

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

Curriculum in Progettazione e Gestione delle Aree Verdi

**Prime valutazioni idrologiche e vegetazionali sui
microcosmi di tetto verde ad Agripolis**

Relatore:

Prof.ssa Lucia Bortolini

Correlatore:

Dott. Francesco Bettella

Dott. Giampaolo Zanin

Laureando:

Edoardo Mancinelli

Matricola n. 1084514

Anno Accademico 2014 - 2015

INDICE

Riassunto	1
Abstract	2
1. Introduzione	3
1.1 Evoluzione del verde pensile: dall'antichità ai giorni nostri	4
1.2 Servizi ecosistemici (Ecosystem Services) legati alla presenza del verde	11
1.3 Benefici di una copertura verde in ambiente urbano	12
1.3.1 Gestione sostenibile delle acque meteoriche	13
1.3.2 Effetti nelle prestazioni termodinamiche degli edifici e riduzione dei costi	15
1.3.3 Riduzione dell'effetto isola di calore urbano (Urban Heat Island-U.H.I)	20
1.3.4 Miglioramento della qualità dell'aria e riduzione degli inquinanti	24
1.3.5 Aumento della durata del tetto nel tempo	27
1.3.6 Valore ecologico e tutela della biodiversità	27
1.3.7 Valore estetico e benessere	29
1.4 Normative di riferimento, Leggi Nazionali e politiche di sostegno alla realizzazione di tetti verdi	30
1.4.1 Norma UNI 11235:2007	30
1.4.2 Normativa Nazionale	33
1.4.2.1 Legge Regionale del Veneto	35
1.4.3 Normativa europea	35
2. Tipologie e caratteristiche di un tetto verde	36
2.1 Generalità	36
2.1.1 Tetto verde estensivo	36
2.1.2 Tetto verde intensivo	38
2.1.3 Principali differenze tra tetto verde estensivo e tetto verde intensivo	40
2.2 Composizione di un tetto verde	41
2.2.1 Stratigrafia ed elementi di un tetto verde	41
3. Obiettivi	52
4. Caratteristiche ambientali	54
4.1 Inquadramento geografico dell'area di studio	54
4.2 Lineamenti climatici	57

5. Materiali e metodi	61
5.1 Materiale vegetale utilizzato	61
5.2 Cassoni di simulazione dei tetti verdi	80
5.3 Simulatore di pioggia	83
5.3.1 Taratura del simulatore di pioggia	86
5.3.2 Analisi statistico probabilistica delle piogge	87
5.3.3 Procedura di realizzazione delle prove con simulatore di pioggia	89
5.4 Raccolta dei dati di deflusso	89
5.4.1 Irrigazione di emergenza	91
5.5 Raccolta dei dati di temperatura	92
5.6 Rilievo fotografico della copertura vegetale e raccolta dei dati di copertura	93
5.7 Concimazione dei cassoni di simulazione	95
5.8 Interventi di manutenzione	97
5.9 Analisi statistica dei dati	97
6. Risultati e discussioni	99
6.1 Risultati ottenuti dalle simulazioni di pioggia	99
6.1.1 Pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e substrato saturo	100
6.1.2 Pioggia con tempo di ritorno di 30 anni e substrato saturo	105
6.2 Risultati ottenuti dalla misura dei deflussi di pioggia	112
6.2.1 Analisi statistica sui deflussi invernali	116
6.2.2 Analisi statistica sui deflussi primaverili	118
6.2.3 Analisi statistica sui deflussi totali	123
6.3 Risultati ottenuti dal rilievo della temperatura	127
6.4 Risultati ottenuti dall'analisi della copertura vegetale	129
7. Conclusioni	134
8. Bibliografia	136
8.1 Sitografia	139

Riassunto

Questo lavoro di tesi è inserito nel più ampio Progetto di Ateneo “*In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain*” realizzato presso il Campus di Agripolis a Legnaro (PD) con lo scopo principale di analizzare la gestione dei deflussi meteorici mediante i tetti verdi nella pianura padano-veneta, evidenziando come si comportano diverse combinazioni di materiali differenti e miscugli vegetali di origine locale, adatti alle particolari condizioni che si creano al di sopra di una copertura verde.

Obiettivi fondamentali di questo studio sono stati l’analisi del comportamento idraulico di due tipologie di substrato di coltivazione utilizzati per la realizzazione dei microcosmi di tetto verde con diverse intensità di pioggia, l’analisi dei volumi di percolazione in seguito ad ogni evento di pioggia, la valutazione della temperatura all’interno del substrato e l’osservazione degli accrescimenti delle specie vegetali utilizzate. A tale scopo sono state condotte delle prove in laboratorio con simulatore di pioggia, sono stati raccolti e rielaborati i dati relativi ai volumi drenati dopo ogni evento di pioggia, sono state raccolte le temperature interne ai substrati ed effettuate periodicamente delle fotografie della vegetazione per l’analisi della copertura vegetale.

I risultati ottenuti con il simulatore di pioggia hanno evidenziato una maggiore capacità di trattenuta idrica per il substrato di coltivazione con laterizio rispetto a quello con lapillo vulcanico; allo stesso modo, l’analisi dei volumi di acqua drenati in seguito ad eventi piovosi ha permesso di osservare una maggiore capacità di ridurre i deflussi da parte del primo substrato, con effetti ancora più significativi in combinazione con lo strato di accumulo e drenaggio con sacchi di perlite e miscuglio di piante erbacee suffruticose. Al contrario, i microcosmi di tetto verde costituiti da miscuglio di *Sedum*, substrato di coltivazione in lapillo e strato drenante in pannelli in PE preformato hanno rilasciato un maggior quantitativo di acqua. Non si sono evidenziate significative variazioni di temperatura tra i substrati mentre le maggiori percentuali di copertura sono state garantite dal miscuglio di Suffruticose, soprattutto se in combinazione con substrato in laterizio e strato drenante in perlite.

Tali risultati positivi evidenziano come i tetti verdi siano un sistema molto efficace da adottare in ambito urbano per la gestione delle acque meteoriche in quanto permettono di trattenere, ridurre e rallentare l’acqua piovana diretta alla rete di scolo.

Abstract

This thesis is part of a wider faculty project, “*In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain*”. It was carried out in the Agripolis Campus of Legnaro (PD), with the aim of analyzing the management of stormwater runoffs by means of green roofs in the Padan-Venetian plain, highlighting the behavior of combinations of different materials and local plants mixture, suitable for the particular conditions above a green cover.

The main goals of this study have been the analysis of the hydraulic behavior of two types of plants substrate, used to create green roofs microcosms, with different rain intensity, the measurement of percolation volumes after every rain shower, the evaluation of temperature in the substrate and the observation of plants species growth. To do this, laboratory tests with a rain simulator have been made, data on the drained amounts of water have been collected and elaborated, temperatures of the substrates have been checked and picture of the vegetation have been taken periodically to assess its coverage.

The results obtained with the rain simulator showed that the plant and brick substrate has a higher water retainment capacity, compared to the volcanic layer substrate; equally, the analysis of the volumes of drained water after the rainfalls showed a higher reduction of runoffs for the plant and brick substrate, which is even more effective if combined with the aggregation and drainage layer made of perlite bags and suffrutescent plants mixture. On the contrary, green roof microcosms made of Sedum mixture, volcanic substrate and PE panels drainage substrate released a larger amount of water. There have not been significant temperature changes between the substrates, while higher percentages of coverage have been granted by the suffrutescent plants mixture, particularly if combined with brick substrate and perlite drainage layer.

Such positive results show that green roofs are highly-effective systems, which are to be implemented in urban centers to manage stormwater, as they enable to retain, reduce and slow down the rainwater going down to the drainage system.

1. Introduzione

Secondo uno studio pubblicato dall'ISPRA nel 2012, si parla di verde pensile in ogni caso in cui si intenda impiantare della vegetazione su uno strato colturale di vario tipo sopra ad un supporto strutturale impermeabile, come ad esempio una soletta di cemento, un solaio, una copertura in legno o in metallo ed in generale in tutti in quei casi in cui non c'è continuità ecologica tra il verde impiantato ed il sottosuolo.

La tematica del verde pensile, soprattutto negli ultimi anni, sta riscuotendo un notevole interesse grazie alle sue caratteristiche intrinseche che lo rendono un sistema estremamente interessante e virtuoso da applicare in ambito urbano. Studi recenti hanno dimostrato, infatti, che il verde pensile può svolgere un importante ruolo nella gestione delle acque piovane, accumulando parte dell'acqua di pioggia e limitando i deflussi derivanti da essa (Fioretti et al., 2010).

In particolare, il problema della gestione delle acque meteoriche in ambiente urbano si sta facendo sempre più pressante, anche alla luce dei recenti eventi accaduti in diverse grandi città italiane. La grande cementificazione avvenuta negli ultimi decenni ha portato i sistemi di gestione dei deflussi nelle aree urbanizzate ad un livello critico; come se non bastasse i recenti cambiamenti climatici sembrano generare eventi di pioggia di intensità sempre maggiore. I sistemi a verde pensile potrebbero subentrare in questa situazione come una soluzione di supporto nella mitigazione dei problemi legati ai deflussi delle acque piovane. Se ci si pensa bene, una buona parte della superficie delle aree densamente urbanizzate è occupata dalle coperture degli edifici e riuscire a recuperare parte di questa enorme superficie per destinarla al verde pensile significherebbe restituire alle aree urbanizzate parte della loro superficie drenante. Ogni tetto potrebbe quindi trasformarsi in una piccola area drenante con discreta capacità di accumulo d'acqua, la quale verrebbe rilasciata nei sistemi di scolo solo in parte e in modo graduale nel tempo (Rosina G., 2014).

L'intensa cementificazione e l'urbanizzazione sfrenata degli ultimi decenni, non hanno causato solo un problema legato allo smaltimento dei deflussi delle acque piovane, ma anche l'aumento della temperatura dell'aria e delle superfici con il conseguente effetto isola di calore urbano (Urban Health Island - 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 et al., 2014). Il microclima urbano viene così modificato, andando a creare problemi per la salute della popolazione come nel caso dell'Agosto 2003 in cui si registrarono quasi 50.000 decessi in tutta Europa (Mirzaei and Haghghat, 2010; Robine et al., 2008) a causa dell'aumento della temperatura globale a piccola e a grande scala.

Anche in questi casi l'utilizzo di coperture vegetali risulta molto positivo. Grazie al processo dell'evapotraspirazione le piante combattono l'effetto isola di calore che si crea abitualmente in zone densamente edificate. Ancora, nonostante la vegetazione subisca gli effetti dell'inquinamento, è allo stesso tempo il principale strumento attraverso il quale gli inquinanti possono essere reinseriti nei sistemi naturali grazie all'intercettazione, la restituzione al terreno e la rielaborazione biologica; i principali inquinanti ridotti sono: ossidi di azoto (rimossi per assorbimento fogliare e talvolta utilizzati dalla pianta come fonte di azoto), anidride solforosa (assorbita e ridotta anche se in grandi quantità risulta tossica per la pianta), monossido di carbonio (rimosso in piccole quantità), composti del cloro (rimossi con efficacia), ozono (rimosso in maniera molto efficace ma risulta rapidamente tossico per molte specie). Inoltre, le coperture a verde pensile garantiscono anche un miglioramento dell'efficienza termodinamica degli edifici in cui sono installate e contribuiscono all'aumento del valore ornamentale e paesaggistico all'interno e all'esterno delle aree urbane.

1.1 Evoluzione del verde pensile: dall'antichità ai giorni nostri

La presenza di uno spazio verde è da sempre una costante dell'urbanizzazione in tutte le civiltà; si intende così il verde in città come un elemento connettivo dell'impianto urbano che descrive una rete complessa formata da parchi, viali, giardini, orti urbani e aree per giochi e sport. Se da un lato, la presenza del verde urbano è stata sempre una costante in tutte le civiltà, dall'altro, le sue funzioni si sono molto evolute e modificate nel corso dei secoli: gli spazi verdi erano infatti luoghi sacri nell'antichità, di raccoglimento e meditazione nel Medioevo e luoghi di lusso e meraviglie riservati alle famiglie aristocratiche nel 1800. Ma ora, l'ampliarsi dell'utilizzo della vegetazione mette in evidenza una pluralità di funzioni del verde urbano e soprattutto del verde pensile che diventano elementi sempre più presenti e tutelati all'interno delle città.

La ricostruzione dell'evoluzione nel tempo del verde pensile è comunque molto complicata, soprattutto per la difficoltà nel reperire fonti o reperti che possano indicare con certezza dove e quando un edificio era ricoperto di verde. Se si dovesse 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 negli anni '70 dove finalmente si ha avuto via via una vera espansione del suo utilizzo.

L'evoluzione nel tempo dei tetti verdi, come riportato da Abram P. nel 2006, può benissimo essere suddivisa in tre periodi storici:

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

Dall'antichità al 1865

L'esempio principale di verde pensile o giardino pensile, in questo caso, è quello relativo ai Giardini pensili di Babilonia, città che fu edificata nel territorio attuale dell'Iraq a 90 km circa a Sud di Bagdad. Costruiti come dono alla sua sposa, la regina Semiramide, da Nabucodonosor (605-562 a.C.) dopo che questi ebbe liberato Babilonia dal giogo degli Assiri facendola tornare per qualche tempo la capitale dell'impero babilonese, i giardini pensili sorgevano su un'altura naturale, tramite terrazze impermeabilizzate con bitume e regolarmente irrorate e drenate da un sistema molto complesso di irrigazione, che faceva salire l'acqua anche nei punti più alti. (Fig. 1.1).



Fig. 1.1 Possibile ricostruzione dei Giardini pensili di Babilonia (<http://www.roccioso.it/>).

I giardini, posti probabilmente vicino al palazzo reale, in posizione sopraelevata, contenevano ogni tipo di vegetazione allora conosciuta, compresi alberi ad alto fusto, per cui lo spettacolo era visibile anche dall'esterno delle mura a coloro che si avvicinavano alla città. La vegetazione utilizzata andava da quella erbacea sino a quella arborea, in primis cipressi e palme; sembra 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 disposte 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 grazie alla presenza del fiume Eufrate nelle vicinanze. Sicuramente i Giardini pensili

di Babilonia rappresentano uno dei primi esempi di tetto verde intensivo. Gli antichi testi affermavano che i Giardini pensili di Babilonia erano il solo luogo della città in cui era stata utilizzata la pietra. Anche Erodoto, che amava in maniera spiccata certe particolarità, dedica un lungo paragrafo a questi luoghi, che gli storici menzionano fra le sette meraviglie del mondo. Dopo uno studio particolareggiato dei testi antichi ed un attentissimo scavo, l'archeologo Robert Koldewey arrivò alla conclusione che le strutture a volta presso la Porta Ishtar erano realmente la base di sostegno dei famosi Giardini pensili di Babilonia (<http://www.roccioso.it/>).

Dal IX secolo a.C. si possono trovare in Italia esempi e reperti ancora intatti risalenti 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 ottenendo così una sorta di cumulo.

In seguito il verde pensile venne 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 che sembra risalire al 29 a.C. (Fig. 1.2). Come nei Giardini pensili di Babilonia veniva molto utilizzato il cipresso che per la cultura classica simboleggiava la vita e la gloria eterna.

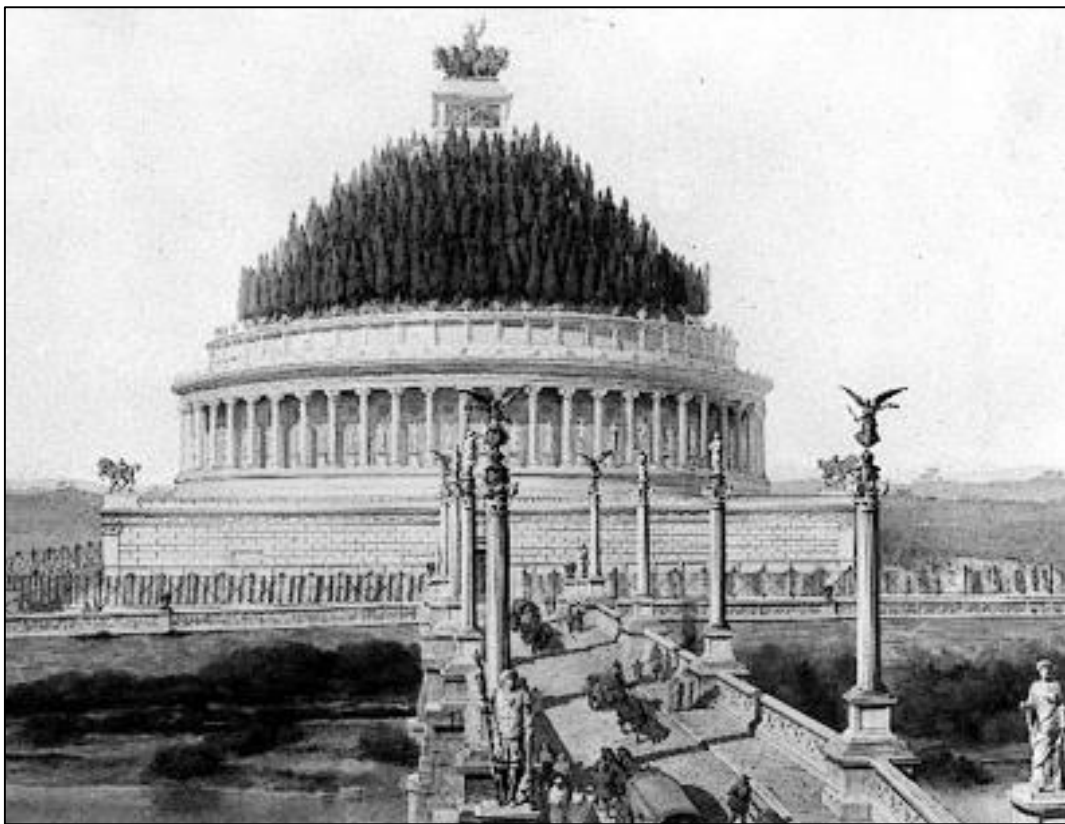


Fig. 1.2 Possibile ricostruzione del Mausoleo di Augusto (<http://www.prolocoroma.it/>)

Il secondo mausoleo, testimone dell'utilizzo del verde pensile da parte dei romani, è 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 monumenti funerari, ma anche ville e residenze private riportano importanti testimonianze dell'utilizzo del verde. Le ville nel periodo romano erano infatti molto importanti per l'abbondante presenza del verde e di acqua. La villa dell'Imperatore Adriano a Tivoli (92 d.C.) (Fig. 1.3) 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.



Fig. 1.3 Villa di Adriano a Tivoli (<http://www.meravigliaitaliana.it/>)

Altri esempi 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 infatti 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. Altri esempi molto significativi sono: La villa di Fiesole di Giovanni de' Medici (1451) (Fig. 1.4), Palazzo Piccolomini a Piacenza, il castello di Colleparado (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 (Abram, 2006).



Fig. 1.4 Villa di Fiesole di Giovanni de' Medici (<http://www.museidifiesole.it/>)

Dal 1865 al secondo dopoguerra

E' uso convenzionale far risalire la nascita del moderno concetto di verde pensile al 1865; in quell'anno l'architetto tedesco Von Rabitz scrisse un trattato sull'impiego del giardino pensile come mezzo per raggiungere la salubrità negli ambienti densamente antropizzati; vengono infatti 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 e la poca manutenzione rispetto ai tetti di tegola, ardesia o zinco. Nel 1922, l'architetto francese Le Corbusier iniziò ad utilizzare il verde pensile come elemento che unirà l'ambiente alla società e fa del "Toit Terasse" (tetto a terrazza) uno dei 5 punti fondamentali del suo paradigma dell'architettura moderna (Fig. 1.5).



Fig. 1.5 "Toit Terasse", esempio della moderna architettura di Le Corbusier (<http://www.domuseco.it/>)

In questo periodo l'introduzione del cemento armato nelle tecniche di costruzione permette infatti di superare il modello del tetto a spioventi per realizzare edifici dalle coperture piane, migliori rispetto ai sistemi precedenti. Le Corbusier sfrutta i vantaggi del calcestruzzo armato e indica come via da seguire la realizzazione di un vero e proprio giardino sopra al tetto degli edifici. Il tetto-giardino di Le Corbusier è pensato anche come una forma di compensazione ecologica, in cui la superficie sottratta al territorio dalla pianta dell'edificio è restituita nella copertura vegetale del tetto. Nonostante questa non sia una sostituzione completamente valida dal punto di vista ecologico, perché in ogni caso il verde pensile non ricrea completamente la complessità del terreno naturale con tutti i suoi processi, è una sorta di anticipazione di uno dei problemi generati dal moderno sviluppo indiscriminato dell'urbanizzazione. La restituzione del territorio occupato tramite verde pensile potrebbe infatti quanto meno attenuare notevolmente gli effetti negativi dell'urbanizzazione, in particolare i problemi legati agli aspetti della sicurezza idraulica del territorio.

Ai giorni nostri

Al sopraggiungere degli anni '60 si osserva 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 alla carenza di spazi verdi pubblici e privati. Proprio negli anni '70 si assiste 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.

Tra i paesi più virtuosi da questo punto di vista ci sono sicuramente i Paesi del Nord Europa come Norvegia, Svezia, Irlanda e Scozia (Heinrich, 2014). In queste nazioni il clima rigido e ventoso ha portato allo sviluppo di tecniche edilizie che permettessero di prolungare la longevità delle costruzioni proteggendole dagli agenti atmosferici. Le coperture vegetali hanno assunto una grande importanza per la difesa degli edifici dalle potenti raffiche di vento che battono in particolare le zone costiere nordeuropee. In queste zone infatti, a causa del clima, la vegetazione arborea è molto limitata e quindi l'azione del vento non è ostacolata e risulta essere uno degli fattori principali di stress dei tetti. Per limitare questo problema e proteggere efficacemente le coperture degli edifici si procedeva al rivestimento degli stessi con zolle di tappeto erboso. Questa tecnica è meglio conosciuta con il nome di "mattone erboso" (Fig. 1.6).



Fig. 1.6 Esempio di verde pensile realizzato con il metodo del "mattone erboso" (<http://www.prefabbricatisulweb.it/>)

La tecnica consiste nel posizionare sul tetto prima un piccolo strato impermeabilizzante, su cui poi venivano semplicemente adagiate zolle di terreno con vegetazione erbosa. Le zolle sono poi trattenute con delle semplici sponde in legno che corrono lungo il bordo del tetto. Questa tecnica edilizia, nella sua semplicità, permette di difendere i tetti dall'azione del vento e delle piogge nonché aiuta ad isolare termicamente gli edifici.

Vengono poi i Paesi dell'Europa centro-settentrionale come Svizzera, Austria, Finlandia, ma soprattutto la Germania. Proprio in questo Stato, nel 1974, 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. 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 Servizi ecosistemici (Ecosystem Services) legati alla presenza del verde

Le principali funzioni del verde urbano, secondo il Millenium Ecosystem Assessment (MA, 2005) sono descrivibili sinteticamente in quattro grandi categorie di servizi ecosistemici (Fig. 1.7):

- **Supporto alla vita** (ciclo dei nutrienti, formazione del suolo e produzione primaria);
- **Approvvigionamento** (produzione di cibo, acqua potabile, materiali e combustibile);
- **Regolazione** (regolazione del clima e delle maree, depurazione dell'acqua, impollinazione);
- **Valori culturali** (estetico, spirituale, educativo e ricreativo).

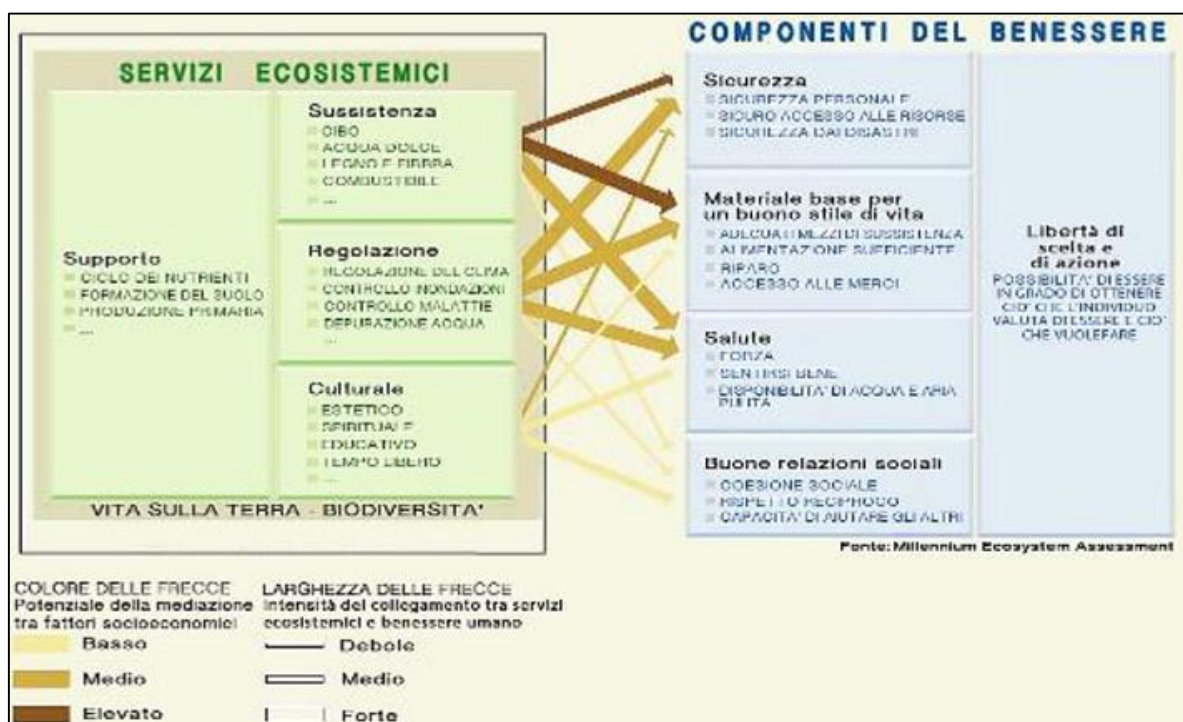


Fig. 1.7 Servizi ecosistemici (MA, 2005)

Il termine Ecosystem services è utilizzato per identificare i benefici che le persone ottengono dall'ecosistema; risulta essere l'unione, quindi, di due elementi molto importanti: l'ecosistema e il benessere dell'uomo. Le interazioni e i legami che si creano fra questi due elementi definiscono le diverse categorie di servizi ecosistemici (Fig. 1.7). Ad esempio, nella categoria *Regolazione*, sono inseriti la regolazione climatica, il controllo del disagio/malattia, la depurazione dell'acqua, ecc. Questi elementi risultano essere direttamente collegabili alla realizzazione di un tetto verde perché direttamente collegati alla sicurezza, al buon stile di vita e alla salute.

