R. F. and A. E. Bogan (2001). 11 - Mollusca: Bivalvia. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates (Second Edition). J. H. Thorp and A. P. Covich. San Diego, Academic Press: 331-429.
- Mentens, J., D. Raes and M. Hermy (2006). "Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?" Landscape and Urban Planning **77**(3): 217-226.
- Mirzaei, P. A. and F. Haghghat (2010). "Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations." Building and Environment **45**(10): 2192-2201.
- Niachou, A., K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis and G. Mihalakakou (2001). "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance." Energy and Buildings **33**(7): 719-729.
- Oberndorfer, E., J. Lundholm, B. Bass, R. R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. KÖHler, K. K. Y. Liu and B. Rowe (2007). "Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services." BioScience **57**(10): 823-833.
- Oke, T. R. (1988). Boundary layer climates, 2nd edn, Routledge, London.
- Olivieri, F., C. Di Perna, M. D'Orazio, L. Olivieri and J. Neila (2013). "Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate." Energy and Buildings **63**(0): 1-14.
- Qiu, G.-y., H.-y. Li, Q.-t. Zhang, W. Chen, X.-j. Liang and X.-z. Li (2013). "Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture." Journal of Integrative Agriculture **12**(8): 1307-1315.
- Roberts, S. M., T. R. Oke, C. S. B. Grimmond and J. A. Voogt (2006). "Comparison of Four Methods to Estimate Urban Heat Storage." Journal of Applied Meteorology and Climatology **45**(12): 1766-1781.
- Robine, J.-M., S. L. K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel and F. R. Herrmann (2008). "Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003." Comptes Rendus Biologies **331**(2): 171-178.
- Rosenfeld, A. H., H. Akbari, J. J. Romm and M. Pomerantz (1998). "Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction." Energy and Buildings **28**(1): 51-62.
- Sailor, D. J. (2008). "A green roof model for building energy simulation programs." Energy and Buildings **40**(8): 1466-1478.

- Sojak, J. (2010). "Origin of *Potentilla crantzii*, *P. verna* and *P. puberula* (Rosaceae) with a note on the nomenclature of *P. pusilla*." Feddes-journal: 3-4, 112-116.
- Spohn, M., D. Aichele, R. Sphon and M. Golte-Bechtle (2011). Che fiore è questo? Roma, Franco Muzzio editore.
- Starry, O., J. D. Lea-Cox, J. Kim and M. W. van Iersel (2014). "Photosynthesis and water use by two *Sedum* species in green roof substrate." Environmental and Experimental Botany **107**(0): 105-112.
- VanWoert, N. D., D. B. Rowe, J. A. Andresen, C. L. Rugh, R. T. Fernandez and L. Xiao (2005). "Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth." J Environ Qual **34**(3): 1036-1044.
- Wolf, D. and J. T. Lundholm (2008). "Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability." Ecological Engineering **33**(2): 179-186.
- Yang, J., Q. Yu and P. Gong (2008). "Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago." Atmospheric Environment **42**(31): 7266-7273.

Libri, atti di convegno, articoli di riviste e siti internet

- Abram, P. (2006). *Verde pensile in Italia e in Europa*. Milano: Il Verde Editoriale S.r.l.
- Abram, P. (2011). *Il verde pensile*. Napoli: Sistemi Editoriali.
- AIVEP. (2014). *AIVEP*. Tratto da AIVEP: www.aivep.it
- Bengtsson. (2005).
- Bixio, V., & Fiume, A. (2002). *Caratterizzazione delle piogge intense sul bacino scolante nella laguna di Venezia*.
- Bixio, V., Alvisè, F., Gisella, P., Paolo, P., Adriano, B., & Francesco, R. (2002). *Caratterizzazione delle piogge intense sul bacino scolante nelle laguna di Venezia*. Padova.
- Bortolini L. Zanin G., Macolino S. 2013. Gestione di un tetto verde intensivo leggero: taglio tradizionale e mulching a confronto. Atti delle X Giornate Scientifiche SOI. Campus di Agripolis, Padova, 25-27 giugno.

Brenneisen, S. (2003). The benefits of Biodiversity from Green Roofs - Key Design Consequences. *Proceeding from Greening Rooftops for Sustainable Communities, First North American Green Roof Infrastructure Conference*, (p. 323-329). Chicago.

Brenneisen, S. (s.d.). Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*.

Brian Stone, J. (2004). Paving over paradise: how land use regulations. *Elsavier*.

Climate Environmental Protection Partnership Division - EPA. (2008). *Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies - Green Roofs*. EPA.