1.3 Benefici di una copertura verde in ambiente urbano

La popolazione mondiale si sta concentrando sempre di più nelle aree urbane, le quali sono quindi in costante espansione. Uno degli effetti principali di tutto ciò è l'aumento dell'area delle superfici impermeabili create a causa della cementificazione e questo crea notevoli problemi a tutti i sistemi di drenaggio e smaltimento delle acque piovane delle città stesse e dei territori limitrofi. Negli ultimi anni il problema dello smaltimento delle acque piovane sta diventando di primaria importanza nella gestione delle aree urbane, in quanto si è ormai raggiunto un livello in cui la superficie drenante è sottoposta ad uno stress al limite delle sue capacità (Morgan et al., 2013). Cercare quindi di recuperare parte della superficie drenante, o in alternativa di accumulo, è fondamentale. Ogni città possiede una grandissima superficie in tetti e riuscire a trasformare parte di questa in verde pensile potrebbe garantire numerosi benefici.

Ecco che i tetti verdi (Fig. 1.8) vanno ad identificare un particolare sistema finalizzato alla gestione delle acque meteoriche e al risparmio energetico soprattutto in ambito urbano.



Fig. 1.8 Esempio di tetto verde (<http://www.bcasa.it/>)

Si ottengono così 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 e alla comunità o all'ambiente in senso lato.

1.3.1 Gestione sostenibile delle acque meteoriche

Una delle caratteristiche principali del verde pensile è quella di trattenere una parte delle precipitazioni accumulando l'acqua sia nel terreno, sia negli strati di accumulo. Una parte di questa acqua immagazzinata viene poi restituita all'ambiente attraverso evapotraspirazione dalle specie vegetali presenti nel tetto verde. Quindi la quantità di acqua proveniente dalle precipitazioni che finisce effettivamente a carico dei sistemi di scolo è solo una parte del totale.

Un tetto verde è in grado di ridurre significativamente la percentuale di acqua meteorica che finisce nei sistemi di scolo e per Fioretti et al. (2010) un tetto verde, posto in clima mediterraneo, può trattenere anche oltre il 60% del volume di pioggia precipitata. Chiaramente la capacità di accumulare acqua varia in base alle caratteristiche del particolare esempio di verde pensile che si prende in esame: substrati differenti, metodi di drenaggio diversi e le diverse varietà delle specie vegetali influenzano in maniera differente il tasso di deflusso (Oberndorfer 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 et al., 2007) con una riduzione complessiva regionale del 2,7% dell'acqua defluita se il 10 % delle coperture fossero a tetto verde (Mentens et al., 2006).

Essendo però un tetto verde composto da più elementi, risulta molto importante, a scopo applicativo, capire quale di questi elementi svolge un'azione di riduzione del deflusso maggiore rispetto agli altri. 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 rallentarne il deflusso; invece le piante CAM, come il *Sedum*, sia per la loro funzionalità biologica che per il loro apparato radicale poco 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 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 (Tab. 1.1):

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

Tab. 1.1 Rapporto fra spessore colturale e coefficiente di deflusso (UNI 11235:2007)

La combinazione di diversi fattori ed elementi agisce quindi 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 che l'evento di pioggia fosse 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 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 (Fig. 1.9) (Czemiell Berndtsson, 2010).

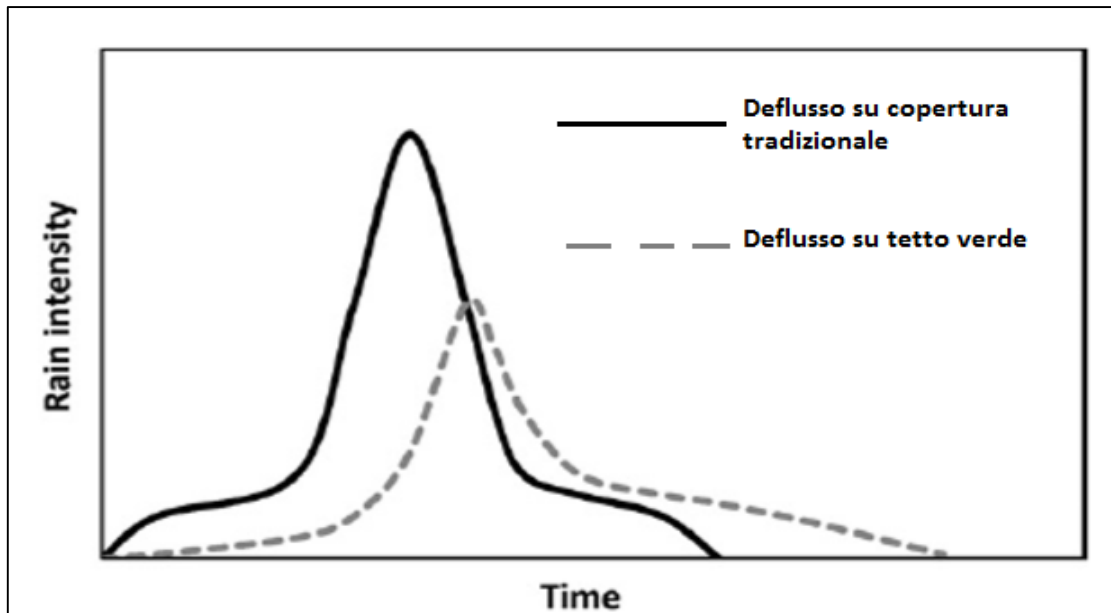


Fig. 1.9 Riduzione e ritardo del punto di picco del deflusso delle acque piovane (Czemiel Berndtsson, J., 2010)

La linea nera continua mostra l'andamento relativo al deflusso dell'acqua piovana su una copertura tradizionale, mentre quella tratteggiata è relativa al deflusso della medesima precipitazione su un tetto verde. Si vede chiaramente che il picco del deflusso è sia spostato nel tempo che ridotto per intensità. Inoltre la durata totale del deflusso è molto maggiore per la copertura a verde pensile, perché questa trattiene parte della precipitazione, accumulandola nel terreno e nello strato di accumulo, per restituirla solo tempo dopo la fine dell'evento di precipitazione.

1.3.2 Effetti sulle prestazioni termodinamiche degli edifici e riduzione dei costi

Il verde pensile garantisce anche diversi vantaggi sulle prestazioni termodinamiche degli edifici in cui è posto. Il grosso strato di terreno e la vegetazione infatti creano uno strato isolante che permette di mantenere la temperatura interna dell'edificio più costante rispetto alle soluzioni tradizionali. Circa gli effetti del verde pensile sulle prestazioni termodinamiche degli edifici ci sono diverse studi. Ad esempio Coutts et al. (2010) ha comparato le prestazioni di diverse tipologie di materiali per le coperture (acciaio, acciaio dipinto di bianco, tetto verde con vegetazione completa e copertura con solo il terreno e senza vegetazione); i risultati mostrano che la copertura a verde pensile, con la vegetazione, riesce sia a mitigare l'escursione termica tra le temperature massime e minime percepite all'interno degli edifici, sia a isolare gli stessi in modo superiore rispetto alle altre soluzioni. In particolare, oltre allo strato di terreno, un ruolo molto importante sul miglioramento delle prestazioni termodinamiche lo gioca la vegetazione e il processo di evapotraspirazione (Hodo-Abalo et al., 2012).

Va poi ricordato che un miglioramento delle prestazioni termodinamiche di un edificio si traduce in minori consumi e quindi in una riduzione delle emissioni di anidride carbonica nell'ambiente (Ouldboukhitine, 2011).

Questo perché il tetto verde si comporta come un qualsiasi organismo animale o vegetale accumulando o rilasciando energia; ovviamente il tetto verde è un “sistema” composto da più elementi inorganici e 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 (Rn). 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 (Fig. 1.10).

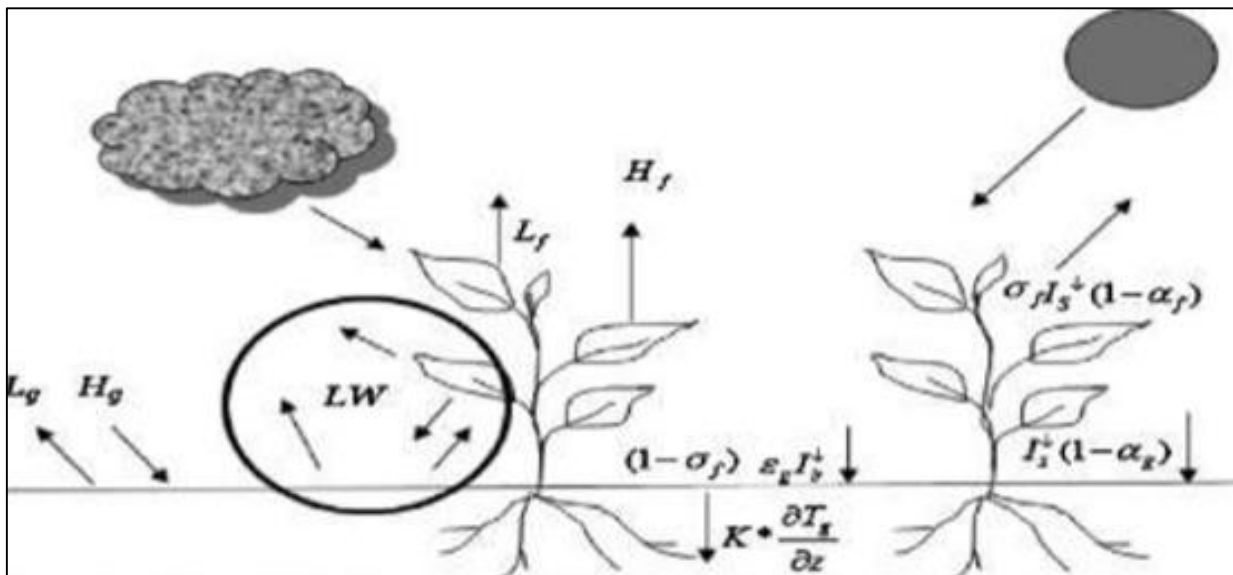


Fig. 1.10 Bilancio radiativo di una pianta (Sailor, 2008)

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 ($\epsilon\sigma(T_{cielo})^4$ – Legge di Stefan-Boltzman);

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

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

Oltre al bilancio radiativo netto di una superficie ricoperta da vegetazione o di una pianta, se si aggiungesse 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 (Fig. 1.11) (Berardi et al., 2014).

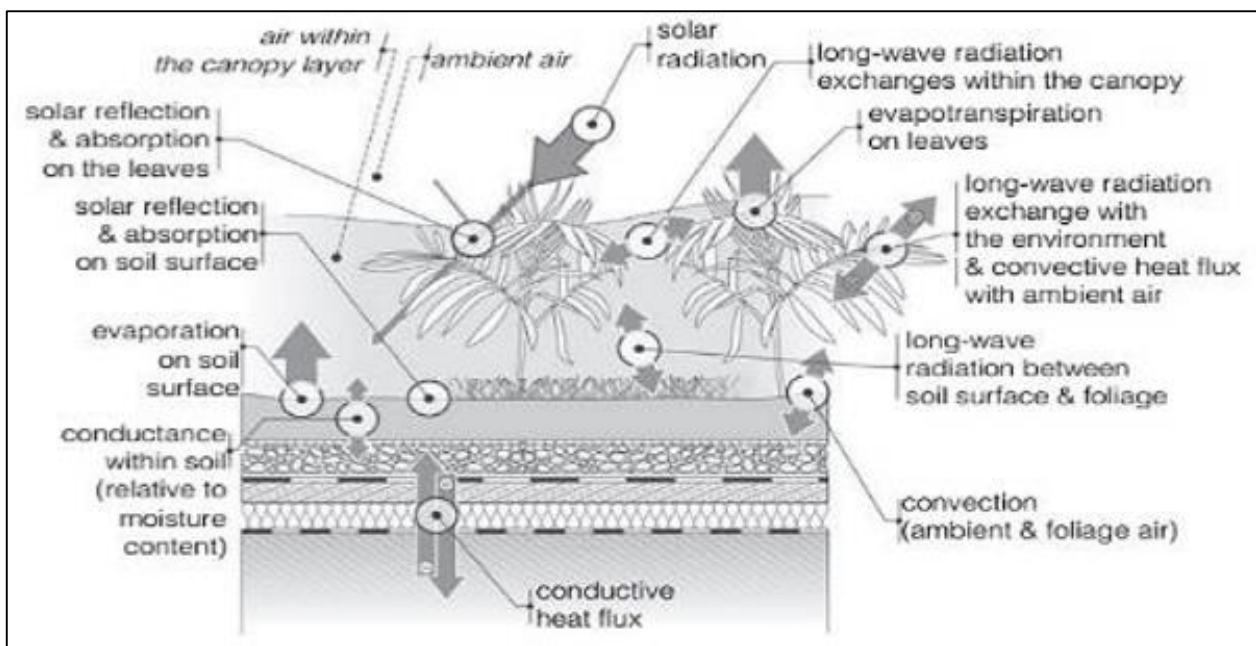


Fig. 1.11 Flussi energetici su un tetto verde (Berardi, GhaffarianHoseini et al., 2014)

Le caratteristiche della vegetazione più importanti in termini di trasferimento di calore sono **l'altezza della vegetazione**, **l'indice di area fogliare-LAI** (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 che raggiunge la superficie (Thomas & Smith, 2009), la **copertura frazionaria**, **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) 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 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). Per un tetto verde l'albedo 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 et al., 2014).

Eumorfopoulou nel 1998 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 (Fig. 1.12). 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).



Fig. 1.12 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 sono diminuite della metà (Köhler 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 estensivo in area sub-tropicale presenta grandi potenziali in termini di riduzione del calore e di gestione degli eventi piovosi intensi (Simmons et al., 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 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 nel 2003 hanno evidenziato come vi 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. condotto nel 2013 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 risparmio 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 rinverdata per un totale di 5000 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).

1.3.3 Riduzione dell'effetto isola di calore urbano (Urban Heat Island-U.H.I.)

Il verde pensile può anche aiutare a diminuire l'effetto isola di calore che si viene a creare soprattutto sulle coperture degli edifici nelle grandi città. Poiché nei grandi agglomerati cittadini lo sviluppo dell'urbanizzazione è tale che le coperture degli edifici ricoprono una grandissima fetta del territorio, ridurre o attenuare questo fenomeno potrebbe aiutare significativamente a migliorare il microclima urbano. Gli studi condotti da Onmura et al. (2001) mostrano che il verde pensile aiuta ad attenuare gli effetti della radiazione solare, in particolare grazie allo strato di vegetazione che li ricoprono. Rispetto alle coperture tradizionali questo si traduce in minor calore sulla superficie del tetto e quindi in una riduzione dell'effetto isola di calore.

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) (Fig. 1.13). La città, al contrario delle zone vegetate, si comporta come un'isola di calore (Urban Heat Island = UHI); ciò è dovuto al fatto che gli edifici assorbono, invece che riflettere, l'energia solare.

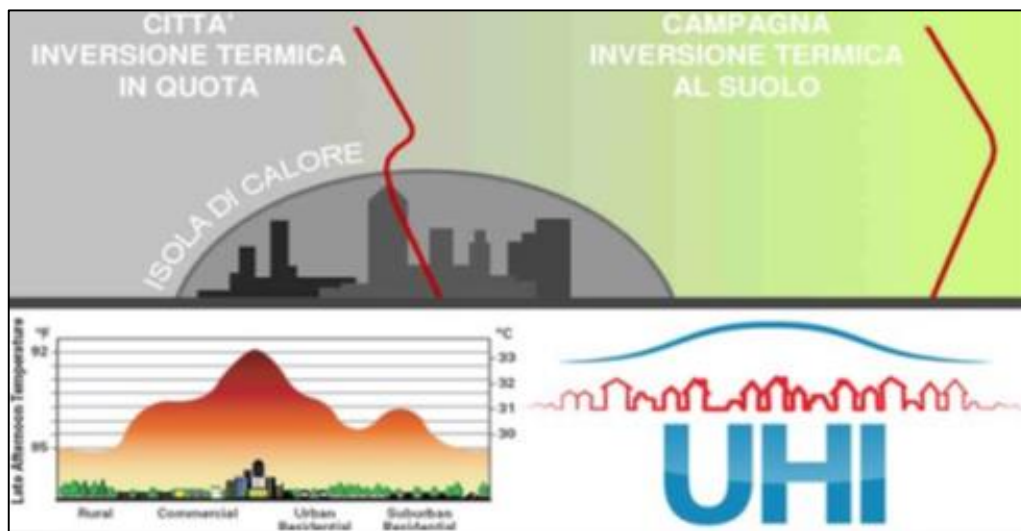


Fig. 1.13 Differenza fra la temperatura misurata in uno spazio urbano e quella misurata tutta attorno all'area urbana in uno spazio verde per calcolare UHI

Tutto questo perché le città sono sistemi artificiali e quindi non in grado di termoregolarsi e hanno inoltre un'albedo (capacità di riflessione) molto inferiore rispetto alla vegetazione; al contrario, le piante sono in grado di gestire l'energia solare che in parte viene riflessa e in parte assorbita e utilizzata per i processi di evapotraspirazione e fotosintesi (Fig. 1.14).

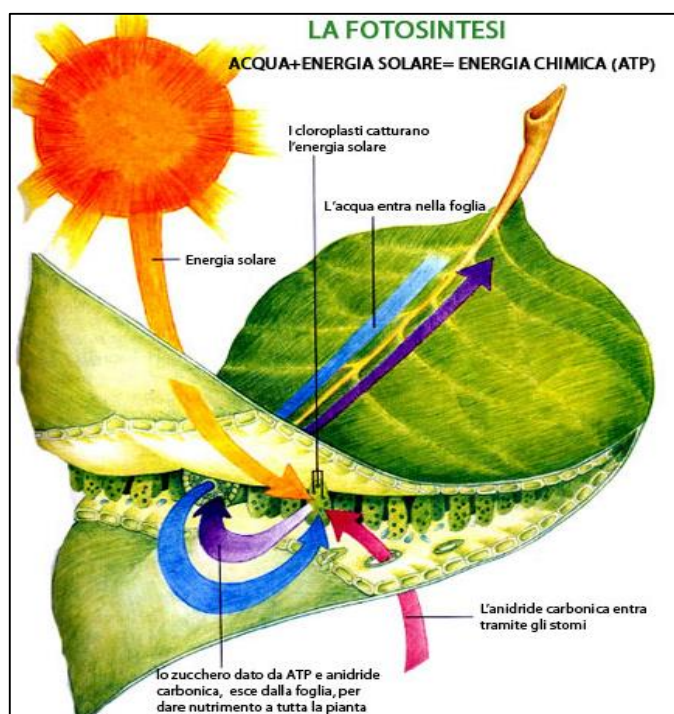


Fig. 1.14 Rappresentazione grafica e riassuntiva del processo di fotosintesi (<http://botanica01.wikispaces.com/>)

L'insieme degli edifici e la sempre maggiore diminuzione di aree e spazi verdi all'interno delle grandi città comporta così un aumento della temperatura superficiale e dell'aria con conseguenze anche gravi in termini di salute, di consumi energetici per raffreddare gli edifici e conseguentemente anche di inquinamento. La vegetazione esercita quindi un beneficio grazie all'ombra proiettata sulla superficie e grazie all'evapotraspirazione.

Si stima che l'evapotraspirazione globale 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'evapotraspirazione, 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 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 che in termini di miglioramento dello stato attuale può contribuire ad un miglioramento futuro (Simonato, 2014).

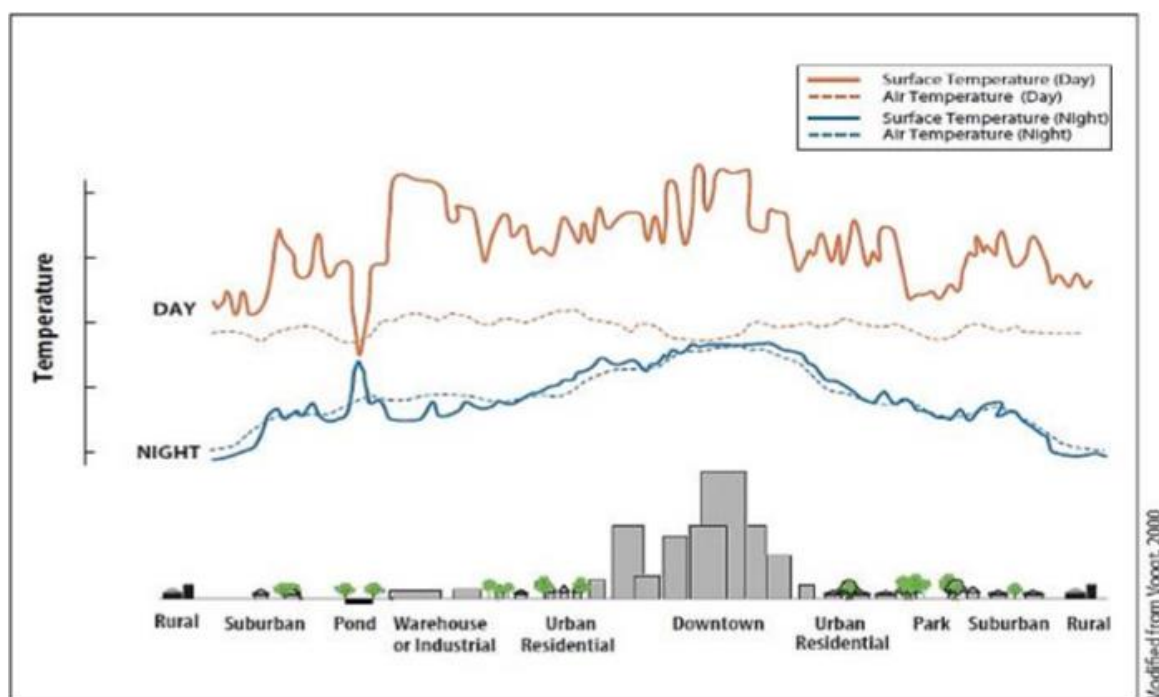


Fig. 1.15 Differenza della temperatura superficiale e dell'aria di giorno e di notte su diverse zone urbane e periurbane
Fonte: (EPA - United States Environmental Protection Agency, 2003)

Come evidenziato in Fig. 1.15, 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). 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). 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, si possono invece analizzare gli elementi che ne accentuano l'effetto. 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 (Fig. 1.16). 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.

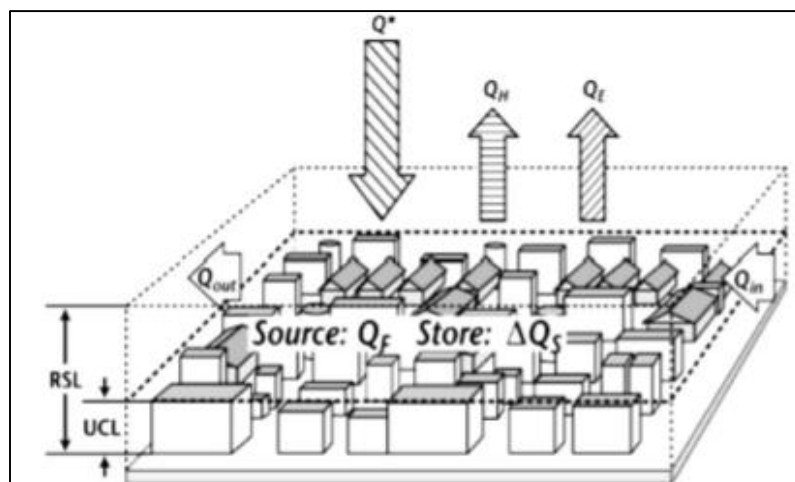


Fig. 1.16 Bilancio energetico in ambiente urbano (Roberts, Oke et al., 2006)

Il flusso di calore antropogenico (QF) può comprendere il calore generato dai mezzi di trasporto (QFV), il calore proveniente da fonti stazionarie come abitazioni o industrie (QFH) ed il calore generato dal metabolismo umano e animale (QFM).

Uno studio svolto da Rosenfeld et al. nel 1998 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 et al., 1998). L'impatto (diretto ed indiretto) che un tetto verde ha sull'energia utilizzata e sugli inquinanti può esser riassunto nel seguente schema (Fig. 1.17):

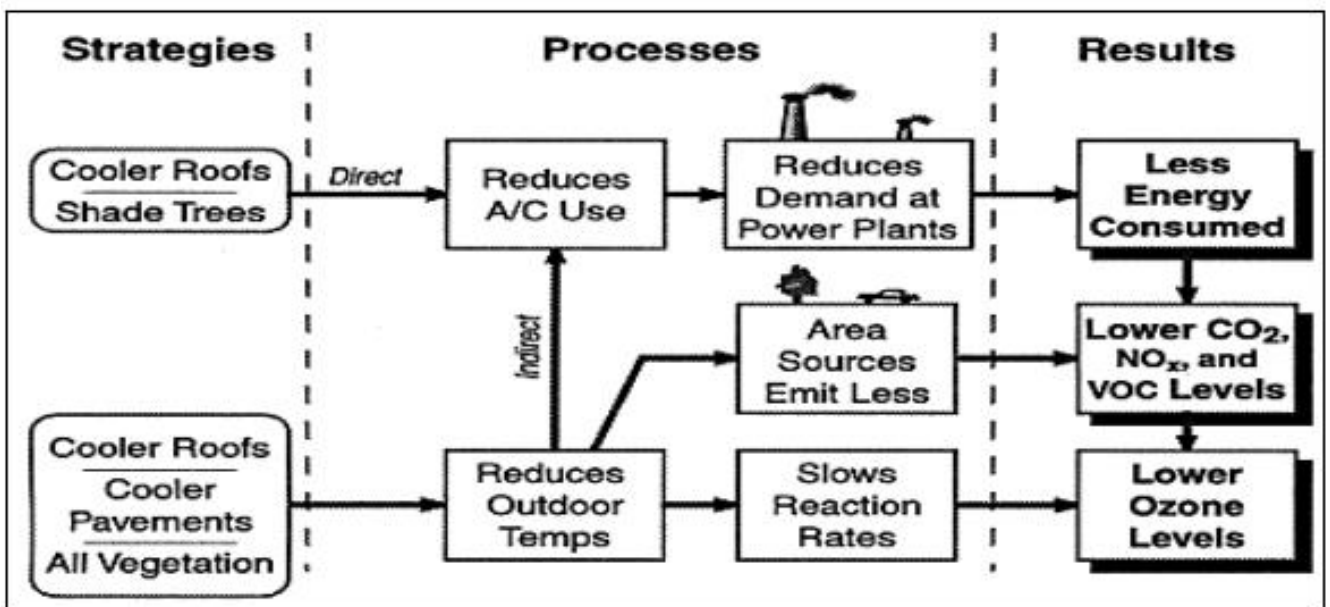


Fig. 1.17 Impatto diretto ed indiretto di un tetto verde nei confronti dell'energia utilizzata (Akbari et al., 2001)

1.3.4 Miglioramento della qualità dell'aria e riduzione degli inquinanti

Nel corso degli anni l'uomo 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 pseudo-naturali 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 umana (Simonato A., 2014).

Nonostante si possa pensare che l'utilizzo della vegetazione per limitare l'inquinamento atmosferico sia una pratica recente, in realtà, già dal 1800, una delle funzioni principali attribuite al verde urbano era quella di purificare l'aria durante il processo di fotosintesi, dove le piante assorbono anidride carbonica (CO₂) e rilasciano ossigeno (O₂). Per migliorare la qualità dell'aria una pianta agisce attivamente attraverso vari processi:

- **Immobilizzazione del carbonio:** si fa riferimento al tasso annuo di stoccaggio dell'anidride carbonica nella biomassa vegetale (sia epigea che ipogea) nel corso di una stagione vegetativa. Durante la fotosintesi, l'anidride carbonica atmosferica entra nella foglia attraverso i pori superficiali, si combina con l'acqua e viene convertita in cellulosa, zuccheri e altri materiali in una reazione chimica catalizzata dall'energia solare;
- **Utilizzo del carbonio:** produzione di legno e biomassa che avviene dopo il processo di fotosintesi;
- **Assorbimento di inquinanti gassosi:** gli inquinanti vengono reinseriti nei sistemi naturali grazie all'intercettazione, la restituzione al terreno e la rielaborazione biologica;
- **Abbattimento delle polveri:** le piante abbattano le polveri per sedimentazione (le chiome riducono la velocità del vento e quindi facilitano la deposizione delle polveri per gravità), impatto, dilavamento e deposizione nel suolo con le piogge.

Secondo uno studio condotto dallo USDA Forest Service («Chicago Urban Forest Climate Project») nel 1994, un albero di 80 cm di diametro, a 1,3 metri di altezza, contiene circa 3 tonnellate di carbonio; alberi sani di queste dimensioni sequestrano circa 100 kg di carbonio all'anno. L'anidride carbonica sequestrata annualmente (circa 140.000 tonnellate) è pari a quella emessa in una settimana dai mezzi di trasporto nella stessa area; inoltre, l'anidride carbonica sequestrata annualmente da un solo albero di diametro < a 8cm è pari a quella emessa da un'auto in un tragitto di 16 km. Quindi, aumentare la vegetazione arborea della stessa area consentirebbe di estendere di altri 1,3 milioni di tonnellate la quantità totale di CO₂ sequestrata, pari all'emissione da parte dei mezzi di trasporto in 2 mesi.

Per quanto riguarda l'assorbimento degli inquinanti gassosi, i principali inquinanti ridotti sono:

- **Ossidi di azoto:** rimossi per assorbimento fogliare e talvolta utilizzati dalla pianta come fonte di azoto;
- **Anidride solforosa:** assorbita e ridotta anche se in grandi quantità risulta tossica per la pianta;
- **Monossido di carbonio:** rimosso in piccole quantità;
- **Composti del cloro:** rimossi con efficacia;
- **Ozono:** rimosso in maniera molto efficace ma risulta rapidamente tossico per molte specie.

Secondo Johnston e Newton (1993), un'area di 2000 m² di tetti verdi ricoperti di erba, riesce a rimuovere sino a 4.000 kg di particolato dall'area circostante “intrappolandolo” a livello fogliare.

Un altro studio, svolto anche questo 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 nell'analisi di 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) (Fig. 1.18) (Yang et al., 2008).

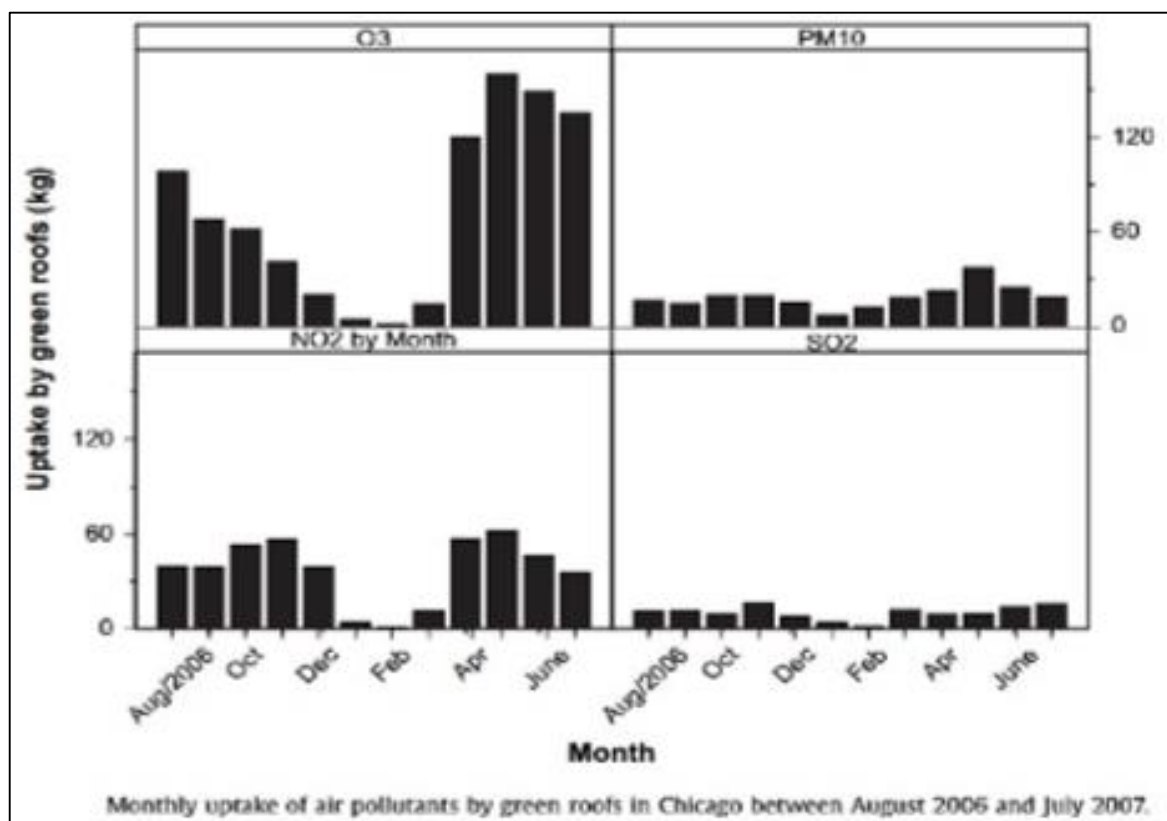


Fig. 1.18 Riduzione degli inquinanti nello studio svolto a Chicago (Yang et al., 2008)

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 Valore ecologico e tutela della biodiversità

Con l'installazione del verde pensile aumenta conseguentemente la percentuale di verde urbano e questo ha sicuramente effetti positivi sia per le persone, che possono avere la possibilità di visitare nuovi spazi verdi ricreativi (verde pensile intensivo), sia per tutto il sistema ecologico, per la biodiversità e per la fauna che potrebbe trovarvi riparo. Molto spesso infatti, 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.

Dal punto di vista ecologico, l'aumento della biodiversità vegetale è possibile chiaramente impiantando nello strato colturale diverse specie vegetali, possibilmente autoctone, le quali, oltre che aumentare il valore ecologico dell'area, possono portare anche benefici pratici. Diversi studi hanno dimostrato infatti che con l'aumento del numero di specie impiantate si ottiene un miglioramento delle prestazioni generali della copertura verde (ISPRA, 2012).

Inoltre il verde pensile, che può prevedere l'impianto di vegetazione arborea e arbustiva di un certo rilievo, può creare di fatto degli habitat adatti ad ospitare la piccola fauna cittadina. Di fatto un tetto verde non è altro che un piccolo ecosistema, ovvero l'insieme della componente biotica e abiotica che interagiscono tra loro, e l'installazione di tetti verdi vicini permette di compensare alla formazione dei corridoi ecologici che sempre più risultano di difficile creazione negli ambienti fortemente 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 e un'importante fonte di nutrimento, zona dove procreare e zona di protezione per ragni, farfalle (Fig. 1.19), uccelli ed invertebrati (Brenneisen, 2003).



Fig. 1.19 Lepidottero che trova cibo e riparo nei sistemi di simulazione dei tetti verdi realizzati ad Agripolis

La teoria secondo la 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 (Fig. 1.20). Si è riscontrata comunque la presenza di farfalle al ventesimo piano di alcuni edifici con copertura verde (Johnston et al., 1993).



Fig. 1.20 Aumento della biodiversità all'aumentare dello spessore dello strato colturale (Brenneisen, 2003)

1.3.7 Valore estetico e benessere

Una copertura verde non è solo funzionale ma è anche piacevole, esteticamente gradevole e richiama relax e svago. A seconda della tipologia di tetto verde queste ed altre caratteristiche estetico/sensoriali possono essere più o meno accentuate. Ad esempio, una copertura estensiva, essendo per nulla o poco fruibile, non trasmette la stessa sensazione rispetto ad una copertura intensiva ove è possibile sfruttarne a pieno l'aspetto esteriore molto simile ad un vero giardino (Simonato, 2014).

Si sa quanto uno spazio verde possa influenzare positivamente sia dal punto di vista fisico che psicologico 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. Uno studio condotto da Roger S. Ulrich nel 1984 dimostra che i pazienti ospedalieri ricoverati che potevano vedere del verde fuori dalla finestra recuperavano molto più velocemente di quelli che vedevano soltanto altri edifici e prendevano meno medicinali (Tab. 1.2).

Comparison of analgesic doses per patient for wall-view and tree-view groups.						
Analgesic strength	Number of doses					
	Days 0-1		Days 2-5		Days 6-7	
	Wall group	Tree group	Wall group	Tree group	Wall group	Tree group
Strong	2.56	2.40	2.48	0.96	0.22	0.17
Moderate	4.00	5.00	3.65	1.74	0.35	0.17
Weak	0.23	0.30	2.57	5.39	0.96	1.09

Tab. 1.2 Paragone delle dosi di analgesico somministrate ai pazienti con vista sul muro e vista sul verde nel periodo di convalescenza (Roger S. Ulrich, 1984)

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 la realizzazione di tetti verdi (Berardi et al., 2014).

1.4.1 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;

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 metereologici avversi.

1.4.2 Normativa Nazionale

L'aspetto più importante per aumentare la diffusione di tetti verdi anche in Italia 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'AIVEP (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 particolar 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 culturale 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 di promuovere adeguati livelli di qualità dei servizi di certificazione energetica e la diffusione di quest’ultima a livello nazionale, oltre che 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 acque 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% al 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 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.

1.4.3 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. Tipologie e caratteristiche di un tetto verde

2.1 Generalità

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 o utilizzate per scopi di svago e ricreazionali con diversi gradi di manutenzione. Le tipologie descritte dalla norma UNI 11235:2007 comprendono inverdimenti di tipo estensivo e di tipo intensivo. Con l'inverdimento intensivo si possono creare e utilizzare spazi come un giardino con prato, piante, vie e superfici di permanenza; l'inverdimento estensivo invece è costituito di poche pretese e prevale di piante basse che può essere percorso solo per il controllo e la cura. Entrambi i sistemi di inverdimento sono una soluzione preziosa e interessante di spazi vitali per piante e piccoli animali.

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 (Simonato, 2014).

Negli ultimi anni si sono volute inserire finalmente le coperture a verde pensile 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 delle informazioni seguenti sono tratte dal testo "Il Verde Pensile" di Abram (2011).

2.1.1 Tetto verde estensivo

Un tetto verde estensivo è caratterizzato da uno strato vegetativo simile alla spontaneità della natura e dalla bassa manutenzione; proprio per questa ragione si devono utilizzare piante che si adattino facilmente alle condizioni climatiche e che siano autorigenerative per poter resistere alle condizioni

più estreme presenti sui tetti. Tra i muschi, le succulente e le erbacee vi sono molteplici specie che rispondono a tali requisiti e che hanno un elevato effetto coprente; generalmente la copertura vegetale principale che si utilizza è a base di *Sedum* (Fig. 2.1). Il 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 con lo scopo principale di mitigare la temperatura nell'ambiente e nei locali interni alla struttura oltre a alla gestione sostenibile dell'acqua meteorica.



Fig. 2.1 Esempio di tetto verde estensivo (<http://www.bauder.it/>)

Un inverdimento estensivo assume quindi la funzione di uno strato protettivo ecologicamente ed economicamente efficace, ad esempio al posto di una protezione in ghiaia. Inoltre sono le giuste soluzioni su tetti inclinati e spioventi (<http://www.zinco-italia.it/>).

La norma UNI evidenzia 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 più i centimetri di spessore vanno necessariamente aumentati per evitare perdite di acqua per evaporazione che già possono risultare scarse a causa delle precipitazioni annue più contenute. Negli Stati Uniti, per esempio, viene identificato come tetto verde estensivo quello che presenta un substrato di coltivazione con valori medi dai 2 ai 20 cm (Oberndorfer et al., 2007).

Anche nel nostro Paese si hanno esempi sempre più frequenti di questa tipologia di copertura 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 e 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.

Una sezione schematica degli elementi che compongono la stratigrafia di un tetto verde estensivo è visibile in Fig. 2.2.

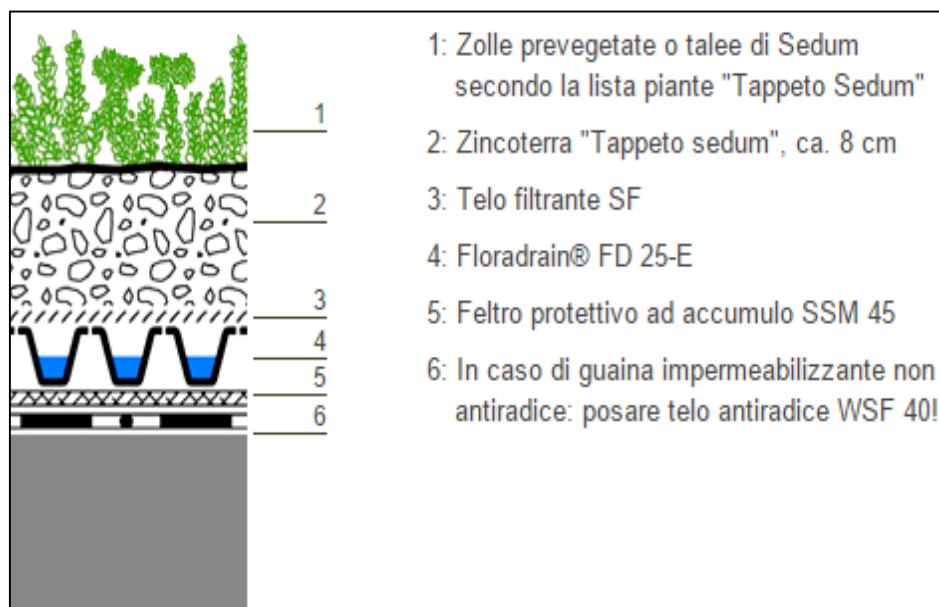


Fig. 2.2 Esempio di schema della stratigrafia di un tetto verde estensivo (<http://www.zinco-italia.it/>)

Nei tetti verdi estensivi 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; si considera in questo caso una manodopera pari a $0,02$ ore per metro quadro all'anno. Un' irrigazione occasionale può risultare utile (irrigazione di 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 Tetto verde intensivo

Il verde pensile intensivo si differenzia dal precedente per quanto concerne manutenzione, spessore dello strato colturale, vegetazione e fruizione. Tetti piani e coperture di garage possono essere non solo inverditi, ma trasformati in zone fruibili; si possono così realizzare terrazzamenti con giardini, panchine, zone giochi, laghetti, zone sportive fino a parcheggi con adeguate zone di passaggio carrabile. Si possono utilizzare diverse tipologie di piante partendo da prati, piccoli arbusti, cespugli, fino ad arrivare a piccoli alberi (Fig. 2.3).



Fig. 2.3 Esempio di tetto verde intensivo (<http://www.zinco-italia.it/>)

Per quanto riguarda i tetti verdi intensivi, secondo la norma UNI 11235:2007, la manutenzione 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.

Un tetto intensivo, per la particolarità che lo contraddistingue, presenta un substrato di uno spessore superiore ai 15 cm che 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 (Fig. 2.4).

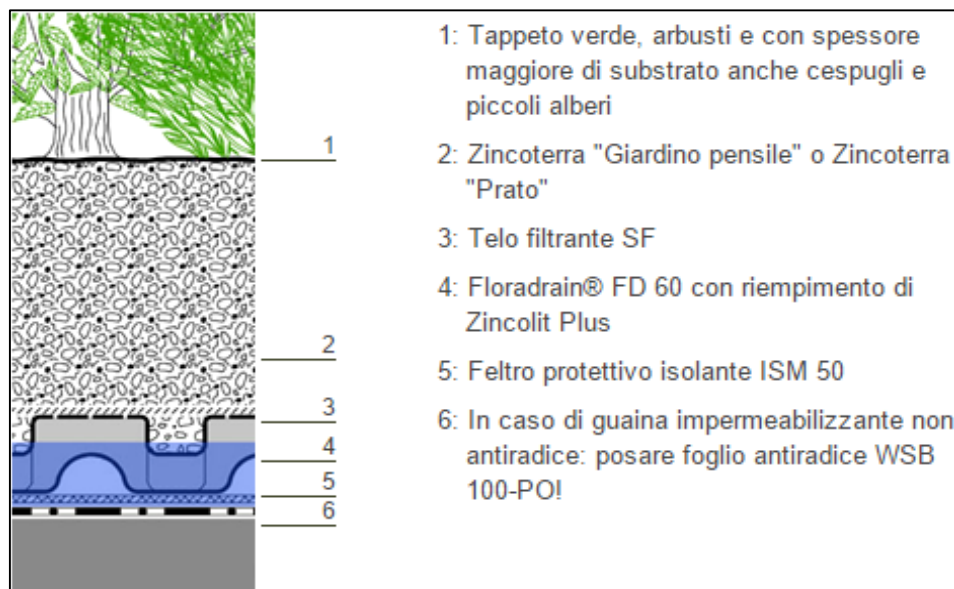


Fig. 2.4 Esempio di schema della stratigrafia di un tetto verde intensivo (<http://www.zinco-italia.it/>)

Sostanzialmente, i tetti verdi intensivi differiscono 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 metter a dimora. Sono giardini pensili anche quando comprendono elementi di arredo, vialetti e impianti di irrigazione obbligatoriamente predisposti.

2.1.3 Principali differenze tra tetto verde estensivo e tetto verde intensivo

Un tetto verde intensivo o semi-intensivo ha uno spessore più elevato in quanto consente di accogliere una vegetazione a forte sviluppo radicale e di tipo aereo (quindi non solo tappeto erboso ma anche arbusti e piccoli alberi). Il tetto verde intensivo è anche chiamato giardino sospeso, necessita di una moderata manutenzione e un'annaffiatura regolare. Spessore e peso del tetto verde intensivo sono notevoli e la sua applicazione è raccomandata per le piccole e medie superfici. Al contrario, un tetto verde estensivo ha spessore e peso contenuto. Sfrutta vegetazione dallo scarso sviluppo radicale e aereo e per le sue caratteristiche si adatta bene ai tetti inclinati e richiede una bassissima manutenzione (<http://www.ideegreen.it/>).

In Tab. 2.1 vengono riassunti gli elementi principali che caratterizzano un tetto verde estensivo rispetto ad un tetto verde intensivo (Oberndorfer 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

Tab. 2.1 Differenze fra tetto verde estensivo ed intensivo (Oberndorfer et al., 2007)

2.2 Composizione di un tetto verde

2.2.1 Stratigrafia ed elementi di un tetto verde

La composizione degli strati che formano il sistema tetto verde è complessa e articolata (Fig. 2.5). 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 (Simonato A., 2014).

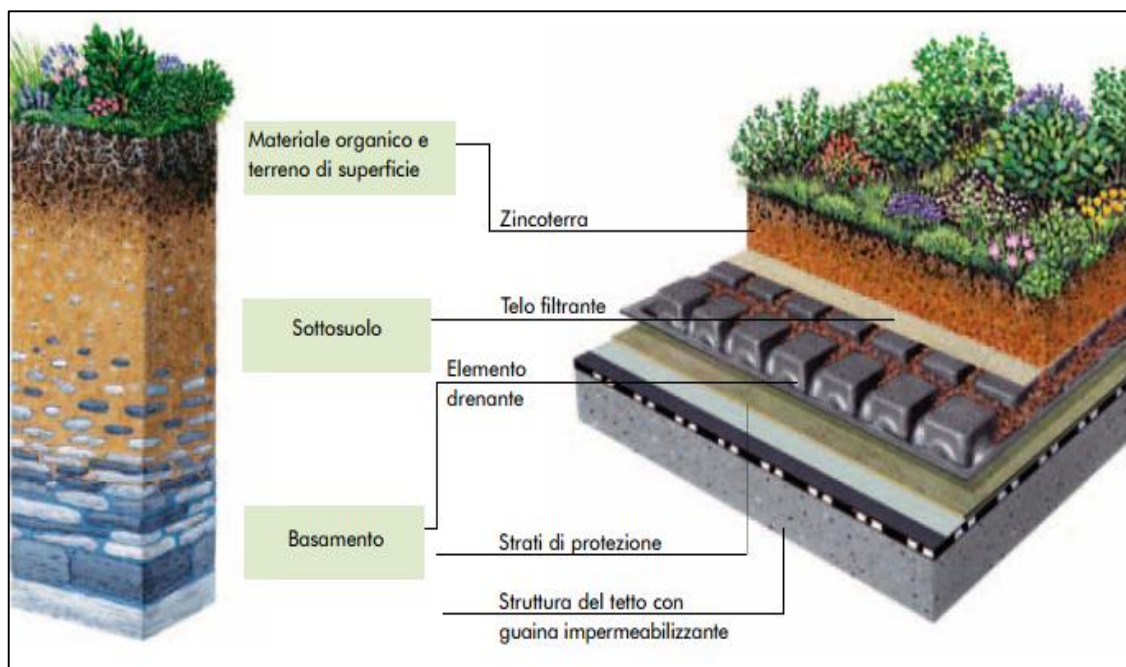


Fig. 2.5 Struttura e stratigrafia di un tetto verde (<http://www.zinco-italia.it/>)

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

- Elemento portante (soffitto in cemento);
- 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.

Gli elementi riportati in seguito sono sempre inseriti nel sistema del tetto verde, quello che cambia da tipologia a tipologia è la dimensione e la quantità utilizzata dei materiali.

- **Strato anti-radice (root barrier):**

È un elemento fondamentale per la buona riuscita di un tetto verde al fine di 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 anti-radice. La norma UNI 11235:2007 definisce una struttura che presenta già un sistema anti-radice inserito all'interno delle guaine: protezione anti-radice 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 anti-radice 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*) (Fig. 2.6).