Connelly, M., & Hodgson, M. (2008). Sound transmission loss of green roofs. In: Sixth annual greening rooftops for sustainable communities conference. *Awards and Trade Show*.

Costantini, D., Rocca, P., & Treu, A. (2002). *Piano territoriale di settore Medio Corso del Brenta*. Tratto da <http://www.provincia.padova.it/ambiente/pianobrenta/>

Dalla Fior, G. (1985). *La nostra flora*. Trento: G. B. Monauini.

Decagon. (2014). *Decagon device*. Tratto da Decagon device, Inc.: www.decagon.com

Del Favero, R. (2000). *Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto*. Regione del Veneto.

EPA - United States Environmental protection Agency. (2003). *EPA*. Tratto da EPA: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>

Europomice. (2013). *Europomice S.r.l.* Tratto da <http://www.europomice.it/wp-content/uploads/2011/03/www.europomice.it/VULCAFLOR-Scheda-Tecnica-Feb-2013.pdf>

F. Busato, R.M. Lazzarin, & M. Noro. (2013). Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Elsavier*, 251-252.

Gregoretti, C. (2004, 02). Elementi di statistica per idrologia - Corso di Idraulica ed Idrologia.









ISTAT. (2010). *ISTAT*. Tratto da Istat.it: http://noi-italia2011.istat.it/index.php?id=7&user_100ind_pi1%5Bid_pagina%5D=4&cHash=c63700a6f62d1a833059ac4bfe5a86c6












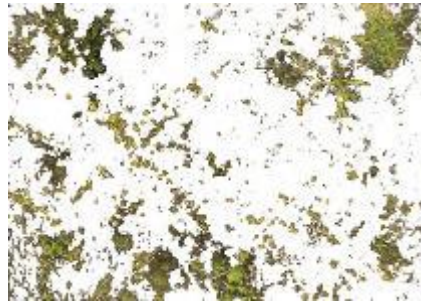
Jean-Marie Robinea, Siu Lan K. Cheung, Sophie Le Roy, Herman Van Oyen, Clare Griffiths, Jean-Pierre Michel, & François Richard Herrmann. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Elsavier*.













- Jones, H. G. (2013). *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental plant Physiology*. Cambridge University Press.
- Liu, K., & Baskaran, B. (2003). Thermal Performance of Green Roofs Through field evaluation. *Nazionale Research Coundl Canada*.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC: Island Press.
- Perlite Italiana. (2013). *Perliroof*. Tratto da perlite: http://www.perlite.it/vedit/15/img_download/Giardini-pensili.pdf
- Pignatti, S. (1982). *Flora d'Italia*. Edagricole.
- Rech, F., & Delillo, I. (2012). *Precipitazioni sul Veneto anno 2012 - ARPAV*.
- Rech, F., & Delillo, I. (2013). *Precipitazioni sul Veneto anno 2013 - ARPAV*.
- Ryerson University. (2005). *Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto*. Toronto.
- Shepard, P. (1995). 'Nature and Madness' in Roszak, T, Gomes, M & Kanner, AD (eds) *Ecopsychology*. San Francisco: Sierra Club.
- Simmons, M. T., Gardiner, B., & Windhager, S. (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic. *Spinger Science + Business Media*.
- susDrain. (2012). *SusDrain*. Tratto da SusDrain: <http://www.susdrain.org/>
- Thomas, M. S., & Smith, R. L. (2009). *Elementi di Ecologia*. Pearson.
- UNI. (2014). *UNI*. Tratto da UNI Ente Italiano di Normazione: http://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2775%3Adetrazioni-fiscali-per-le-coperture-a-verde&catid=170&Itemid=2612
- ZinCo Italia. (s.d.). Tratto da Zinco-italia: http://www.zinco-italia.it/download/pianificazione/ZinCo_catalogo_generale.pdf





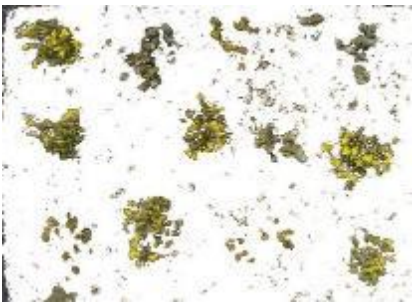







ALLEGATI

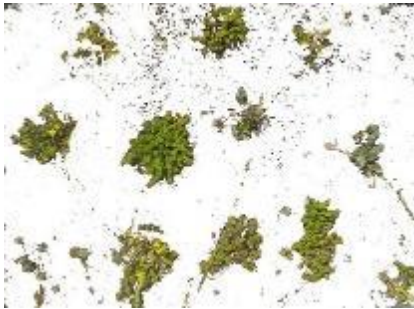










Tabella 21 Tabella riassuntiva delle fotografie relative ai rilievi mensili dal 18/6 al 18/9

CODICE	RILIEVO FOTOGRAFICO 18/06/2014	RILIEVO FOTOGRAFICO 18/07/2014	RILIEVO FOTOGRAFICO 18/08/2014	RILIEVO FOTOGRAFICO 18/09/2014
2. A_VU_PL_1				
3. B_VU_PL_1				

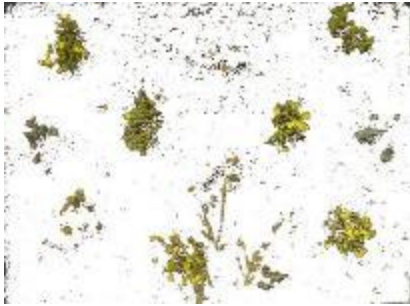







<p>4. C_VU_BA_1</p>				
<p>5. B_ZN_BA_1</p>				
<p>6. C_VU_PL_1</p>				









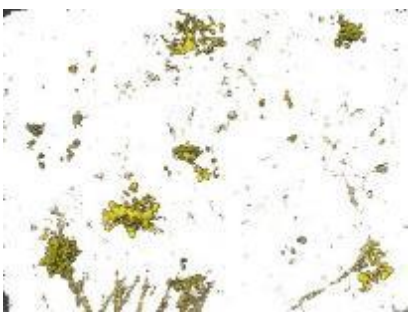

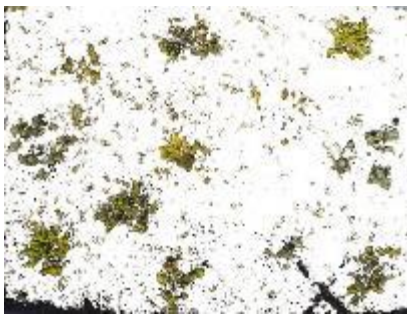

7. C_ZN_PL_I				
8. B_ZN_BA				
9. C_ZN_BA_I				





10. C_ZN_BA_1				
11. A_VU_BA_1				
12. B_VU_BA_1				













13. A_ZN_PI_1				
14. C_ZN_BA_2				
15. B_VU_BA_2				



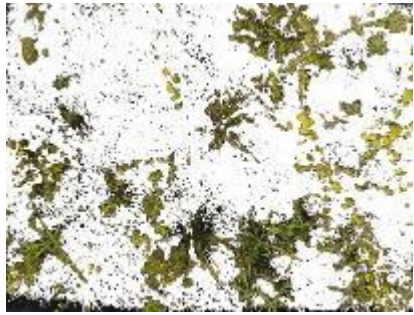

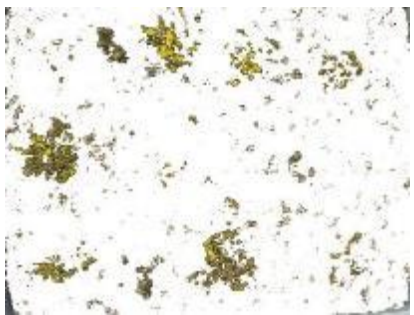



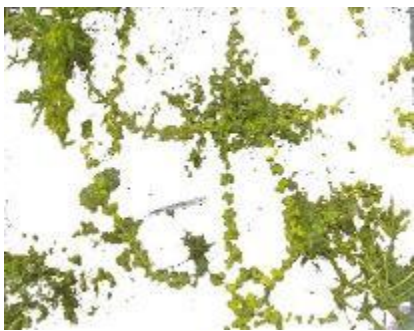



16. A_ZN_PI_2				
18. C_VU_BA_2				
19. B_ZN_BA_2				









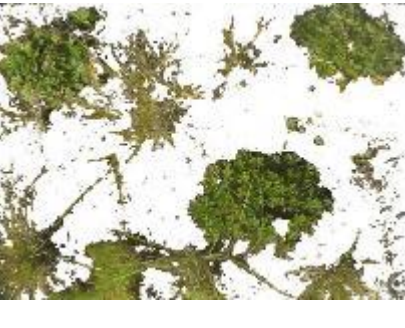
20. A_ZN_BA_2				
21. B_VU_PI_2				
22. C_ZN_PI_2				