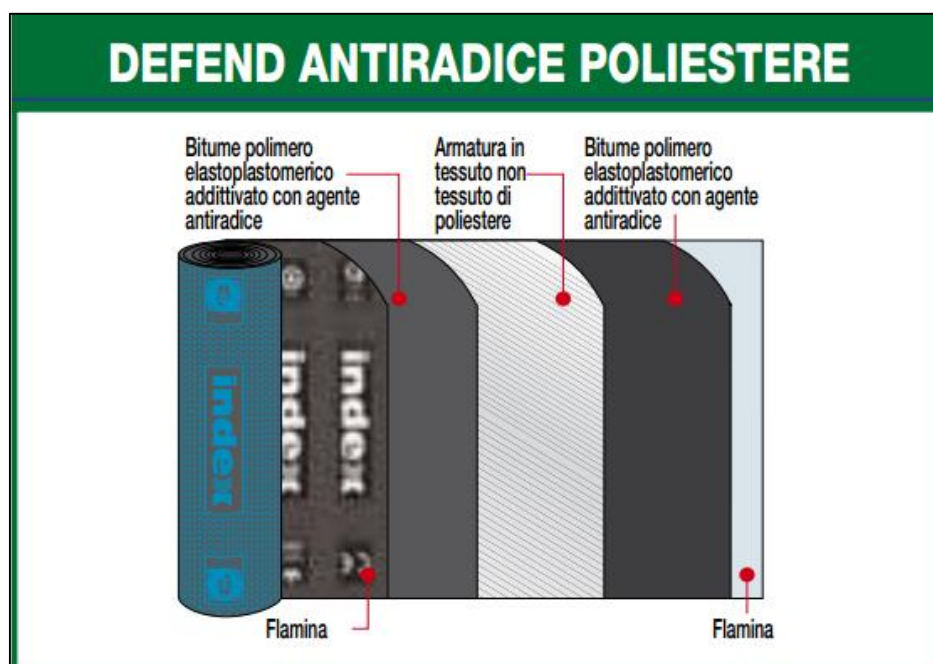


Fig. 2.6 Esempio di strato anti-radice in poliestere (<http://www.index-spa.com/>)

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

Come dice il nome stesso dello strato, le tre principali funzioni sono quelle di separazione, accumulo e protezione meccanica. Protezione in quanto crea una membrana protettiva da sollecitazioni meccaniche. Non tutte le coperture verdi sono sfruttabili per uso ricreativo, ma si potrebbero 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/m^2 , mentre nel caso di coperture a verde intensivo leggero o intensivo il peso può andare dai 400 ai 1000 g/m^2 . Con "separazione" si intende invece la funzione di dividere fisicamente lo strato di tenuta e lo strato di accumulo e drenaggio. Infine anche questo materiale, a seconda della tipologia, riesce ad accumulare più o meno acqua al di sotto dello strato di accumulo e drenaggio (Fig. 2.7). 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.



Fig. 2.7 Esempio di strato di protezione-stuoia RMS 900 (<http://www.optigruen.it/>)

- **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 funge anche da sostegno per il 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, alle vaschette porta uovo o con scanalature allungate (Fig. 2.8).



Fig. 2.8 Esempio di strato drenante-FKD 40 (<http://www.optigruen.it/>)

Il materiale di fabbricazione è vario; si possono 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, come ad esempio la perlite espansa, 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 si può definire, 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:

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

dove a 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 fornisce 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 in quanto permette di trattenere le particelle fini evitando che vadano negli strati inferiori rischiando di creare problemi allo strato drenante. Il materiale più utilizzato nella realizzazione di questi grandi rotoli di strato filtrante è geotessile in polietilene/polipropilene (Fig. 2.9).



Fig. 2.9 Esempio di strato filtrante in polipropilene a filo continuo (<http://www.optigruen.it/>)

Caratteristiche tipiche presenti nella scheda di descrizione di questo materiale sono la porosità e l'apertura dei pori O90 (O90 è la sigla che identifica l'apertura caratteristica dei pori del geotessile e che ne determina la sua capacità di filtrazione (μm)).

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).

- **Strato culturale (growing medium):**

Lo strato culturale 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 culturale sempre più professionali, dalla capacità di trattenere acqua ed umidità sino alla leggerezza.

Lo strato culturale 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 (Fig. 2.10). 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, potassio, 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.



Fig. 2. 10 Esempio di strato colturale: miscela di materiali vulcanici, laterizio scelto, sabbia, humus, corteccia e compost vegetale. Granulometria 0-10 mm. pH 7-8 (<http://www.optigruen.it/>)

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:** 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 (se proveniente da rifiuti solidi urbani RSU) 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: -Per coperture intensive $> 0,3 \text{ mm/min}$; -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: -Per coperture intensive $> 40\%$; -Per coperture estensive $> 30\%$;

- Conduttività elettrica $< 50 \text{ mS/m}$, secondo UNI EN 13038;

- Contenuto di macroelementi: -Azoto minerale e potassio solubile $< 50 \text{ mg/l}$; -Fosforo solubile $< 30 \text{ mg/l}$; -Calcio solubile $< 20 \text{ mg/l}$; -Sodio solubile $< 15 \text{ mg/l}$; -Magnesio solubile $< 10 \text{ mg/l}$;

- Valori di pH: -Piante non acidofile, negli estensivi, da $6,5 < \text{pH} < 8,0$; -Piante non acidofile, negli intensivi, da $5,5 < \text{pH} < 8,0$;

- Sostanza organica, in massa: -In substrati con densità $< 0,8 \text{ g/cm}^3$: estensivi ($< 8\%$), intensivi ($< 12\%$); -In substrati con densità $> 0,8 \text{ g/cm}^3$: estensivi ($< 6\%$), intensivi ($< 6\%$);

- 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 culturale
<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 m < 10 m	50
Alberi di II grandezza >10 m < 16 m	80
Alberi di I grandezza > 16 m	100

Tab. 2.1 Spessore dello strato culturale in funzione dei diversi tipi di vegetazione (McMahon and Bogan, 2010)

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 culturale (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 °C ed un potenziale idrico che arriva normalmente sino a -15 bars. E' 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 culturale più elevato (200 mm). Questo è dovuto anche alla minor temperatura registrata nello strato più spesso che ha permesso una riduzione dell'evaporazione (Fig. 2.11) (Benvenuti and Bacci, 2010).

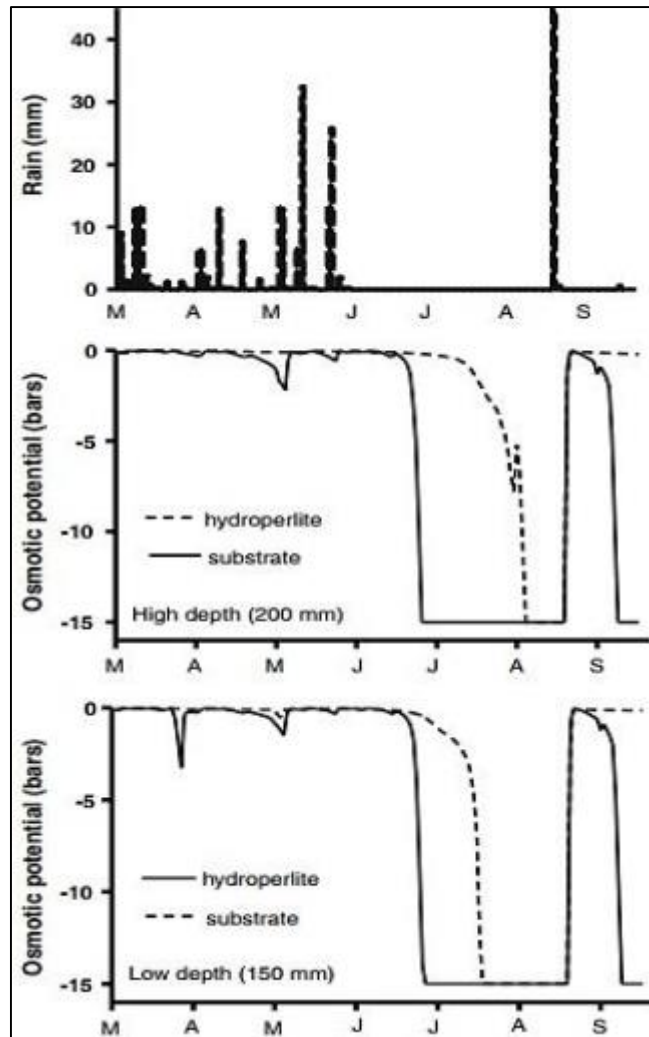


Fig. 2.11 Differenza del potenziale osmotico in due diversi tetti verdi con diversi spessori di strato colturale (Benvenuti and Bacci, 2010)

• **Strato vegetale:**

L'ultimo strato che compone un tetto verde è quello relativo alla copertura vegetale. Come detto in precedenza, 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; infatti 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 comprendere 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 l'elevata ventosità, 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 su 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 sono inserite:

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

Sempre più spesso, nelle aree maggiormente urbanizzate, emergono problemi relativi alla gestione dei deflussi derivanti dalle piogge. Le reti di scolo esistenti sembrano raggiungere condizioni critiche ad ogni nuovo evento di pioggia di intensità rilevante e i cambiamenti climatici che si stanno registrando negli ultimi anni sembrano portare ad eventi di precipitazione sempre più brevi ma intensi. Per porre rimedio a questa situazione occorre certamente un potenziamento della rete di scolo, con una manutenzione capillare nel territorio, ma anche una promozione di politiche che pongano un limite alla cementificazione insostenibile degli ultimi tempi. Aumentare quindi la percentuale di superficie drenante è un importantissimo obiettivo da perseguire nei prossimi anni per riportare sotto controllo le problematiche legate allo scolo delle acque piovane.

Tra le possibili soluzioni per mitigare questi problemi c'è sicuramente l'utilizzo del verde pensile e in particolare dei tetti verdi che, grazie alle loro caratteristiche strutturali, riescono a ridurre e ad immagazzinare una buona quantità di acqua meteorica, rilasciando in modo "controllato" i volumi di acqua nei pluviali e, quindi, verso il suolo o le reti di scolo e 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.

Per ottenere questi benefici è però necessario individuare ed applicare le migliori soluzioni progettuali di verde pensile che meglio si adattino alle condizioni ambientali della stazione in cui vengono installate. A tale scopo, l'obiettivo dell'elaborato è quello di verificare la soluzione di tetto verde più idonea agli ambienti delle Pianure padano-veneta; per queste motivazioni 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*" (Fig. 3.1) con il fine di individuare la combinazione di stratigrafie ottimale scegliendo tra diversi materiali forniti da ditte del settore (ZinCo, Europomice, Perlite Italiana, Bauder) e associandoli a miscugli vegetali locali del Veneto. Nel caso specifico miscugli di *Sedum*, Erbacee perenni e Suffruticose.

Obiettivo della tesi è analizzare i dati raccolti durante il periodo Novembre 2014 – Giugno 2015 relativi al comportamento idrologico e vegetazionale dei microcosmi di tetto verde allestiti nel Campus di Agripolis.



Fig. 3.1 Pannello informativo del progetto di Ateneo: *"In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain"*

Più nello specifico, l'obiettivo principale riguarda l'analisi del comportamento idrologico di alcune combinazioni strutturali di tetto verde 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 stata condotta.

4. Caratteristiche ambientali

4.1 Inquadramento geografico dell'area di studio

L'area di studio si trova all'interno del campus universitario di Agripolis a Legnaro (PD), vicino ad altre sperimentazioni in corso, tutte rientranti nella categoria dei SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems). Il campus di Agripolis, sede della Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria, si trova a Sud-Est della città di Padova, a 10 km da essa, e a 8 m s.l.m. (Fig. 4.1).



Fig. 4.1 Inquadramento regionale delle Province del Veneto; in rosso è evidenziata l'area di studio (Simonato A., 2014)

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 è presente una vasta area adibita a servizi di carattere sovracomunale afferenti all'Università di Padova (Fig. 4.2).

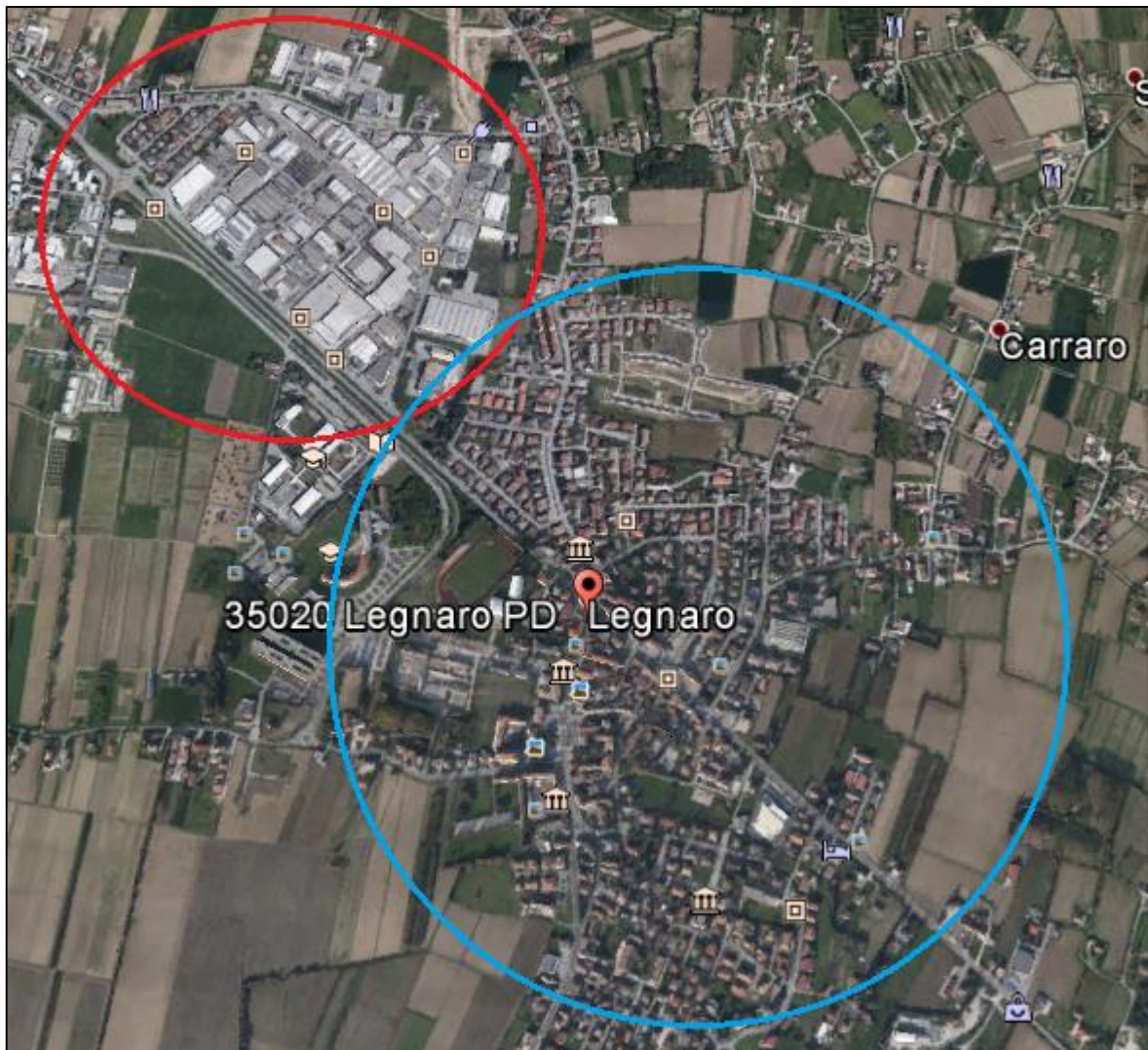


Fig. 4.2 Localizzazione del Comune di Legnaro; in rosso è evidenziata la zona industriale, mentre in blu la zona residenziale.

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. Ciò ha portato ad avere un’edificazione poco o per nulla controllata e 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;
- alla salvaguardia o ricostituzione dei processi naturali, degli equilibri idraulici e idrogeologici.

Le cassette che simulano i tetti verdi, sulle quale si basa tutta la raccolta e l’elaborazione dei dati, sono rivolte a Sud, mentre a Nord sorge il muro di un edificio che dista circa 5 m dalle cassette. Le cassette distano circa 400 m lineari dal pluviometro dell’ARPAV. (Fig. 4.3).



Fig. 4.3 Campus di Agripolis; l'area dove sono localizzate le cassette è evidenziata in blu, quella dove è presente il pluviometro dell'ARPAV in giallo

4.2 Lineamenti climatici

Secondo uno studio condotto dall'ARPAV (Reich & Delillo, 2014), l'anno 2014 risulta il più piovoso dal 1992 (anno d'inizio delle osservazioni meteo di ARPAV) superando nettamente i quantitativi registrati nel 2010 e ancor di più quelli del 2002 e del 2008 (Fig. 4.4). Considerando le osservazioni pluviometriche effettuate dall'ex Ufficio Idrografico, relative all'arco temporale che parte dal 1950, si può affermare che, mediamente, le precipitazioni del 2014 sul Veneto risultano le più elevate in assoluto, superando, in particolare, gli apporti del 1962 e del 1951.

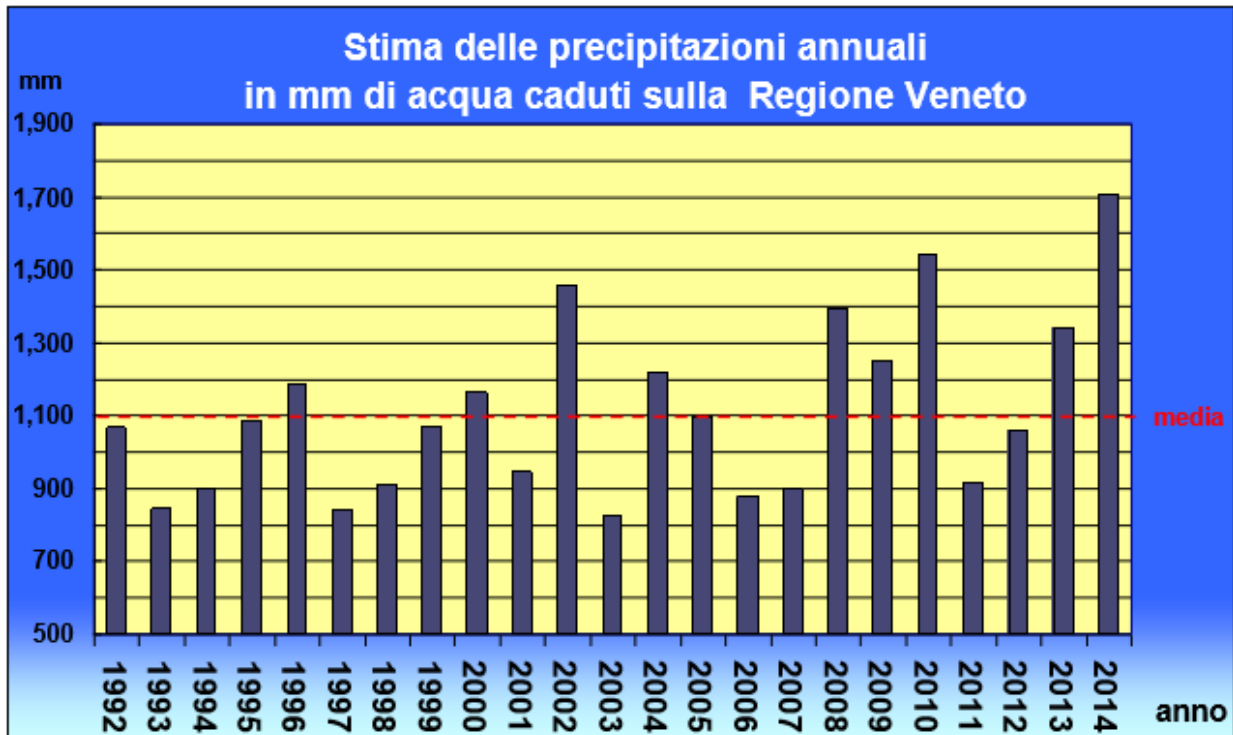


Fig. 4.4 Istogramma delle precipitazioni annuali sul Veneto del periodo 1992-2014 e confronto con la media 1992-2014 (linea tratteggiata rossa) (Rech & Delillo, 2014)

Le precipitazioni dell'anno 2014 manifestano le loro caratteristiche di eccezionalità a partire dai mesi di Gennaio e Febbraio (uno degli inverni più piovosi degli ultimi 100 anni). Tale tendenza si ripresenta anche in estate (soprattutto in Luglio ed Agosto) e nel mese di Novembre (mese in cui è iniziata la raccolta dei dati) (Fig. 4.5).

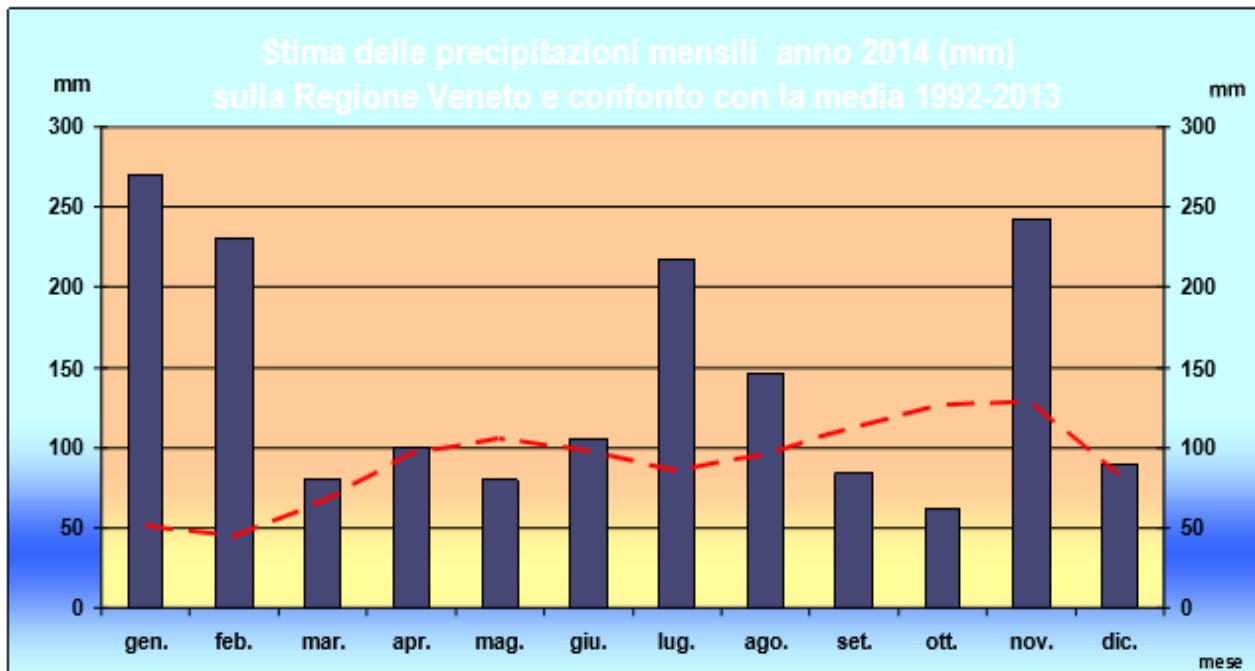


Fig. 4.5 Istogramma delle precipitazioni mensili dell'anno 2014 sul Veneto e confronto con la media 1992-2013 (linea tratteggiata rossa) (Rech & Delillo, 2014)

Dall'analisi dei dati raccolti dalle circa 200 stazioni del Servizio Meteorologico dell'ARPAV, si stima che nell'anno 2014 siano caduti sulla Regione Veneto mediamente 1.708 mm di precipitazione; la media del periodo 1992-2013 è di 1.086 mm (Fig. 4.4). Gli apporti meteorici mensili sul territorio regionale risultano superiori alla media del 57% e sono stati stimati in circa 31.450 milioni di m³ di acqua. Tali apporti annuali sono i maggiori registrati dal 1993 e superano i 1543 mm caduti nel 2010. Esaminando gli apporti pluviometrici annuali a livello di bacino idrografico (considerando solo la parte veneta di tali bacini) si osservano ovunque condizioni di surplus, rispetto alla media 1992-2012, del 70% sul Sile, del 65% sul Livenza e sulla Pianura tra Livenza e Piave, del 62% sul Brenta e sull'Adige, del 56% sul Bacino Scolante in Laguna, del 54% sul Piave e del 38% sul Fissero Tartaro Canal Bianco (ovvero sulla pianura veneta meridionale). Solo su quest'ultimo bacino gli apporti pluviometrici sono sostanzialmente identici a quelli dell'anno 2010, mentre sui restanti bacini essi risultano i maggiori del ventennio.

Per quanto riguarda la stazione di Legnaro, l'istogramma delle precipitazioni cumulate annue dal 1994 al 2014 (Fig. 4.6) mostra come nel 2014 siano caduti in totale 1311,2 mm di pioggia, valore nettamente superiore alla media di 863 mm.

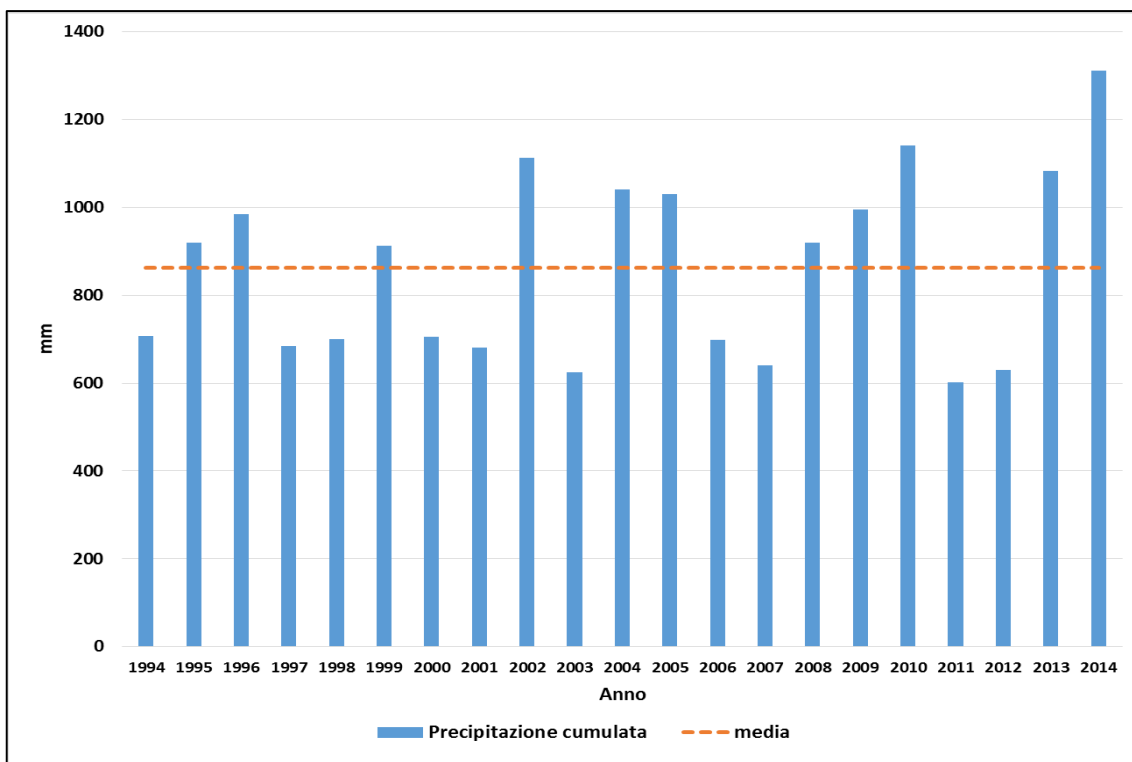


Fig. 4.6 Precipitazione cumulata annua dal 1994 al 2014 per la stazione di Legnaro e confronto con la media (linea rossa tratteggiata)

Analizzando anche i giorni di pioggia (Fig. 4.7), il 2014 presenta valori nettamente sopra la media (dal 1994 al 2014) ed è stato l'anno con il maggior numero di giorni piovosi (115) insieme al 2010 (114).

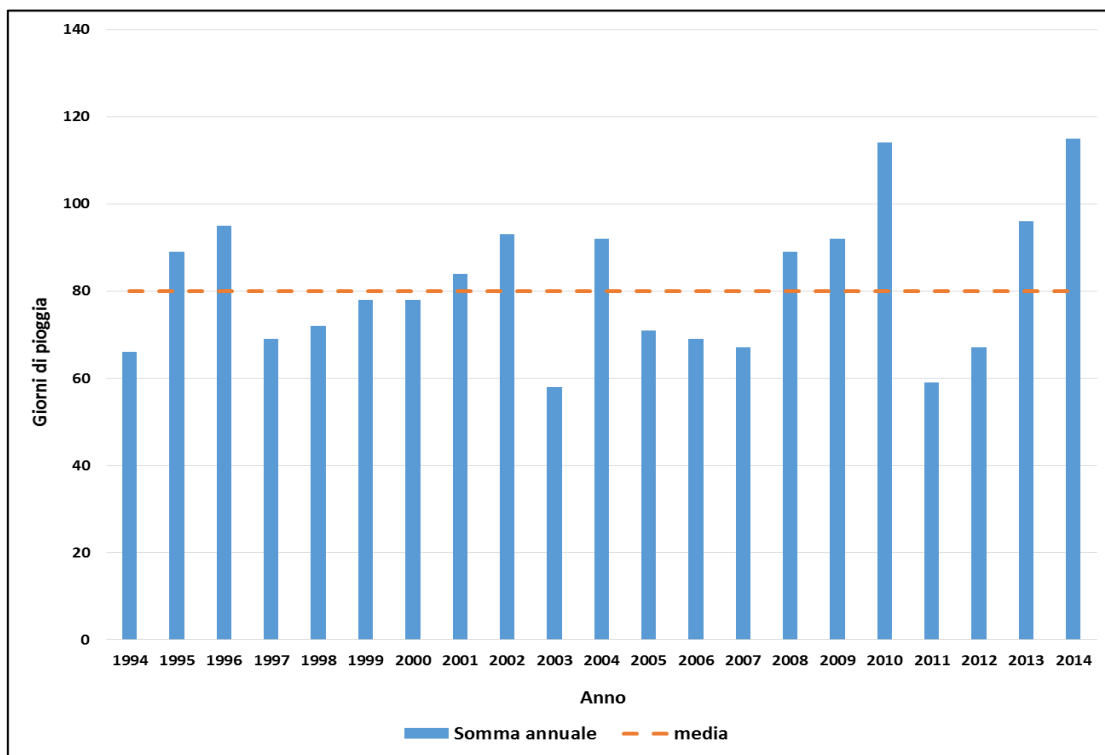


Fig. 4.7 Somma annuale dei giorni piovosi dal 1994 al 2014 per la stazione di Legnaro e confronto con la media (linea rossa tratteggiata)

Anche la carta delle precipitazioni cadute nel 2014 sul Veneto (Fig. 4.8) mostra come a Legnaro siano caduti tra i 1200 e i 1400 mm di pioggia nell'anno 2014.

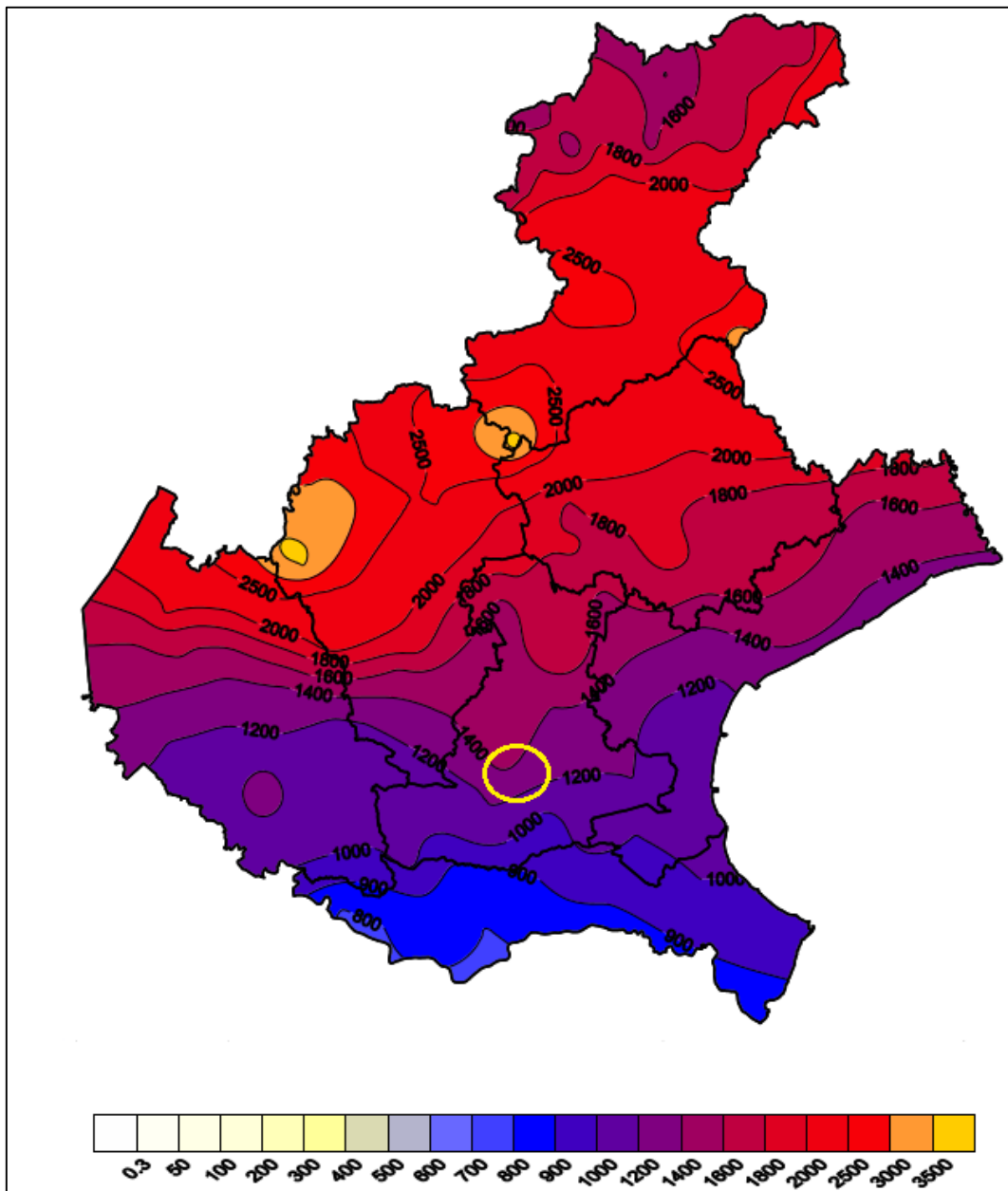


Fig. 4.8 Carta delle precipitazioni in mm cadute nell'anno 2014 sul Veneto; la zona di Legnaro è evidenziata in giallo (Rech & Delillo, 2014)

5. Materiali e metodi

Le sperimentazioni svolte nel periodo di tesi e la raccolta dei dati sono stati effettuati sul sistema di microcosmi di tetto verde realizzato nella primavera del 2014 nell'ambito del Progetto di ricerca di Ateneo “*In situ sustainable management of stormwater runoff by mean of green roofs: evaluation of systems suitable for Venetian Plain*”. Tale sistema si compone di 39 cassette, 36 delle quali per simulare 12 combinazioni di tetto verde, riempite con due tipi di strato drenante, due tipi di substrato di coltivazione 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.

Per completezza di informazioni e per avere un quadro generale più dettagliato verranno riassunte in questo capitolo anche le fasi preparatorie, di realizzazione e costruzione del sistema (Sottocapitoli 5.1 e 5.2) presenti e descritte in una precedente tesi sperimentale (Simonato A., 2014. *Gestione sostenibile dei deflussi di pioggia nella pianura veneta: risultati preliminari dei microcosmi di tetto verde ad Agripolis*).

5.1 Materiale vegetale utilizzato

La scelta delle specie vegetali è ricaduta su essenze autoctone del Veneto, che crescessero 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 missione 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 **A.Sedum**, **B.Erbacee perenni**, **C.Suffruticose**. Nel primo miscuglio, denominato *Sedum*, sono state 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*.

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” (Fig. 5.1);

Famiglia *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; sepalì 1 mm; petali bianchi un po' screziati di rosso da 3-5 mm. (Pignatti 1982).



Fig. 5.1 *Sedum album*

- ***Sedum acre* L.**

Borragina acre o Erba pignola gialla (Fig. 5.2);

Famiglia *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 spirale, 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.



Fig. 5.2 *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.**

Borragina insipida (Fig. 5.3);

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; sepali 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).



Fig. 5.3 *Sedum sexangulare*

- *Sedum reflexum* L.

Borracina rupestre, Erba pinnocchia, Erba grassa, Sopravvivolo dei muri (Fig. 5.4);

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.



Fig. 5.4 *Sedum reflexum*

I generi *Bromus spp.* e *Melica spp.* 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 (Fig. 5.5);

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 mm). Il gruppo *Bromus erectus* si localizza generalmente lungo prati aridi, pendii soleggiate, 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.



Fig. 5.5 *Bromus erectus* (<http://www.actaplantarum.org/>)

- ***Melica ciliata* L.**

Melica barbata (Fig. 5.6);

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 soleggati ed aridi (0 – 1200 m) (Pignatti 1982).



Fig. 5.6 *Melica ciliata* (<http://www.actaplantarum.org/>)

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 spiralate senza stipole. Riproduzione entomofila.

- *Campanula spicata* L.

Campanula spicata (Fig. 5.7);

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 (Fig. 5.7). Predilige luoghi calcarei come i greti e pietraie o rupi (Pignatti, 1982).



Fig. 5.7 *Campanula spicata*

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 (Fig. 5.8);

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.



Fig. 5.8 *Potentilla pusilla*

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).

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 cyparissias (Fig. 5.9);

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 involucro 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).



Fig. 5.9 *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 (Fig. 5.10);

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), 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.



Fig. 5.10 *Dianthus sylvestris*

- ***Dianthus carthusianorum* L.**

Garofano dei Certosini (Fig. 5.11);

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.



Fig. 5.11 *Dianthus carthusianorum*

- ***Dianthus hyssopifolius* A. (*D. monspessulanus* L.)**

Garofano di bosco (Fig. 5.12);

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.



Fig. 5.12 *Dianthus hyssopifolius*

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 spp.* e del *Clinopodium spp.* 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, completamente 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 spp.* (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 (Fig. 5.13);

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).



Fig. 5.13 *Thymus serpyllum*

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

Nipitella, Mentuccia (Fig. 5.14);

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).



Fig. 5.14 *Clinopodium nepeta* (<http://www.actaplantarum.org/>)

Ultima, ma non per questo meno importante, è presente la Famiglia delle *Compositae* con il genere *Artemisia spp.* e *Anthemis spp.* 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 nuvola. Sono piante erbacee talvolta arboreescenti nelle montagne tropicali. Le foglie sono spiralmate, 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 involucro 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 spp.* 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 (Fig. 5.15);

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.



Fig. 5.15 *Artemisia alba* (<http://www.actaplantarum.org/>)

- ***Anthemis tinctoria L.***

Camomilla per tintori (Fig. 5.16);

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).



Fig. 5.16 *Anthemis tinctoria*

E' 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 e 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 (Fig. 5.17).



Fig. 5.17 Area del bacino del Medio Corso Brenta a Bassano del Grappa (Simonato A., 2014)

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.

Le piante raccolte sono state conservate e trasportate sino al polo di Agripolis - Legnaro (PD) per procedere poi alla propagazione. 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.

In seguito al travaso e alla propagazione è stato ridotto anche l'apparato fogliare di alcune specie per evitare un'eccessiva disidratazione. 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*.

Diverso metodo è stato quello utilizzato per propagare il *Sedum spp* perché, oltre a quello raccolto nei pressi del fiume Brenta, si sono messi a propagare anche quelli raccolti altrove (*S. acre*, *S. reflexum*, *S. album*). La distribuzione di parti vegetative è avvenuta nel periodo autunnale, il *Sedum spp.* 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 stato 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*.

5.2 Cassoni di simulazione dei tetti verdi

I materiali utilizzati per la realizzazione del sistema di simulazione dei tetti verdi sono stati acquistati da ditte specializzate che da anni operano nel settore delle coperture verdi. Le ditte che sono state contattate e hanno fornito materiale utile alla realizzazione dei microcosmi sono:

- L'Europomice S.r.l. che produce il substrato di coltivazione VULCAFLOR® (identificato successivamente come VULCANICO-VU);
- La ZinCo, che produce il substrato di coltivazione ZINCOTERRE® “Steinrosenflur” (identificato come LATERIZIO-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 come PERLITE-PI);
- La Paul Bauder GmbH & Co. per il secondo sistema di accumulo e drenaggio in materiale preformato DSE 40 (identificato come PREFORMATO-BA), oltre allo strato di protezione FSM 1100 e lo strato filtrante FV 75.

Oltre ai materiali elencati sono state acquistate 39 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.

Delle 39 cassette totali, 3 sono state riempite solamente con uno strato di 12 cm di ghiaia (testimoni). Sono state predisposte 12 diverse combinazioni di tetto verde (tesi) con tre repliche per ciascuna tesi per un totale di 36 cassette.

Le 36 cassette presentavano quindi la seguente stratigrafia:

- 12 cm di substrato di coltivazione: lapillo vulcanico (Vulcaflor estensivo di Europomice) oppure laterizio riciclato (Zincoterra “Roccia fiorita” di ZinCo)
- 0,2 cm circa di strato filtrante (FV 125 di Bauder);
- strato di accumulo e drenaggio: pannello preformato in PE altezza 4 cm (DSE 40 di Bauder) + feltro di protezione da 0,8 cm (FSM 1100 di Bauder), oppure sacco geotessile con perlite espansa (materassino Igroperlite della Perlite Italiana) altezza 6 cm + 0,45 cm di strato di protezione (Ecodren SD5 di Perlite Italiana).

Successivamente le cassette sono state nominate con una sigla e posizionate casualmente una accanto all'altra al di sopra dei cavalletti di ferro lungo un'unica fila, orientate con il loro lato più lungo in direzione Est-Ovest (Fig.5.18).

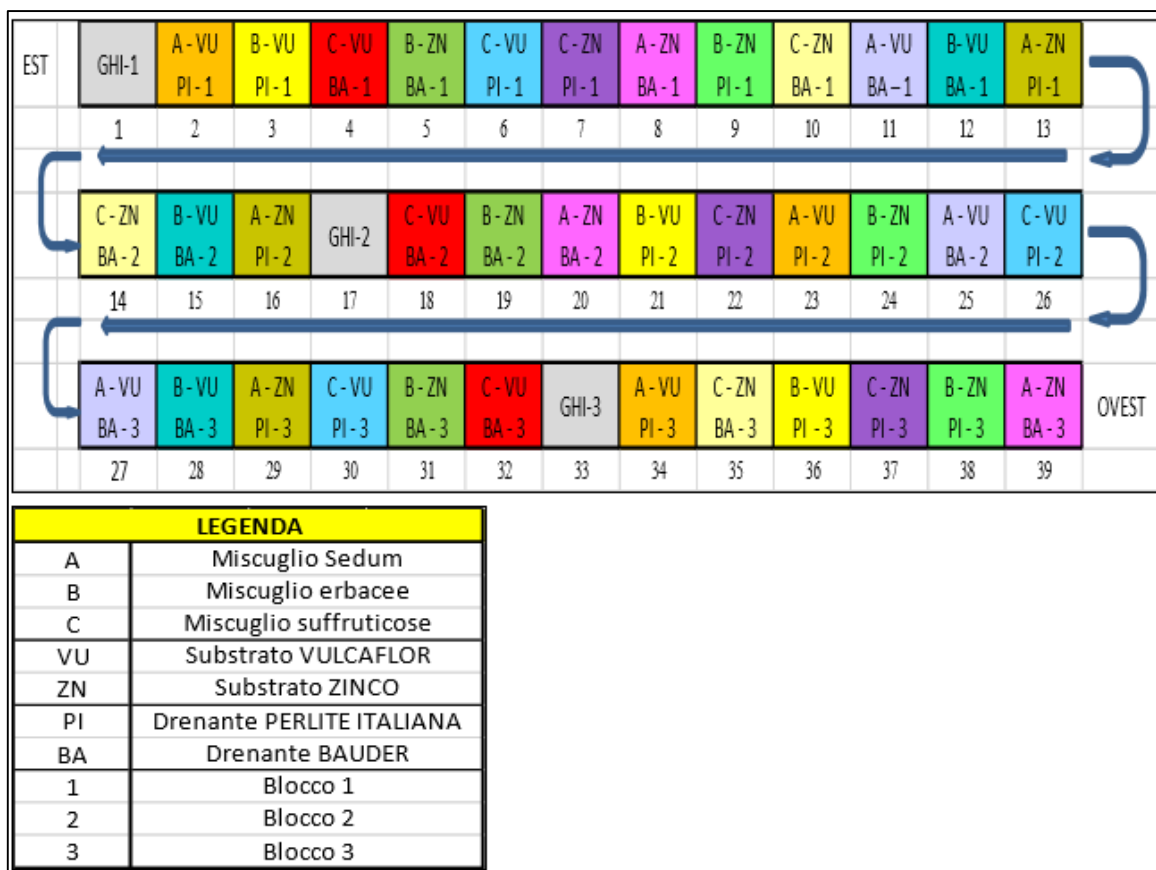


Fig. 5.18 Schema della disposizione delle cassette di prova (Simonato A., 2014)

Le cassette, comprese i tre testimoni, sono state posizionate in modo casuale a blocchi randomizzati.

Al di sotto di ciascuna cassetta è stato effettuato un foro di scarico che tramite un raccordo a “V” ha permesso di convogliare l’acqua all’interno di due taniche in PVC bianco della capacità di 20 L ciascuna (Fig. 5.19 e Fig. 5.20). È stato poi posizionato un telo verde ombreggiante lungo tutto il lato Sud per proteggere dai raggi del sole diretti verso le taniche e l’asfalto (tenendolo più fresco) e rallentare la velocità del vento.



Fig. 5.19 e 5.20 Dettaglio del foro di scarico (5.19) e taniche con raccordi a “V” in cui viene convogliata l’acqua di deflusso (5.20)

Una volta che tutte le cassette sono state predisposte si è provveduto a mettere a dimora le piante che sono state piantate nella seconda settimana di Maggio 2014; tutte le piante di ogni gruppo (*Sedum*, Erbacee perenni e Suffruticose) sono state posizionate in modo del tutto casuale in ogni cassetta.

In conclusione, in base al miscuglio di piante utilizzate (*Sedum*, Erbacee e Suffruticose), ogni cassetta conteneva il seguente numero di specie:

- **Miscuglio *Sedum* (A):**

- 3 *Sedum album*;
- 3 *Sedum reflexum*;
- 3 *Sedum sexangolare*;
- 3 *Sedum acre*.

- **Miscuglio Erbacee (B):**

- 3 *Bromus erectus*;
- 3 *Melica ciliata*;
- 3 *Campanula spicata*;
- 3 *Potentilla pusilla*;
- 1 *Euphorbia cyparissias*.

- **Miscuglio Suffruticose (C):**

- 3 *Dianthus spp.* (1 *Dianthus sylvestris*, 1 *Dianthus carthusianorum*, 2 *Dianthus hyssopifolius*);
- 3 *Thymus serpyllum*;
- 3 *Clinopodium nepeta*;
- 1 *Artemisia alba*;
- 2 *Anthemis tinctoria*.

Per poter analizzare il contenuto volumetrico d'acqua (VWC), l'umidità (m^3/m^3) presente in ogni cassetta e la temperatura ($^{\circ}C$) si è previsto l'inserimento di una sonda posta al centro della cassetta ad un'altezza pari alla metà del substrato (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 sono state collegate a data logger per la raccolta e la memorizzazione dei dati. Le sonde e i data logger utilizzati sono della Decagon Devices.

Le **Sonde di umidità e temperatura Decagon 5TM** 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 $^{\circ}C$ in riferimento alla temperatura rilevata (Decagon, 2014).

Il **Data logger Decagon Em50** è una centralina di raccolta dati che 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 logger è stato possibile collegare 12 sonde per un totale di 4 sonde per ogni data logger (Decagon, 2014) (Fig. 5.21). E' stata impostata una misurazione ogni 10 minuti.



Fig. 5.21 Data Logger Em50 fissato alla struttura (sinistra) e dettaglio del suo interno (destra)

5.3 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.

Nel caso specifico sono state effettuate delle sperimentazioni sui due diversi substrati di coltivazione utilizzati per le prove (Laterizio e Vulcanico), cercando di osservare e capire quale tra i due riuscisse a gestire meglio determinati carichi di precipitazioni.

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 prove è stato realizzato un simulatore analogo a quello realizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Sheffield, adattato e modificato al caso specifico, in modo da poter simulare un intervallo di altezze pluviometriche tipico della regione del Veneto. La struttura è

stata realizzata nei laboratori del Dipartimento TESAF dell'Università di Padova e presenta caratteristiche in grado di adattarsi alle cassette utilizzate per le prove dei tetti verdi (Fig. 5.22).

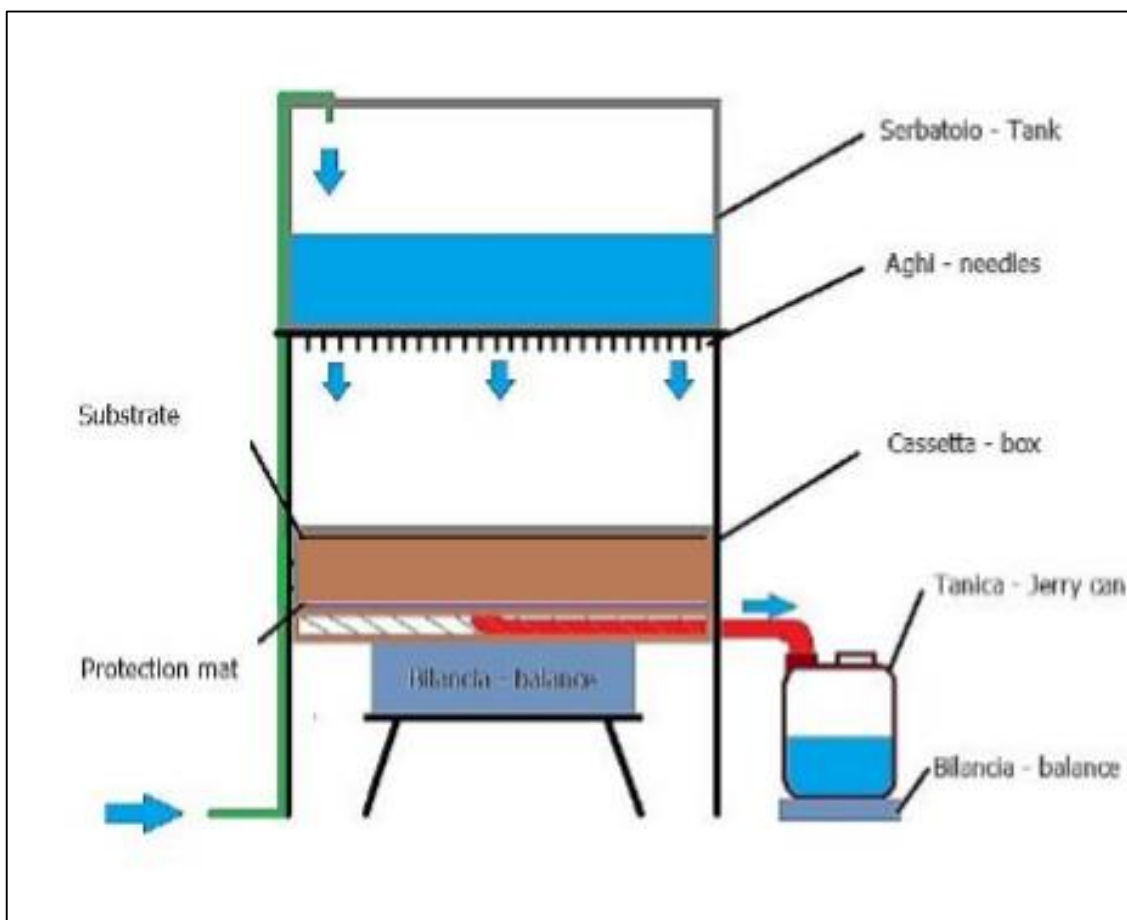


Fig. 5.22 Schema del simulatore di pioggia

Lo strumento che simula la pioggia (Fig. 5.22) 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) creando fori con diametro di 4 mm; per ogni foro è stato installato a pressione un ago con apertura di 21 gauge. Sono stati utilizzati gli aghi in quanto permettono la formazione di gocce e quindi una corretta simulazione del fenomeno pluviometrico (Fig. 5.23).