23. A_VU_PI_2				
24. B_ZN_PI_2				
25. A_VU_BA_2				

26. C_VU_PI_2				
27. A_VU_BA_3				
28. B_VU_BA_3				

29. A_ZN_PI_3				
30. C_VU_PI_3				
31. B_ZN_BA_3				

32. C_VU_BA_3				
34. A_VU_PI_3				
35. C_ZN_BA_3				

36. B_VU_PI_3				
37. C_ZN_PI_3				
38. B_ZN_PI_3				

39. A_ZN_BA_3



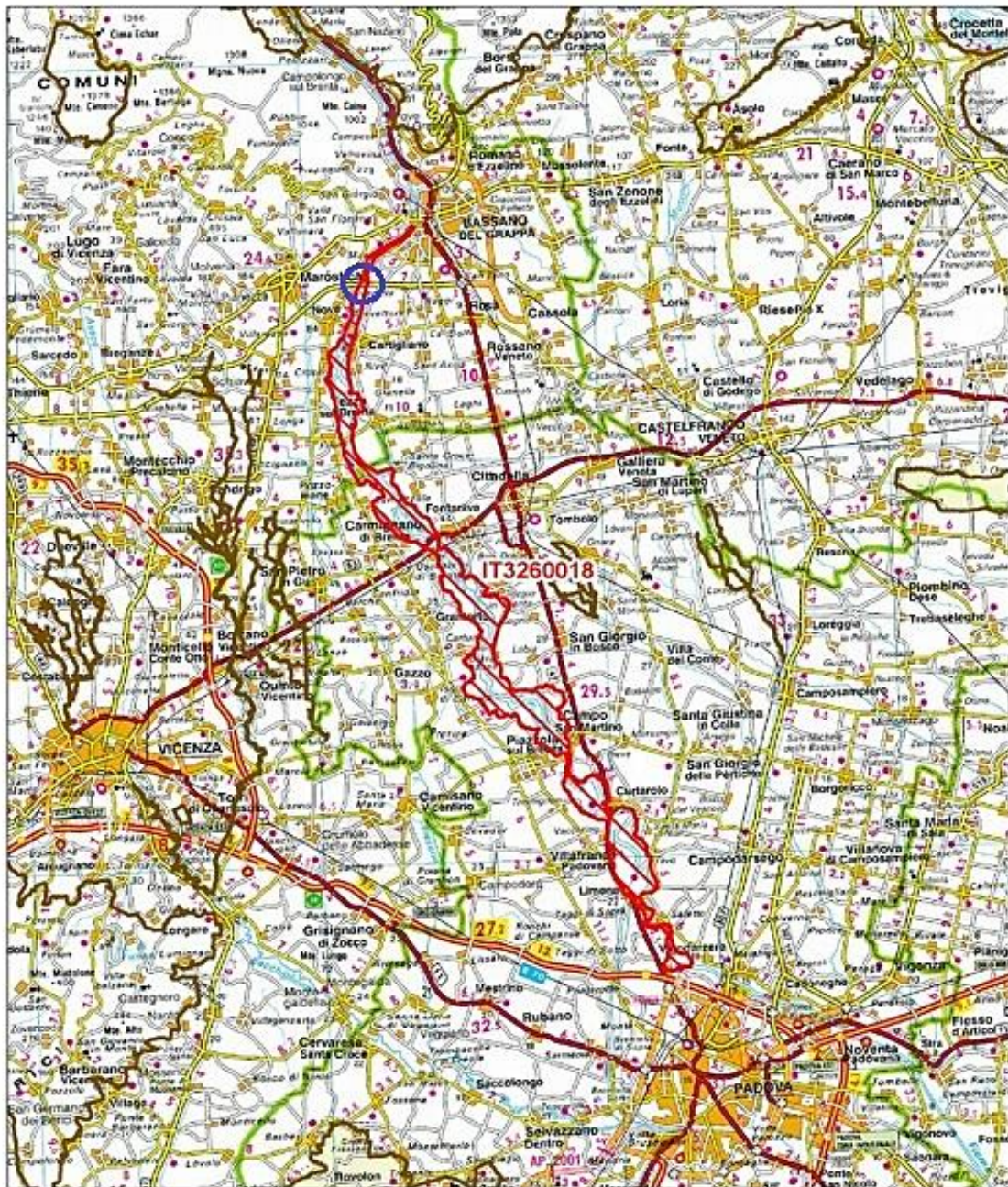


Regione: Veneto

Codice sito: IT3260018

Superficie (ha): 3848

Denominazione: Grave e Zone umide della Brenta



Data di stampa: 07/12/2010

0 2 4 Km

Scala 1:250'000



Legenda

 sito IT3260018

 altri siti

Base cartografica: De Agostini 1:250'000

Figura 80 Area di raccolta in zona SIC/ZPS (cerchio blu)