Fig. 5.23 Particolare del gocciolamento degli aghi che simulano l'evento di pioggia

La variazione del carico all'interno del serbatoio permette la simulazione di eventi pluviometrici con intensità diversa e quindi con tempi di ritorno differenti. 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 (Gregoretto, 2004).

Le cassette da testare sono state quindi posizionate circa 1 metro al di sotto del serbatoio. Per permettere la misura sia dell'acqua che defluisce dalla cassetta nella tanica 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 dalla cassetta con il substrato di coltivazione, 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 all'interno del substrato, 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 (Fig. 5.22).

5.3.1 Taratura del simulatore di pioggia

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 due substrati di coltivazione utilizzati per le simulazioni dei 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 20 cm e prendere dati di intensità ogni 5 cm di carico. Per ogni carico analizzato sono state effettuate 3 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 m³ ricavato direttamente dal peso di pioggia misurato;
- altezza della pioggia in mm;
- intensità di pioggia in mm/ora.

I risultati della taratura del simulatore di pioggia sono riportati in tabella 5.1.

Durata della prova (min)	Durata della prova (ore)	Carico (cm)	Peso pioggia totale (kg)	Area della cassetta (m2)	Volume totale di pioggia (m3)	Altezza di pioggia (mm)	Intensità (mm/ora)
10	0,17	5	6,78	0,44	0,0068	15,41	92,45
10	0,17	5	6,53	0,44	0,0065	14,84	89,02
10	0,17	5	6,64	0,44	0,0066	15,09	90,55
10	0,17	10	11,23	0,44	0,0112	25,52	153,11
10	0,17	10	10,81	0,44	0,0108	24,57	147,41
10	0,17	10	11,00	0,44	0,0110	25,00	150,00
10	0,17	15	14,84	0,44	0,0148	33,73	202,39
10	0,17	15	14,78	0,44	0,0148	33,59	201,55
10	0,17	15	14,68	0,44	0,0147	33,36	200,18
10	0,17	20	18,40	0,44	0,0184	41,81	250,85
10	0,17	20	18,33	0,44	0,0183	41,65	249,90
10	0,17	20	17,84	0,44	0,0178	40,55	243,30

Tab. 5.1 Dati ricavati dalla taratura del simulatore di pioggia

Utilizzando i dati in tabella 5.1 è stata ricavata la relazione fra carico e altezza di pioggia. La relazione è evidenziata all'interno del grafico di figura 5.24.

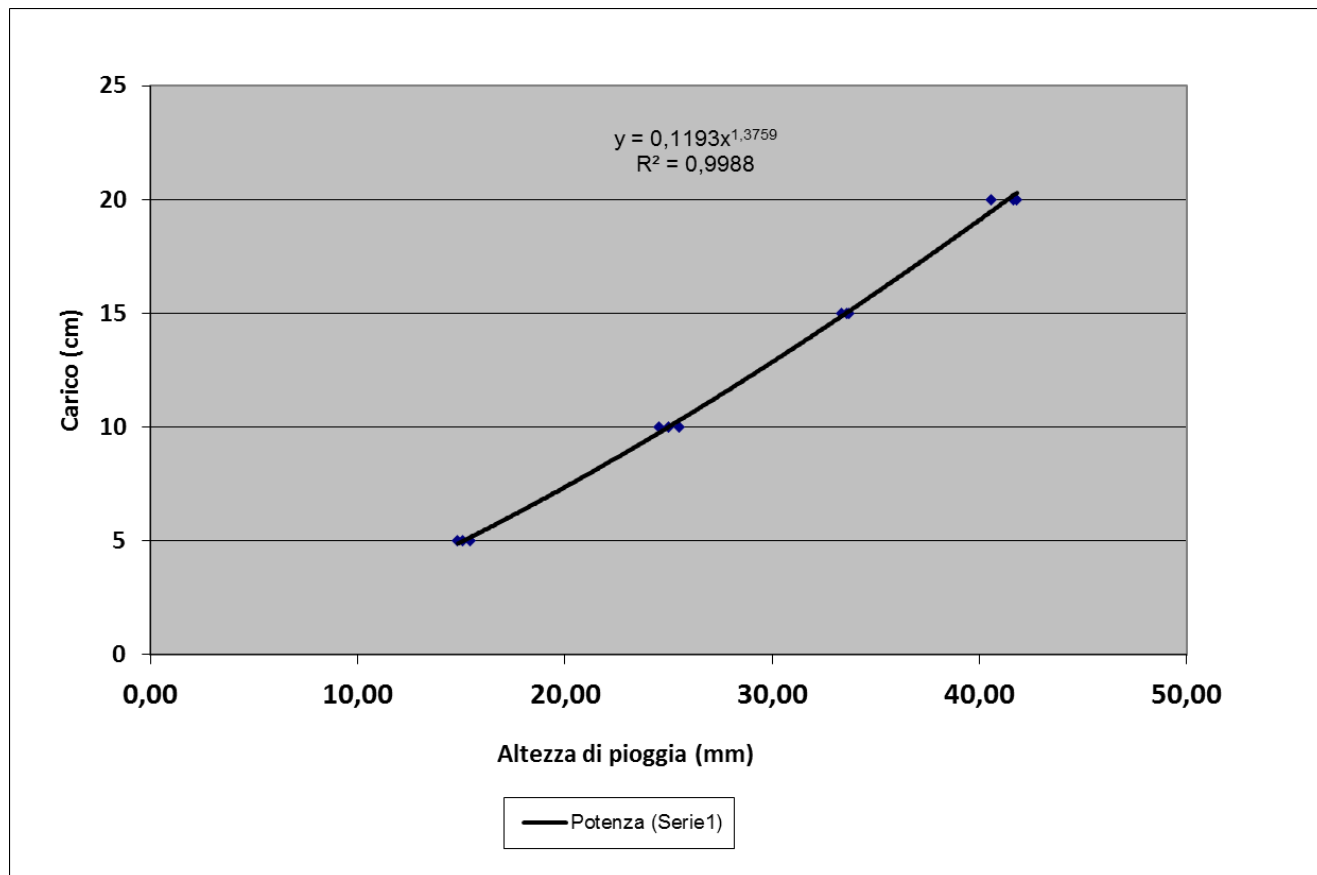


Fig. 5.24 Grafico che evidenzia l'equazione di taratura del simulatore di pioggia: relazione tra il livello di carico nel simulatore (altezza d'acqua nel serbatoio in centimetri) e l'altezza di pioggia simulata (millimetri)

Il grafico di figura 5.24 mostra in blu i punti relativi alle misurazioni finali delle simulazioni. Per ciascun carico di prova sono state realizzate 3 simulazioni per controllare che il simulatore garantisse risultati costanti. Come si può vedere le misurazioni ottenute sono molto simili dato che i punti che le rappresentano sono praticamente coincidenti.

5.3.2 Analisi statistico probabilistica delle piogge

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 (Bixio V. & Fiume A., 2002). L'analisi si è concentrata sugli eventi di pioggia con durata pari a 10 minuti; 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:

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

Dove $P(x)$ è la probabilità di non superamento della variabile idrologica x , mentre a 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.

L'adattamento della distribuzione di Gumbel al 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 (Tab. 5.2).

PIOGGE CARATTERISTICHE		
Durata di pioggia 10 min		
Tr (anni)	y	h attesa (mm)
2	0,367	16,84
5	1,5	21,87
10	2,25	25,2
30	3,384	30,23
50	3,902	32,53
100	4,6	35,63
200	5,296	38,72

Tab. 5.2 Relazione tra altezza di pioggia (h attesa) e tempo di ritorno

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 tra carico e altezza di pioggia (Fig. 5.24) è stato identificato il valore di carico da utilizzare nel simulatore di pioggia per la simulazione di questi due eventi (Tab. 5.3).

Durata di pioggia 10 min		
Tempo di ritorno (anni)	altezza di pioggia (mm)	carico (cm) (potenza)
2	16,84	5,81
30	30,23	12,99

Tab. 5.3 Valori dei due diversi carichi simulati

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. 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.

Prima della prova la cassetta con il substrato vulcanico aveva un peso di 49,651 kg, mentre quella con il laterizio pesava 47,487 kg, ben 2 kg in meno.

5.3.3 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 contenente il substrato di coltivazione.

La procedura adottata ha permesso di calcolare le quantità d'acqua accumulate e drenate in funzione del tempo per ognuno dei due substrati di coltivazione, 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 minuti successivi al termine della precipitazione.

5.4 Raccolta dei dati di deflusso

I dati ricavati sono stati rilevati in situ il giorno dopo ogni 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 per eventi più intensi (e quindi più importanti per i volumi di deflusso) è comunque dato dalle cassette in ghiaia utilizzate come testimone. 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. 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 essere 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.

La raccolta dei dati di deflusso 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; in questo caso la stazione di riferimento è la 111 attiva dal 1991 (Fig. 5.25).

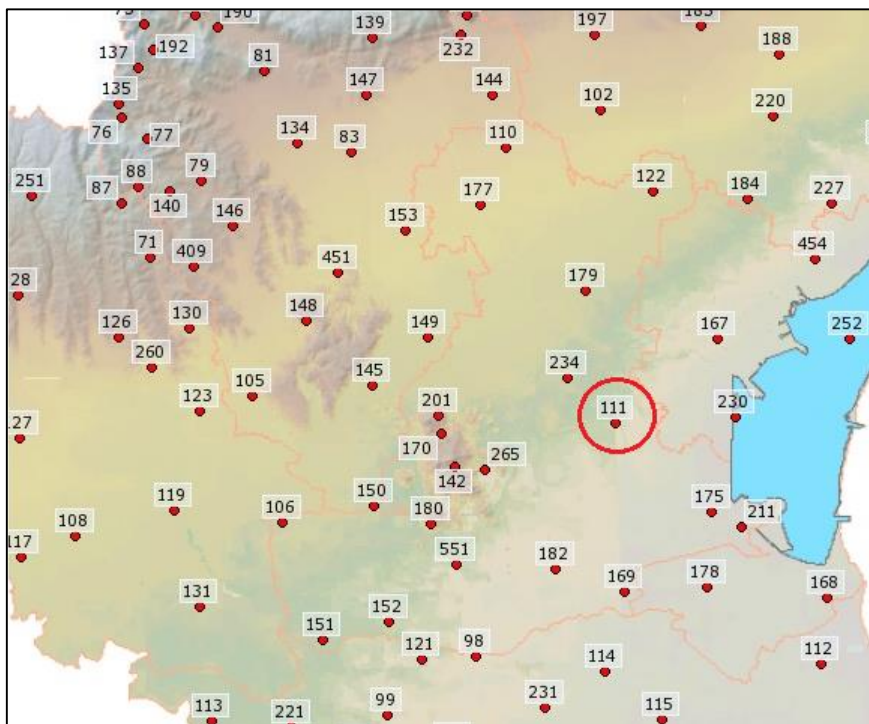


Fig. 5.25 Stazione pluviometrica 111 evidenziata in rosso (<http://www.arpa.veneto.it/>)

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). 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 sono 2 e ciascuna con capacità di 20 litri e hanno raccolto l'acqua di ogni evento piovoso (Fig. 5.26).



Fig. 5.26 Taniche in cui si accumula il deflusso di acqua a seguito di un evento piovoso

Al termine di ognuno di questi eventi sono state pesate con una bilancia elettronica (carico massimo di 20 kg) una ad una e i dati riportati a livello informatico. Il periodo di riferimento per reperire i dati ARPAV e nel quale si è provveduto a raccogliere i dati di deflusso parte dal 1/11/2014 fino al 30/06/2015 per un totale complessivo di 8 mesi.

5.4.1 Irrigazione di emergenza

Nel calcolo totale degli afflussi è stato considerato anche l'apporto idrico derivato da un'irrigazione d'emergenza eseguita in quanto le piante manifestavano una condizione di stress idrico. L'irrigazione è stata effettuata in data 9/06/2015 attraverso una lancia di distribuzione raccordata alla presa dell'acqua. Si sono distribuiti omogeneamente 5 l d'acqua su ogni cassetta (pari a una pioggia di 11,36 mm). Con la stessa modalità utilizzata per i giorni piovosi, il giorno seguente all'irrigazione (10/06/2015) sono state pesate le taniche contenenti acqua per andare a determinare la quantità di acqua defluita.

I deflussi misurati dopo l'irrigazione sono stati aggiunti a tutti quelli misurati negli 8 mesi di rilievo.

5.5 Raccolta dei dati di temperatura

La raccolta dei dati di temperatura è stata effettuata con cadenza settimanale per un periodo totale di 8 mesi (dal 1/11/2014 al 30/06/2015). I valori di temperatura, come spiegato in precedenza, sono stati registrati dalle Sonde Decagon 5TM e memorizzati dai Data logger Decagon Em50. Le sonde e i data logger rilevano e memorizzano dati ogni 10 minuti.

Una volta rilevati e memorizzati i dati, questi ultimi sono stati scaricati sul computer grazie all'utilizzo del programma ECH2O Utility collegando con un cavo il data logger alla presa usb del computer (Fig. 5.27).



Fig. 5.27 Computer collegato al data logger per scaricare i dati di temperatura raccolti

Dal momento che sono state posizionate 12 sonde e 3 data logger (4 sonde per ogni data logger), l'operazione per scaricare i dati è stata ripetuta per ogni centralina di raccolta dati e quindi per un totale di 3 volte. Le prime 4 sonde, collegate al primo data logger, rilevano le temperature delle cassette numero 14, 15, 16 e 18 (la 17 viene esclusa perché contiene soltanto ghiaia), le seconde 4, collegate al secondo data logger, rilevano le temperature delle cassette numero 19, 20, 21 e 22, le terze 4, collegate al terzo data logger, rilevano le temperature delle cassette numero 23, 24, 25 e 26.

Una volta scaricati i dati di temperatura delle 12 cassette per gli 8 mesi totali di rilievo, è stata poi ricavata la temperatura media di ogni settimana dalla 44° alla 52° settimana dell'anno 2014 e dalla 1° alla 27° settimana dell'anno 2015 per un totale di 36 settimane a cavallo tra 2014 e 2015.

Nonostante le sonde rilevino anche il contenuto volumetrico d'acqua (VWC) e l'umidità (m^3/m^3), questi due parametri non sono stati presi in considerazione nell'analisi dei dati.

5.6 Rilievo fotografico della copertura vegetale e raccolta dei dati di copertura

Altro 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 che 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 si è basata sul fotografare ogni singola cassetta (36 in totale) con una fotocamera GoPro Hero4 da 12MP controllata a distanza (Fig. 5.28).



Fig. 5.28 e 5.29 GoPro Hero4 utilizzata per fotografare gli accrescimenti delle piante (Fig. 5.28) e carrello su cui è stata fissata la GoPro per eseguire le foto dall'alto (Fig. 5.29)

La fotocamera è stata posta al di sopra di un braccetto fissato al carrello utilizzato per il simulatore di pioggia con distanza fra cassetta e fotocamera pari a 80 cm. La larghezza maggiore del carrello ha permesso di percorrere l'intera fila sormontando le cassette e in modo da centrare ognuna di queste (Fig. 5.29).

A questo punto ogni immagine ottenuta è stata elaborata e modificata con il software ImageJ agendo sulla soglia per permettere ai codici nel programma Matlab di calcolare l'area di copertura; è stato quindi 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 Default e un colore di soglia bianco (Kittler, 1986) (Fig. 5.30).

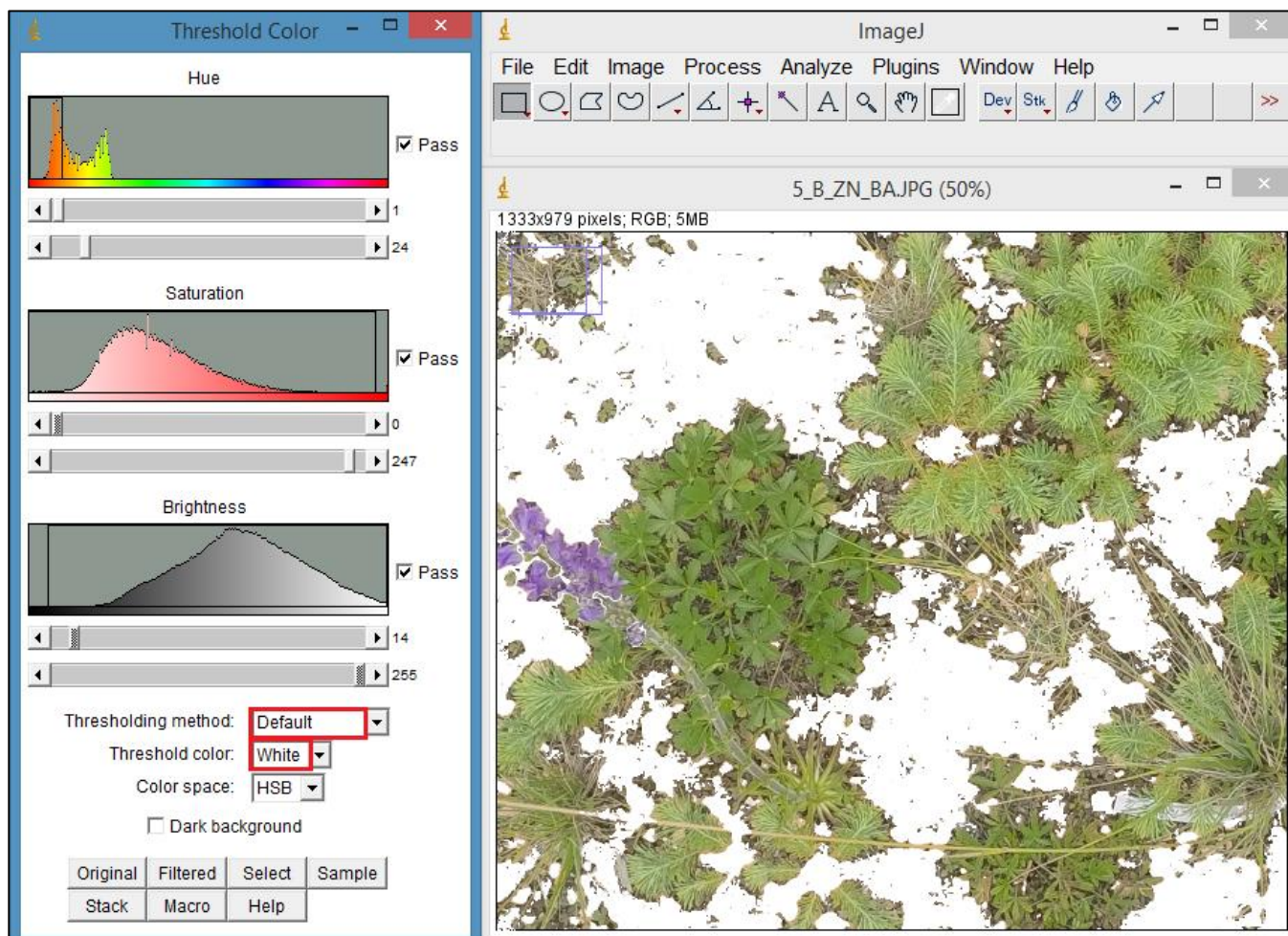


Fig. 5.30 Esempio di foto elaborata tramite il software ImageJ; le zone in bianco evidenziano la rimozione di fonti di disturbo come il colore del substrato

Successivamente ogni foto 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 ed è quella che stata utilizzata per definire la percentuale di copertura.

Le foto sono state scattate il giorno 19 di ogni mese per un totale di 6 mesi (da Gennaio a Giugno 2015) sempre alle ore 14:00 per avere il sole il più perpendicolare possibile ed evitare ombreggiamenti che non avrebbero permesso un'accurata elaborazione della foto.

5.7 Concimazione dei cassoni di simulazione

Ad un anno esatto dalla messa a dimora delle piante, in data 18/05/2015, è stata effettuata una concimazione del substrato di ogni cassetta. Il concime utilizzato per questa operazione è l'Osmocote prodotto dalla ditta Everris (Fig. 5.31).



Fig. 5.31 Osmocote utilizzato per la concimazione dei substrati delle cassette

Come riportato dalla ditta di produzione, Osmocote è un concime a cessione controllata appositamente studiato per la concimazione di fondo delle piante annuali e/o da bordura e coltivate in piccoli contenitori. Ha uno schema di rilascio molto regolare e costante ed è in grado di garantire un programma di nutrizione completo e sicuro. E' un sistema di coltivazione che consente di mantenere separati i processi di irrigazione e nutrizione; rispettoso dell'ambiente, è stato messo a punto per ridurre al minimo le perdite da dilavamento, ottimizzando l'assunzione dei macro e microelementi. Lo specifico rapporto NPK (19N-6P-11K+2MgO+Fe) è stato studiato apposta per la miscelazione nei substrati. La sua formula arricchita da un pacchetto completo di microelementi assicura una crescita compatta e un'ottima colorazione dei fiori e delle foglie. La granulometria estremamente fine consente una distribuzione ottimale nel substrato. I risultati migliori si ottengono con substrati nei quali non è stato aggiunto nessun fertilizzante starter (<http://www.everris.com/>).

Il concime è stato distribuito su tutte 36 le cassette (eccetto le 3 contenenti ghiaia) con una quantità di 30 g/m^2 e quindi $13,2 \text{ g/0,44 m}^2$ in rapporto alla superficie di ogni cassetta (Fig. 5.32).



Fig. 5.32 Quantità di concime distribuito

Inoltre, la distribuzione del concime in ogni cassetta è stata effettuata in maniera tale da cercare di distribuire uniformemente il materiale su tutta la superficie della cassetta evitando zone di sovrapposizione e con maggior quantitativo di concime rispetto ad altre (Fig. 5.33).



Fig. 5.33 Dettaglio della distribuzione del concime sul substrato; in rosso sono evidenziati gli elementi che compongono il concime

5.8 Interventi di manutenzione

Durante il periodo di raccolta dei dati, durato 8 mesi, sono state effettuate sulle cassette anche delle operazioni di manutenzione volte a mantenere il sistema di simulazione dei tetti verdi nelle migliori condizioni possibili.

A partire dal mese di Marzo 2015, sono stati effettuati costantemente piccoli interventi di rimozione del materiale vegetale secco affinché quest'ultimo non creasse un problema durante l'analisi delle coperture vegetali.

Si è provveduto inoltre a rimuovere costantemente le specie infestanti che nascevano all'interno delle cassette tramite il diserbo manuale; tra le specie invasive maggiormente rimosse ci sono *Vicia sativa*, *Taraxacum officinale* e *Trifolium repens*. Oltre alle infestanti spontanee sono state rimosse anche le specie utilizzate per le prove ma che nascevano e crescevano in altre cassette rispetto a quelle in cui avrebbero dovuto trovarsi; le specie maggiormente rimosse sono state *Clinopodium nepeta*, le tre specie appartenenti al genere *Dianthus*, *Thymus serpyllum*, *Euphorbia Cyparissias* e *Potentilla pusilla*.

5.9 Analisi statistica dei dati

Per l'analisi statistica della significatività dei valori raccolti 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.

Tale metodo è stato utilizzato per l'analisi della significatività dei dati nei deflussi di pioggia, nelle temperature e negli accrescimenti delle piante.

Il test di Duncan è stato utilizzato invece per analizzare la significatività dei dati rispettivamente per il miscuglio, strato colturale, drenante e le interazioni presenti tra di essi (miscuglio x substrato di coltivazione, miscuglio x drenante, substrato di coltivazione x drenante e miscuglio x substrato di coltivazione x drenante).

Per capire meglio questo concetto viene riportato di seguito un esempio di quanto emerso dall'analisi ANOVA-Test di Duncan per quanto riguarda i deflussi totali:

Fonte

-----	-----
Blocchi	ns

Effetti principali

Mix	***
-----	-----

Sub	*
Dren	***

Interazione

Mix x Sub	ns
Mix x Dren	ns
Sub x Dren	***
Mix x Sub x Dren	ns

Dove:

Mix è il tipo di miscuglio di piante

Sub è il tipo di substrato di coltivazione

Dren è il tipo di strato di accumulo/drenaggio

Da questa analisi emerge come tutti gli elementi che compongono i microcosmi di tetto verde abbiano avuto un effetto significativo sul quantitativo di acqua drenata, ma il tipo di miscuglio e lo strato drenante hanno un effetto molto significativo ($P \leq 0,001$), mentre il substrato di coltivazione ha un effetto minore ($P \leq 0,05$). Per quanto riguarda le interazioni tra gli elementi, solo l'interazione Sub x Dren dimostra di avere un effetto molto significativo sulla quantità di acqua defluita.

Prima dell'analisi statistica i valori percentuali sono stati convertiti nei rispettivi valori angolari.

6. Risultati e discussioni

L'obiettivo fondamentale di questo lavoro di tesi è l'analisi della capacità di trattenere e ridurre l'acqua di percolazione e deflusso di diversi sistemi a tetto verde di tipo estensivo. I dati ottenuti hanno permesso di valutare la capacità di rallentare l'acqua piovana diretta agli impianti di drenaggio in ambito urbano, identificare le specie vegetali che si sviluppano meglio valutando il loro accrescimento sui diversi tipi di substrato di coltivazione e identificare le combinazioni di materiali più idonee alla realizzazione di un tetto verde estensivo al fine della gestione degli eventi di pioggia intensi nelle condizioni climatiche della pianura padano-veneta.

Al fine di soddisfare tali obiettivi si è posta attenzione su:

- 1) Confronto in laboratorio di due diversi substrati di coltivazione: definizione dell'altezza di pioggia che determina l'inizio del deflusso, capacità massima di accumulo, velocità di drenaggio in funzione dell'intensità di pioggia;
- 2) Raccolta dei dati nel campo sperimentale, che comprendono nello specifico:
 - misura dell'acqua defluita dai diversi sistemi in seguito ad ogni evento di pioggia verificatosi durante il periodo di indagine;
 - rilievo della temperatura nel substrato di coltivazione;
 - analisi della copertura vegetale di ogni cassetta e valutazione sullo stato di accrescimento delle diverse specie in funzione delle diverse tipologie di substrato di coltivazione.

6.1 Risultati ottenuti dalle simulazioni di pioggia

Come già riportato in precedenza, la capacità di accumulo e drenaggio di due diverse tipologie di substrato di coltivazione (Laterizio e Vulcanico) sono state testate per piogge con tempo di ritorno di 2 e 30 anni (altezze di pioggia ottenute dall'analisi statistico-probabilistica dei dati del pluviografo ARPAV di Legnaro, PD). Inoltre, entrambi i substrati sono stati testati con due condizioni di umidità antecedenti l'evento di pioggia simulato: substrato di coltivazione completamente secco e a completa saturazione.

La capacità di accumulo e drenaggio dei due substrati è stata valutata misurando ad intervalli di tempo regolari (30 secondi) il peso dell'acqua accumulata nel campione di tetto verde e nel contenitore per la raccolta dell'acqua drenata. La velocità di drenaggio è stata invece misurata come incremento della quantità d'acqua drenata nell'unità di tempo (considerata pari a 1 minuto). Tutte le prove effettuate si riferiscono a eventi di pioggia della durata di 10 minuti.

Nel caso delle due prove effettuate con il substrato secco, né la pioggia simulata con tempo di ritorno di 2 anni, né quella con tempo di ritorno di 30 anni hanno generato deflusso: tutta la pioggia

è stata accumulata nel substrato. Questo è un dato molto significativo che indica che entrambi i substrati di coltivazione, se asciutti, sono in grado di gestire eventi piovosi a carattere temporalesco di forte intensità, con elevato tempo di ritorno.

Visto che i substrati non hanno prodotto deflusso in condizioni di umidità antecedente nulla, di seguito si riportano e si discutono soltanto i dati relativi alla condizione di massima saturazione che, invece, ha generato deflusso.

6.1.1 Pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e substrato saturo

La pioggia da simulare era di 16,84 mm, che corrisponde ad un livello di carico all'interno del serbatoio del simulatore pari a 5,81 cm (dettagli riguardo la procedura di taratura del simulatore a pag. 86-87). In questa prova i due substrati sono stati portati a saturazione prima dell'inizio della simulazione di pioggia (la condizione di saturazione è stata considerata raggiunta non appena cominciava a verificarsi deflusso). In tabella. 6.1 vengono riportati i dati ottenuti da questa prova.

		TR 2 anni - Substrato saturo					
		LATERIZIO			VULCANICO		
Termine dell'evento di pioggia	Tempo (min)	Pioggia accumulata (mm)	Pioggia drenata (mm)	Pioggia simulata (mm)	Pioggia accumulata (mm)	Pioggia drenata (mm)	Pioggia simulata (mm)
	0	39,89	0,00	0,00	33,81	0,00	0,00
	0,5	40,38	0,02	0,51	34,45	0,23	0,87
	1	40,97	0,15	1,23	35,18	0,25	1,62
	1,5	41,45	0,42	1,98	35,87	0,33	2,39
	2	41,80	0,82	2,74	36,57	0,39	3,14
	2,5	42,07	1,27	3,45	37,24	0,50	3,92
	3	42,25	1,82	4,19	37,74	0,73	4,65
	3,5	42,41	2,40	4,93	38,05	1,18	5,43
	4	42,49	3,06	5,66	38,23	1,75	6,17
	4,5	42,54	3,77	6,42	38,38	2,45	7,02
	5	42,59	4,46	7,16	38,46	3,02	7,66
	5,5	42,62	5,15	7,88	38,50	3,72	8,41
	6	42,63	5,88	8,63	38,58	4,42	9,18
	6,5	42,65	6,58	9,35	38,63	5,17	9,98
	7	42,66	7,28	10,05	38,66	5,82	10,67
	7,5	42,66	8,00	10,77	38,69	6,54	11,41
	8	42,66	8,69	11,47	38,71	7,27	12,16
	8,5	42,67	9,39	12,18	38,72	7,98	12,89
	9	42,68	10,09	12,88	38,73	8,68	13,60
	9,5	42,70	10,80	13,61	38,75	9,40	14,33
	10	42,70	11,51	14,33	38,78	10,11	15,30
	10,5	42,28	12,08	14,47	38,08	10,80	15,30

Rilievo Post- Precipitazione	11	41,85	12,64	14,33	37,52	11,37	15,30
	11,5	41,44	13,10	14,33	37,09	11,85	15,30
	12	41,14	13,40	14,33	36,70	12,22	15,30
	12,5	40,90	13,63	14,33	36,40	12,52	15,30
	13	40,89	13,80	14,33	36,15	12,76	15,30
	13,5	40,57	13,94	14,33	35,94	12,97	15,30
	14	40,49	14,04	14,33	35,77	13,16	15,30
	14,5	40,36	14,15	14,33	35,61	13,32	15,30
	15	40,28	14,23	14,33	35,46	13,46	15,30
	15,5	40,20	14,31	14,33	35,33	13,60	15,30
	16	40,14	14,36	14,33	35,20	13,70	15,30
	16,5	40,08	14,41	14,33	35,11	13,81	15,30
	17	40,03	14,46	14,33	35,04	13,90	15,30
	17,5	39,99	14,51	14,33	34,92	13,98	15,30
	18	39,95	14,55	14,33	34,84	14,07	15,30
18,5	39,92	14,58	14,33	34,76	14,14	15,30	

Tab. 6.1 Dati relativi per piogge con tempo di ritorno di 2 anni e substrato saturo

La tabella 6.1 mostra, per ognuna delle due tipologie di substrato testate, i dati relativi alla quantità d'acqua accumulata nei cassoni, alla quantità d'acqua drenata dal substrato e alla pioggia simulata, utilizzata per controllare l'efficienza e il corretto funzionamento del simulatore. I dati relativi a questi parametri sono stati rilevati ad intervalli di 30 secondi fino a quando il deflusso non si interrompeva (in questo caso dopo 8,5 minuti dal termine della precipitazione). Gli eventi di pioggia simulati hanno durata di 10 minuti, ma il rilievo post-precipitazione è interessante per vedere l'andamento del drenaggio quando cessa l'apporto idrico della pioggia simulata.

In figura 6.1 vengono evidenziate le diverse capacità di accumulo nel tempo dei due substrati. Il substrato Laterizio è quello con la maggiore capacità di accumulo, che arriva a superare i 42 mm di pioggia (42,7 mm), mentre il Vulcanico accumula una quantità inferiore di acqua (38,8 mm). Entrambi i substrati, una volta raggiunto il livello massimo di saturazione, sono comunque in grado di drenare la pioggia con tempo di ritorno di 2 anni simulata senza creare accumuli eccessivi e ristagni d'acqua. Infatti, ogni nuovo quantitativo d'acqua che cade dopo aver raggiunto la saturazione viene drenato verso lo scarico senza problemi. Dai dati rilevati post-precipitazione, quindi dopo il decimo minuto, si osserva che i due substrati tendono a tornare al livello di accumulo iniziale (valore massimo di acqua che può essere trattenuta dal substrato). Questo livello è pari a 38,9 mm per il Laterizio e 33,8 mm per Vulcanico. Il substrato Laterizio ritorna in maniera più veloce alle condizioni di accumulo iniziali, mentre il Vulcanico impiega più tempo rilasciando l'acqua un po' più lentamente. Da questa prima analisi il substrato Laterizio sembra riuscire a gestire in maniera più efficace del Vulcanico eventi di pioggia intensi ad alta frequenza di accadimento, in quanto riesce ad accumulare un maggior quantitativo di acqua.

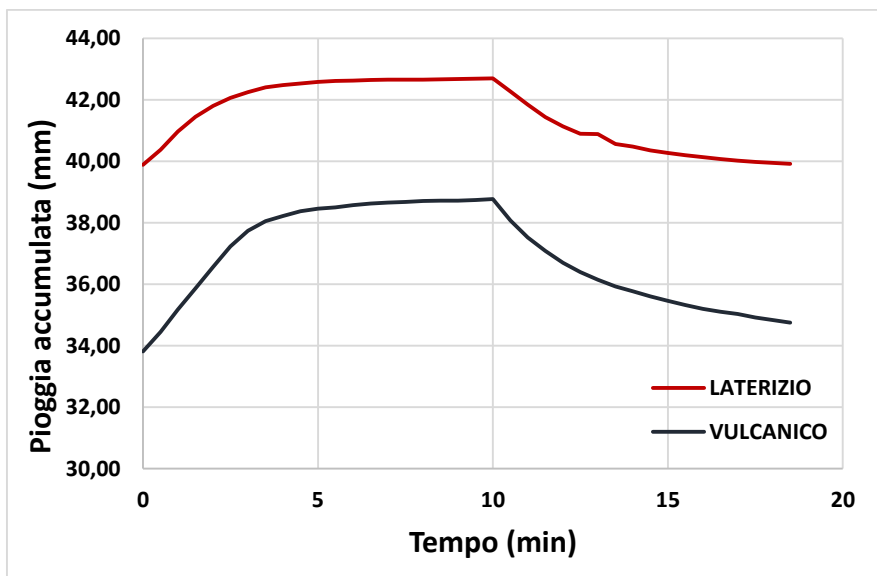


Fig. 6.1 Pioggia accumulata nei due cassoni per la simulazione di un evento di pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e livello di saturazione del substrato massimo

Come si poteva già intuire dal grafico precedente, il grafico di figura 6.2 mostra come il drenaggio aumenti rapidamente nella prima fase (primi due/tre minuti) raggiungendo quindi una fase ad incremento costante (fino al termine della precipitazione) nel momento in cui i substrati raggiungono la capacità di accumulo massima. Questo incremento costante della pioggia drenata è pari all'intensità di pioggia, a conferma del fatto che i due substrati non evidenziano problemi nel drenaggio di una pioggia con tempo di ritorno di 2 anni anche nel caso in cui siano completamente saturi. La non coincidenza tra le linee è dovuta alla diversa capacità di drenaggio tra i substrati; infatti il Laterizio riesce a drenare, anche se di poco, un maggior quantitativo di acqua rispetto al Vulcanico. Entrambi, comunque, tendono a stabilizzarsi una volta passati i 10 minuti della simulazione di pioggia in quanto termina l'apporto idrico.

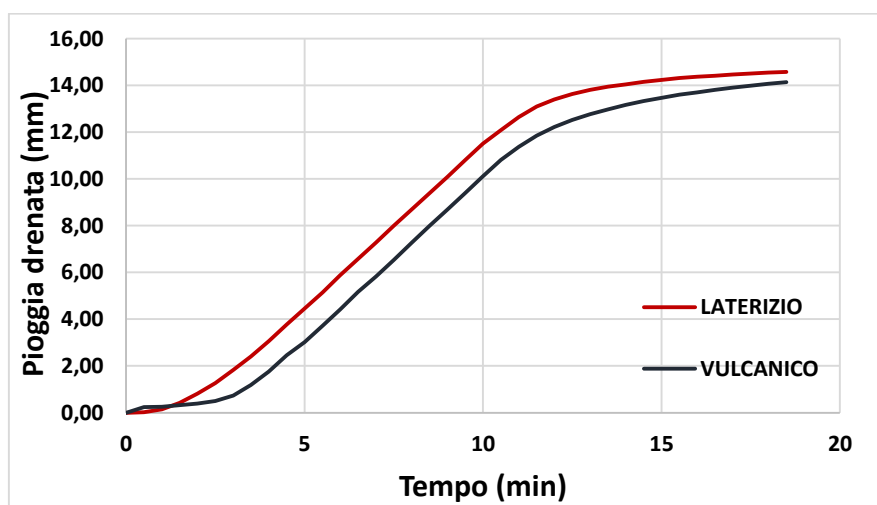


Fig. 6.2 Pioggia drenata nei due cassoni per la simulazione di un evento di pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e livello di saturazione del substrato massimo

Il grafico in figura 6.3, relativo alla pioggia simulata, è stato utilizzato invece per controllare che la simulazione di pioggia sia stata la medesima nelle due prove effettuate. Se le linee si sovrappongono perfettamente significa che le due simulazioni sono state perfettamente uguali dal punto di vista quantitativo, ovvero la quantità di pioggia caduta è stata la stessa per ogni prova. Se invece le linee presentano tra loro un andamento diverso, significa che la simulazione di pioggia non è stata costante. In questo caso le linee sono molto simili e questo conferma le osservazioni precedenti sull'efficacia del simulatore di pioggia. Si osserva comunque un apporto idrico leggermente superiore nel caso del Vulcanico; è stata simulata infatti una precipitazione di 15,3 mm per il Vulcanico e 14,3 per il Laterizio,

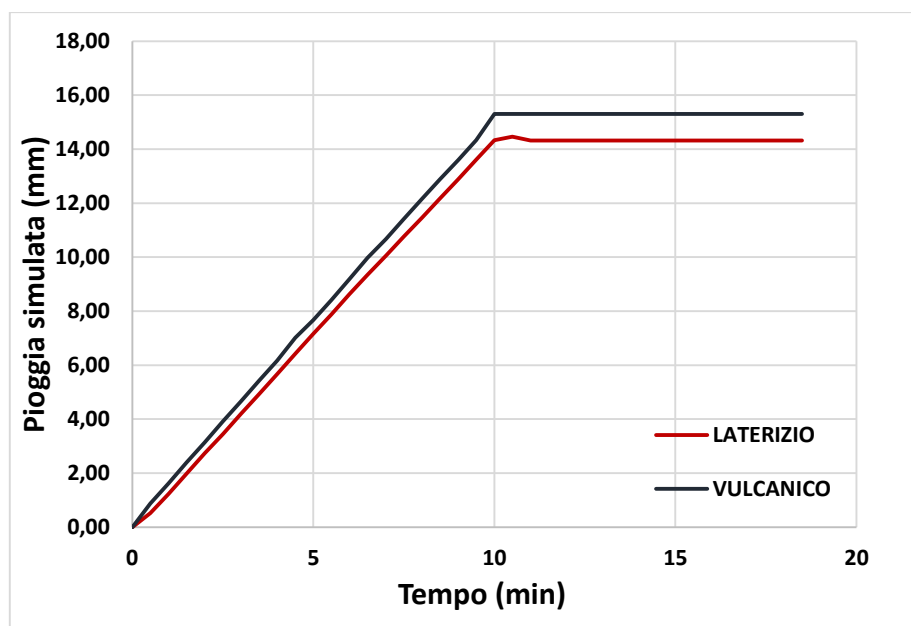


Fig. 6.3 Pioggia simulata nei due cassoni per la simulazione di un evento di pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e livello di saturazione del substrato massimo

Per quanto riguarda la velocità di drenaggio, in tabella 6.2 sono riportati gli incrementi nel tempo della quantità d'acqua drenata verso lo scarico per ognuno dei due substrati testati, l'intensità di pioggia e l'intensità media.

	TR 2 anni - Substrato saturo					Intensità di pioggia media (mm/min)
	Tempo (min)	LATERIZIO		VULCANICO		
		Intensità di pioggia (mm/min)	Velocità di drenaggio (mm/min)	Intensità di pioggia (mm/min)	Velocità di drenaggio (mm/min)	
Termine dell'evento di pioggia	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47
	0,5	1,03	0,05	1,74	0,01	1,47
	1	1,44	0,25	1,50	0,04	1,47
	1,5	1,50	0,54	1,54	0,15	1,47
	2	1,51	0,80	1,51	0,13	1,47
	2,5	1,42	0,90	1,55	0,21	1,47
	3	1,48	1,11	1,47	0,46	1,47
	3,5	1,47	1,16	1,54	0,91	1,47
	4	1,47	1,32	1,49	1,14	1,47
	4,5	1,51	1,41	1,70	1,40	1,47
	5	1,49	1,39	1,29	1,13	1,47
	5,5	1,43	1,37	1,50	1,41	1,47
	6	1,50	1,48	1,54	1,39	1,47
	6,5	1,45	1,40	1,60	1,50	1,47
	7	1,40	1,39	1,37	1,30	1,47
	7,5	1,44	1,44	1,50	1,44	1,47
	8	1,40	1,39	1,50	1,45	1,47
	8,5	1,42	1,40	1,45	1,43	1,47
	9	1,41	1,39	1,42	1,40	1,47
	9,5	1,46	1,44	1,46	1,43	1,47
10	1,43	1,41	1,94	1,42	1,47	
Rilievo Post-Precipitazione	10,5	0,00	1,13	0,00	1,39	0,00
	11	0,00	1,13	0,00	1,13	0,00
	11,5	0,00	0,91	0,00	0,95	0,00
	12	0,00	0,60	0,00	0,75	0,00
	12,5	0,00	0,47	0,00	0,60	0,00
	13	0,00	0,35	0,00	0,48	0,00
	13,5	0,00	0,27	0,00	0,42	0,00
	14	0,00	0,21	0,00	0,38	0,00
	14,5	0,00	0,22	0,00	0,32	0,00
	15	0,00	0,15	0,00	0,28	0,00
	15,5	0,00	0,15	0,00	0,27	0,00
	16	0,00	0,11	0,00	0,20	0,00
	16,5	0,00	0,09	0,00	0,22	0,00
	17	0,00	0,10	0,00	0,18	0,00
	17,5	0,00	0,10	0,00	0,17	0,00
	18	0,00	0,08	0,00	0,16	0,00
	18,5	0,00	0,06	0,00	0,15	0,00
	19	0,00	0,06	0,00	0,15	0,00

Tab 6.2 Dati relativi per piogge con tempo di ritorno di 2 anni e substrato saturo

Il grafico in figura 6.4 mostra per tutti e due i substrati un andamento non completamente costante della velocità di drenaggio. Tuttavia si osserva nei primi 5 minuti un progressivo aumento della velocità di drenaggio dovuto al fatto che i substrati man mano che passa il tempo riescono a trattenere una quantità d'acqua sempre minore; successivamente, una volta raggiunta la capacità massima di trattenuta d'acqua, la velocità di drenaggio si mantiene per tutte e due le soluzioni nella fascia tra i 1,2 e 1,5 mm/min che è quasi pari all'intensità della pioggia in arrivo (mediamente 1,47 mm/min). Questo significa che una volta raggiunta la saturazione massima, i substrati drenano tutta la pioggia che gli arriva. Infine, al termine della simulazione di pioggia, il substrato Laterizio termina il drenaggio più velocemente rispetto al Vulcanico. I due picchi inferiori evidenti nel caso del Vulcanico al quinto e al settimo minuto possono far pensare a due errori di misurazione.

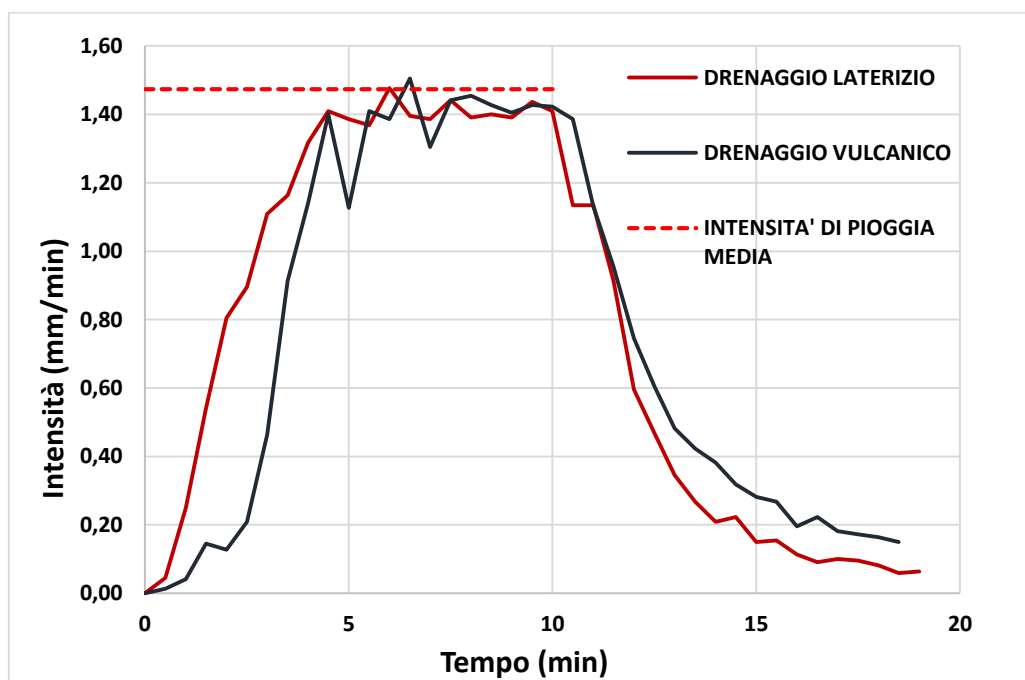


Fig. 6.4 Variazione della quantità d'acqua drenata negli intervalli di tempo tra le diverse misurazioni. Dati relativi alle simulazioni di piogge con tempo di ritorno di 2 anni e substrato saturo

6.1.2 Pioggia con tempo di ritorno di 30 anni e substrato saturo

L'ultima serie di prove è stata realizzata per piogge con tempo di ritorno di 30 anni, sempre della durata di 10 minuti. Anche in questa prova i due substrati sono stati portati a saturazione prima dell'inizio della simulazione di pioggia, distribuendo acqua in modo omogeneo fino a quando si è osservato l'inizio del deflusso. La precipitazione è stata simulata conferendo un carico nella vasca del simulatore pari a 12,99 cm, necessari per creare un'altezza di pioggia di 30,23 mm in 10 minuti. In Tabella 6.3 sono riportati i dati rilevati da questa prova.

	Tempo (min)	TR 30 anni - Substrato saturo					
		LATERIZIO			VULCANICO		
		Pioggi accumulata (mm)	Pioggia drenata (mm)	Pioggia simulata (mm)	Pioggi accumulata (mm)	Pioggia drenata (mm)	Pioggia simulata (mm)
Termine dell'evento di pioggia	0	38,06	0,00	0,00	30,92	0,00	0,00
	0,5	39,21	0,46	1,62	31,79	0,11	0,98
	1	40,03	1,03	3,00	32,66	0,19	1,93
	1,5	40,67	1,69	4,30	33,76	0,45	3,29
	2	41,18	2,51	5,63	34,43	1,15	4,65
	2,5	41,68	3,34	6,96	34,91	2,07	6,06
	3	42,15	4,23	8,32	35,28	3,05	7,42
	3,5	42,52	5,18	9,64	35,66	4,02	8,77
	4	42,88	6,15	10,98	35,95	5,14	10,17
	4,5	43,14	7,22	12,30	36,26	6,22	11,56
	5	43,36	8,36	13,66	36,52	7,29	12,89
	5,5	43,60	9,56	15,11	36,78	8,40	14,26
	6	43,76	10,68	16,38	37,03	9,54	15,65
	6,5	43,82	12,00	17,75	37,20	10,73	17,02
	7	43,93	13,21	19,08	37,43	11,85	18,36
	7,5	43,99	14,53	20,45	37,65	13,02	19,75
	8	44,05	15,86	21,85	37,83	14,16	21,07
	8,5	44,06	17,14	23,15	38,03	15,36	22,48
	9	44,09	18,50	24,53	38,20	16,55	23,84
	9,5	44,12	19,78	25,84	38,36	17,83	25,27
10	44,14	21,10	27,17	38,50	18,95	26,54	
Rilievo Post-Precipitazione	10,5	42,96	22,36	27,17	37,50	20,20	26,54
	11	42,10	23,27	27,17	36,70	20,96	26,54
	11,5	41,55	23,95	27,17	36,19	21,51	26,54
	12	41,19	24,21	27,17	35,81	21,86	26,54
	12,5	40,96	24,49	27,17	35,52	22,15	26,54
	13	40,77	24,67	27,17	35,30	22,38	26,54
	13,5	40,59	24,82	27,17	35,11	22,58	26,54
	14	40,48	24,94	27,17	34,94	22,72	26,54
	14,5	40,36	25,06	27,17	34,82	22,86	26,54
	15	40,28	25,14	27,17	34,68	22,99	26,54
	15,5	40,20	25,21	27,17	34,60	23,09	26,54
	16	40,14	25,28	27,17	34,49	23,18	26,54
	16,5	40,07	25,34	27,17	34,40	23,28	26,54
	17	40,02	25,39	27,17	34,32	23,35	26,54
	17,5	40,00	25,44	27,17	34,24	23,43	26,54
18	39,93	25,48	27,17	34,17	23,50	26,54	
18,5	39,89	25,51	27,17	34,10	23,57	26,54	

Tab. 6.3 Dati relativi per piogge con tempo di ritorno di 30 anni e substrato saturo

In tabella 6.3 vengono mostrati per ognuna delle due tipologie di substrato testate i dati relativi alla quantità d'acqua accumulata nei cassoni, alla quantità d'acqua drenata dal substrato e alla pioggia simulata. Anche in questo caso i dati relativi a questi parametri sono stati rilevati ad intervalli di 30 secondi per 18,5 minuti. Gli eventi di pioggia simulati hanno invece durata di 10 minuti.

In figura 6.5 vengono evidenziate le diverse capacità di accumulo necessarie per arrivare completamente alla saturazione dei due substrati. Anche in questo caso il substrato Laterizio è quello con la maggiore capacità di accumulo (44,1 mm), mentre il Vulcanico arriva ad accumulare meno acqua (38,5 mm). Entrambi i substrati sembrano avere un andamento molto simile e una volta raggiunto il livello massimo di saturazione, sono comunque in grado di drenare la pioggia con tempo di ritorno di 30 anni simulata senza creare accumuli eccessivi e ristagni d'acqua. Infatti, ogni nuovo quantitativo d'acqua che cade dopo aver raggiunto la saturazione viene drenato verso lo scarico senza problemi. Dai dati rilevati post-precipitazione, quindi dopo il decimo minuto, si vede che i due substrati tendono a tornare al livello di accumulo iniziale. Il substrato Laterizio ritorna in maniera più veloce alle condizioni di accumulo iniziali, mentre il Vulcanico impiega più tempo. Addirittura, in questo caso, il Vulcanico non riesce a ritornare alla condizione di saturazione iniziale arrivando alla metà del diciottesimo minuto con un quantitativo di acqua pari a 34,1 mm, contro i 30,9 mm iniziali. Anche in questo caso il Laterizio dimostra essere il substrato più efficace.

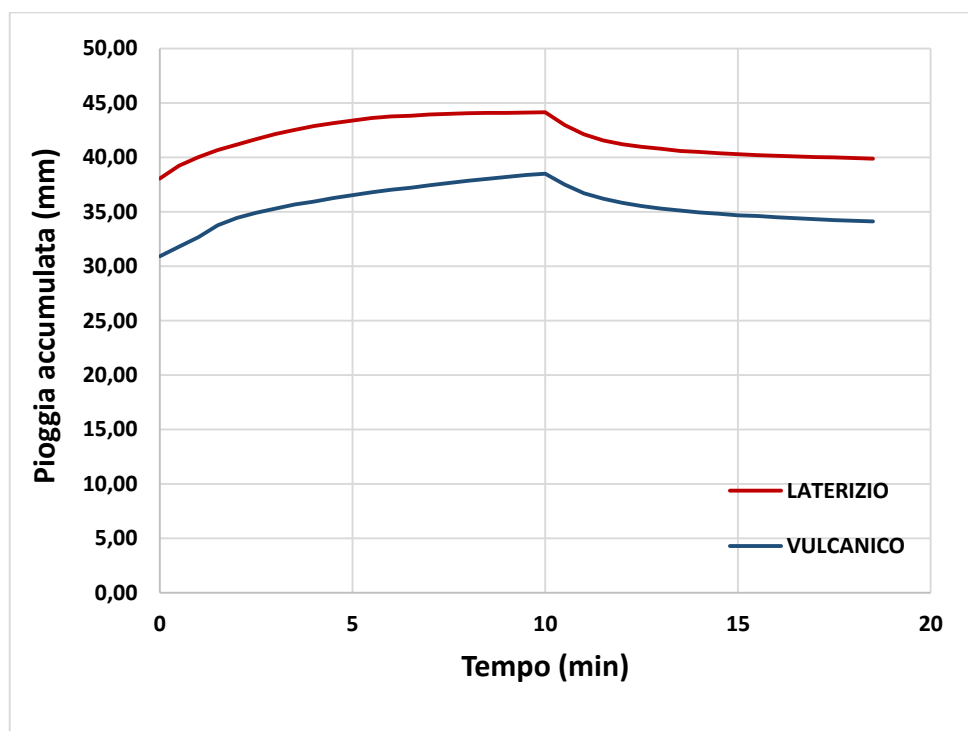


Fig. 6.5 Pioggia accumulata nei due cassoni per la simulazione di un evento di pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e livello di saturazione del substrato massimo

Il grafico in figura 6.6 mostra che in tutte e due le simulazioni il drenaggio è stato simile. Il substrato Vulcanico inizia a drenare un maggior quantitativo di acqua dopo i primi 2 minuti, mentre il Laterizio, già dall'inizio della prova drena acqua in maniera costante. Anche in questo caso i due substrati non hanno nessun problema a drenare una pioggia con tempo di ritorno di 30 anni nonostante la condizione di massima saturazione. La non coincidenza tra le linee è dovuta alla diversa capacità di drenaggio tra i substrati; infatti il Laterizio drena, anche se di poco, un maggior quantitativo di acqua rispetto al Vulcanico. Entrambi, comunque, tendono a stabilizzarsi una volta passati i 10 minuti della simulazione di pioggia in quanto termina l'apporto idrico. Alla fine del rilevamento, al minuto 18,5, le differenze relative alla quantità d'acqua drenata sono di 2 mm (25,5 mm drenati dal Laterizio e 23,5 mm drenati dal Vulcanico). Anche in questo caso, quindi, il substrato Laterizio drena una quantità d'acqua maggiore.

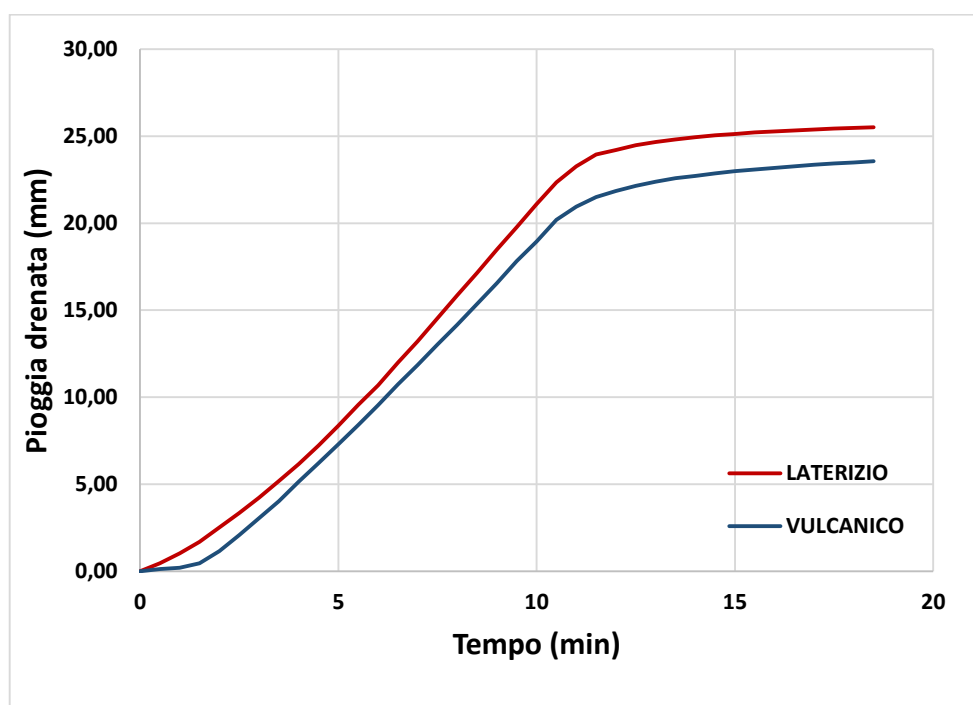


Fig. 6.6 Pioggia drenata nei due cassoni per la simulazione di un evento di pioggia con tempo di ritorno di 30 anni e livello di saturazione del substrato massimo

Anche in questo caso il grafico in figura 6.7 relativo alla pioggia simulata è stato utilizzato per controllare che la simulazione di pioggia sia stata la medesima nelle due prove effettuate. A differenza di quanto accaduto con la simulazione del tempo di ritorno di 2 anni, in cui la pioggia simulata era molto simile, in questo caso si constata che l'acqua apportata con il simulatore di pioggia è praticamente identica nelle due simulazioni effettuate (27,2 mm di pioggia simulata per il substrato Laterizio e 26,5 per il Vulcanico). L'andamento della pioggia è lo stesso in entrambi i casi e l'intensità di pioggia, nella fase di apporto di acqua, è costante per tutte e due le prove, con le due linee che

seguono il medesimo andamento, raggiungendo il massimo al decimo minuto per poi mantenersi ovviamente costanti a causa del termine dell'apporto idrico.

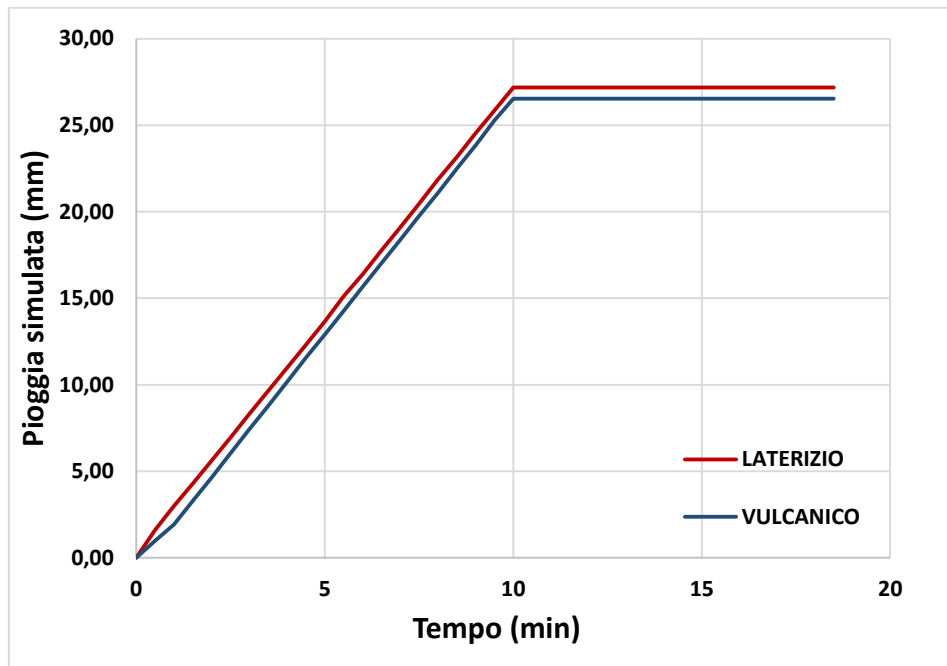


Fig. 6.7 Pioggia simulata nei due cassoni per la simulazione di un evento di pioggia con tempo di ritorno di 2 anni e livello di saturazione del substrato massimo

Per quanto riguarda la velocità di drenaggio, in tabella 6.4 sono riportati gli incrementi nel tempo della quantità d'acqua drenata verso lo scarico per ognuno dei due substrati testati, l'intensità di pioggia e l'intensità media. Come nelle simulazioni precedenti, i dati sono stati raccolti per piogge simulate della durata di 10 minuti, con misurazioni effettuate ogni 30 secondi. Al termine della simulazione di precipitazione, le misurazioni sono proseguite per altri 9 minuti per osservare come avviene il drenaggio una volta terminato l'evento di pioggia.

	Tempo (min)	TR 30 anni - Substrato saturo				Intensità di pioggia media (mm/min)
		LATERIZIO		VULCANICO		
		Intensità di pioggia (mm/min)	Velocità di drenaggio (mm/min)	Intensità di pioggia (mm/min)	Velocità di drenaggio (mm/min)	
Termine dell'evento di pioggia	0	0,00	0,00	0,00	0,00	2,69
	0,5	3,23	0,92	1,97	0,23	2,69
	1	2,77	1,13	1,90	0,16	2,69
	1,5	2,60	1,32	2,71	0,51	2,69
	2	2,65	1,64	2,73	1,39	2,69
	2,5	2,66	1,66	2,80	1,84	2,69
	3	2,72	1,78	2,72	1,97	2,69
	3,5	2,64	1,90	2,70	1,94	2,69
	4	2,68	1,95	2,80	2,24	2,69
	4,5	2,66	2,14	2,78	2,15	2,69
	5	2,72	2,27	2,67	2,15	2,69
	5,5	2,89	2,41	2,73	2,21	2,69
	6	2,54	2,23	2,79	2,28	2,69
	6,5	2,75	2,64	2,72	2,39	2,69
	7	2,65	2,43	2,70	2,23	2,69
	7,5	2,75	2,64	2,76	2,34	2,69
	8	2,78	2,66	2,65	2,28	2,69
	8,5	2,60	2,57	2,81	2,41	2,69
	9	2,76	2,70	2,72	2,38	2,69
	9,5	2,62	2,57	2,86	2,55	2,69
10	2,67	2,63	2,54	2,25	2,69	
Rilievo Post-Precipitazione	10,5	0,00	2,63	0,00	2,25	0,00
	11	0,00	2,52	0,00	2,51	0,00
	11,5	0,00	1,82	0,00	1,50	0,00
	12	0,00	1,36	0,00	1,10	0,00
	12,5	0,00	0,52	0,00	0,70	0,00
	13	0,00	0,57	0,00	0,58	0,00
	13,5	0,00	0,36	0,00	0,46	0,00
	14	0,00	0,30	0,00	0,40	0,00
	14,5	0,00	0,24	0,00	0,28	0,00
	15	0,00	0,24	0,00	0,28	0,00
15,5	0,00	0,16	0,00	0,25	0,00	
16	0,00	0,15	0,00	0,20	0,00	
16,5	0,00	0,13	0,00	0,18	0,00	
17	0,00	0,12	0,00	0,19	0,00	
17,5	0,00	0,10	0,00	0,15	0,00	
18	0,00	0,10	0,00	0,15	0,00	
18,5	0,00	0,08	0,00	0,13	0,00	
19	0,00	0,06	0,00	0,14	0,00	

Tab. 6.4 Dati relativi per piogge con tempo di ritorno di 30 anni e substrato saturo

Il grafico in figura 6.8 mostra per tutti e due i substrati un andamento non completamente costante. Per i primi 5 minuti i due substrati sembrano alternarsi nei valori di velocità di drenaggio, drenando più acqua prima il Laterizio e poi il Vulcanico. In entrambi i casi, si osserva comunque un progressivo aumento della velocità di drenaggio nei primi 5 minuti dovuto al fatto che i substrati man mano che passa il tempo riescono a trattenere una quantità d'acqua sempre minore; successivamente, una volta raggiunta la capacità massima di trattenuta d'acqua, la velocità di drenaggio si mantiene per tutte e due le soluzioni nella fascia tra i 2,3 e 2,7 mm/min che è quasi pari all'intensità della pioggia in arrivo (2,69 mm/min). Questo significa che una volta raggiunta la saturazione massima, i substrati riescono a drenare tutta la pioggia che gli arriva. In questa fase il substrato Laterizio evidenzia una maggiore velocità di drenaggio che eguaglia l'intensità di pioggia media. Al termine della simulazione di pioggia, i due substrati tendono ad assumere un andamento quasi identico, segno che entrambi drenano allo stesso modo l'acqua in accumulo.

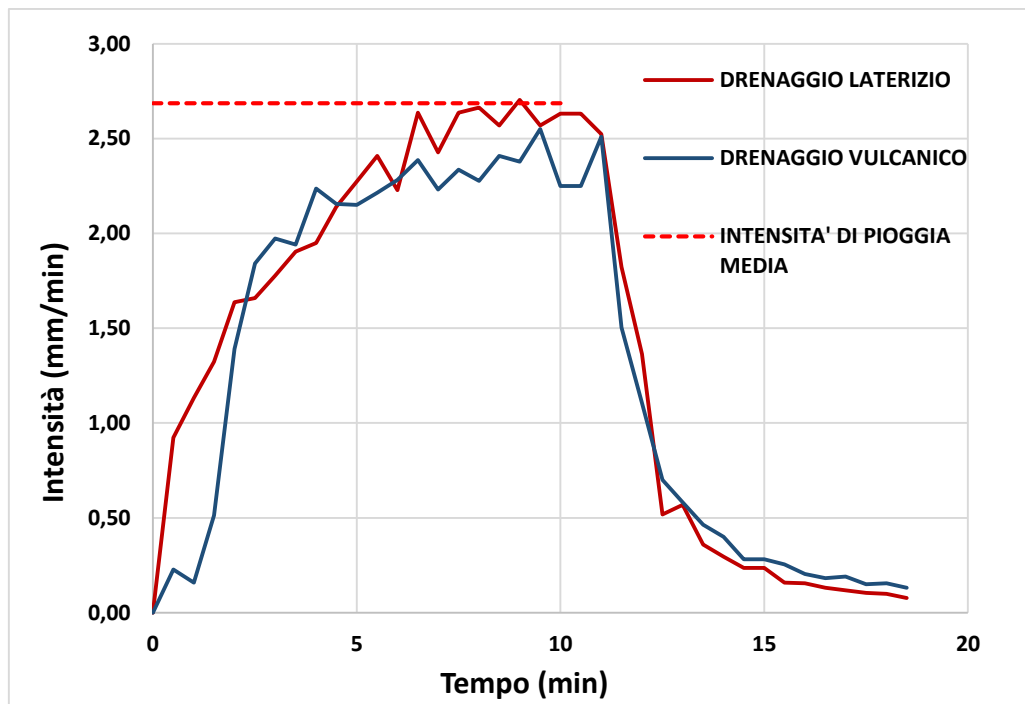


Fig. 6.8 Variazione della quantità d'acqua drenata negli intervalli di tempo tra le diverse misurazioni. Dati relativi alle simulazioni di piogge con tempo di ritorno di 30 anni e substrato saturo

6.2 Risultati ottenuti dalla misura dei deflussi di pioggia

La tabella seguente (Tab. 6.5) mostra i dati validati forniti dall'ARPAV di Teolo per questo periodo: in azzurro sono evidenziati gli eventi di pioggia che hanno generato deflusso all'interno delle taniche, in giallo gli eventi di pioggia senza deflusso nelle taniche e in rosso i giorni in cui sono stati misurati i pesi delle taniche a seguito di eventi piovosi.

Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)	Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)	Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)
	tot		tot		tot
01/11/2014	0	04/12/2014	1,4	06/01/2015	0
02/11/2014	0	05/12/2014	0,8	07/01/2015	0
03/11/2014	0	06/12/2014	4,8	08/01/2015	0
04/11/2014	0,2	07/12/2014	0,8	09/01/2015	0
05/11/2014	15,8	08/12/2014	0	10/01/2015	0
06/11/2014	11	09/12/2014	0	11/01/2015	0
07/11/2014	0,2	10/12/2014	0	12/01/2015	0
08/11/2014	6	11/12/2014	0	13/01/2015	0
09/11/2014	1	12/12/2014	0	14/01/2015	0
10/11/2014	6,4	13/12/2014	0,6	15/01/2015	0
11/11/2014	2,2	14/12/2014	0,2	16/01/2015	0
12/11/2014	55,6	15/12/2014	0	17/01/2015	0
13/11/2014	13,6	16/12/2014	9,8	18/01/2015	0
14/11/2014	0	17/12/2014	0,6	19/01/2015	0
15/11/2014	12	18/12/2014	0,2	20/01/2015	0
16/11/2014	0	19/12/2014	0	21/01/2015	2,6
17/11/2014	33,4	20/12/2014	0	22/01/2015	1,2
18/11/2014	1,4	21/12/2014	0	23/01/2015	0
19/11/2014	0	22/12/2014	0	24/01/2015	0
20/11/2014	0	23/12/2014	0	25/01/2015	0,2
21/11/2014	0,2	24/12/2014	0	26/01/2015	0
22/11/2014	0	25/12/2014	0	27/01/2015	0
23/11/2014	0	26/12/2014	0	28/01/2015	0
24/11/2014	0	27/12/2014	9,8	29/01/2015	0
25/11/2014	0	28/12/2014	6,2	30/01/2015	11,6
26/11/2014	0	29/12/2014	0	31/01/2015	0
27/11/2014	0,4	30/12/2014	0	01/02/2015	3
28/11/2014	2,6	31/12/2014	0	02/02/2015	0
29/11/2014	0	01/01/2015	0	03/02/2015	0
30/11/2014	4,4	02/01/2015	0	04/02/2015	0
01/12/2014	7,2	03/01/2015	0	05/02/2015	24
02/12/2014	0,4	04/01/2015	0	06/02/2015	10,4
03/12/2014	22	05/01/2015	0	07/02/2015	0

Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)	Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)	Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)
	tot		tot		tot
08/02/2015	0	13/03/2015	0	15/04/2015	0
09/02/2015	0	14/03/2015	0	16/04/2015	0
10/02/2015	0	15/03/2015	0	17/04/2015	3
11/02/2015	0	16/03/2015	18,4	18/04/2015	16,2
12/02/2015	0	17/03/2015	0	19/04/2015	0
13/02/2015	0	18/03/2015	0	20/04/2015	0
14/02/2015	0	19/03/2015	0	21/04/2015	0
15/02/2015	0	20/03/2015	0	22/04/2015	0
16/02/2015	0,6	21/03/2015	0	23/04/2015	0
17/02/2015	0	22/03/2015	5,2	24/04/2015	0
18/02/2015	0	23/03/2015	0	25/04/2015	0
19/02/2015	0	24/03/2015	0	26/04/2015	2,4
20/02/2015	0	25/03/2015	27,6	27/04/2015	16
21/02/2015	0,2	26/03/2015	15,2	28/04/2015	6,6
22/02/2015	21,8	27/03/2015	2	29/04/2015	0,8
23/02/2015	0	28/03/2015	0	30/04/2015	0,8
24/02/2015	0	29/03/2015	0	01/05/2015	2
25/02/2015	1,6	30/03/2015	0	02/05/2015	0,2
26/02/2015	0	31/03/2015	0	03/05/2015	0
27/02/2015	0	01/04/2015	0	04/05/2015	0
28/02/2015	0	02/04/2015	0	05/05/2015	0
01/03/2015	0	03/04/2015	0	06/05/2015	0
02/03/2015	0,2	04/04/2015	1,2	07/05/2015	0
03/03/2015	0	05/04/2015	0	08/05/2015	0
04/03/2015	1,4	06/04/2015	0	09/05/2015	0
05/03/2015	0	07/04/2015	0	10/05/2015	0,4
06/03/2015	0	08/04/2015	0	11/05/2015	0
07/03/2015	0	09/04/2015	0	12/05/2015	0
08/03/2015	0	10/04/2015	0	13/05/2015	0
09/03/2015	0	11/04/2015	0	14/05/2015	0
10/03/2015	0	12/04/2015	0	15/05/2015	2,4
11/03/2015	0	13/04/2015	0	16/05/2015	0
12/03/2015	0	14/04/2015	0	17/05/2015	0

Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)	Data (gg/mm/aa)	Pioggia (mm)
	tot		tot
18/05/2015	0	20/06/2015	1,4
19/05/2015	0	21/06/2015	0
20/05/2015	10	22/06/2015	0
21/05/2015	34,2	23/06/2015	16,6
22/05/2015	4,2	24/06/2015	6
23/05/2015	6	25/06/2015	0
24/05/2015	0	26/06/2015	0
25/05/2015	3,4	27/06/2015	0,4
26/05/2015	16,6	28/06/2015	0
27/05/2015	2,6	29/06/2015	0
28/05/2015	0	30/06/2015	0
29/05/2015	0		
30/05/2015	0		
31/05/2015	0		
01/06/2015	0		
02/06/2015	0		
03/06/2015	0		
04/06/2015	0		
05/06/2015	0		
06/06/2015	0		
07/06/2015	0		
08/06/2015	0		
09/06/2015	0		
10/06/2015	0		
11/06/2015	0		
12/06/2015	0		
13/06/2015	0		
14/06/2015	29,2		
15/06/2015	1,2		
16/06/2015	3,2		
17/06/2015	3,2		
18/06/2015	0		
19/06/2015	1		

Tab. 6.5 Dati validati forniti dall'ARPAV di Teolo per il periodo dal 1/11/2014 al 30/06/2015

Negli 8 mesi totali di rilievo sono state effettuate un totale di 34 misurazioni.

Dopo aver raccolto i dati di deflusso verificatisi in seguito ad ogni evento di pioggia, si sono ottenuti i valori medi per tutti e 39 i cassoni di prova. Complessivamente, dall'inizio della prova, su 242 giorni totali, si sono verificati 76 eventi di pioggia che vengono sintetizzati in 28 rilievi. I valori sono stati trasformati in litri per metro quadro dividendo il valore raccolto per 0,44 (area della cassetta). Sono stati poi sommati i valori di ogni singolo rilievo e sono stati ricavati i valori cumulati di deflusso, espressi in mm.

Per avere un quadro generale più dettagliato, nel grafico in figura 6.9 vengono riportati i deflussi cumulati espressi come mm totali defluiti da ciascuna tesi durante gli 8 mesi di rilievo, oltre ai valori cumulati dai testimoni con ghiaia e le precipitazioni ricavate dai dati ARPAV.

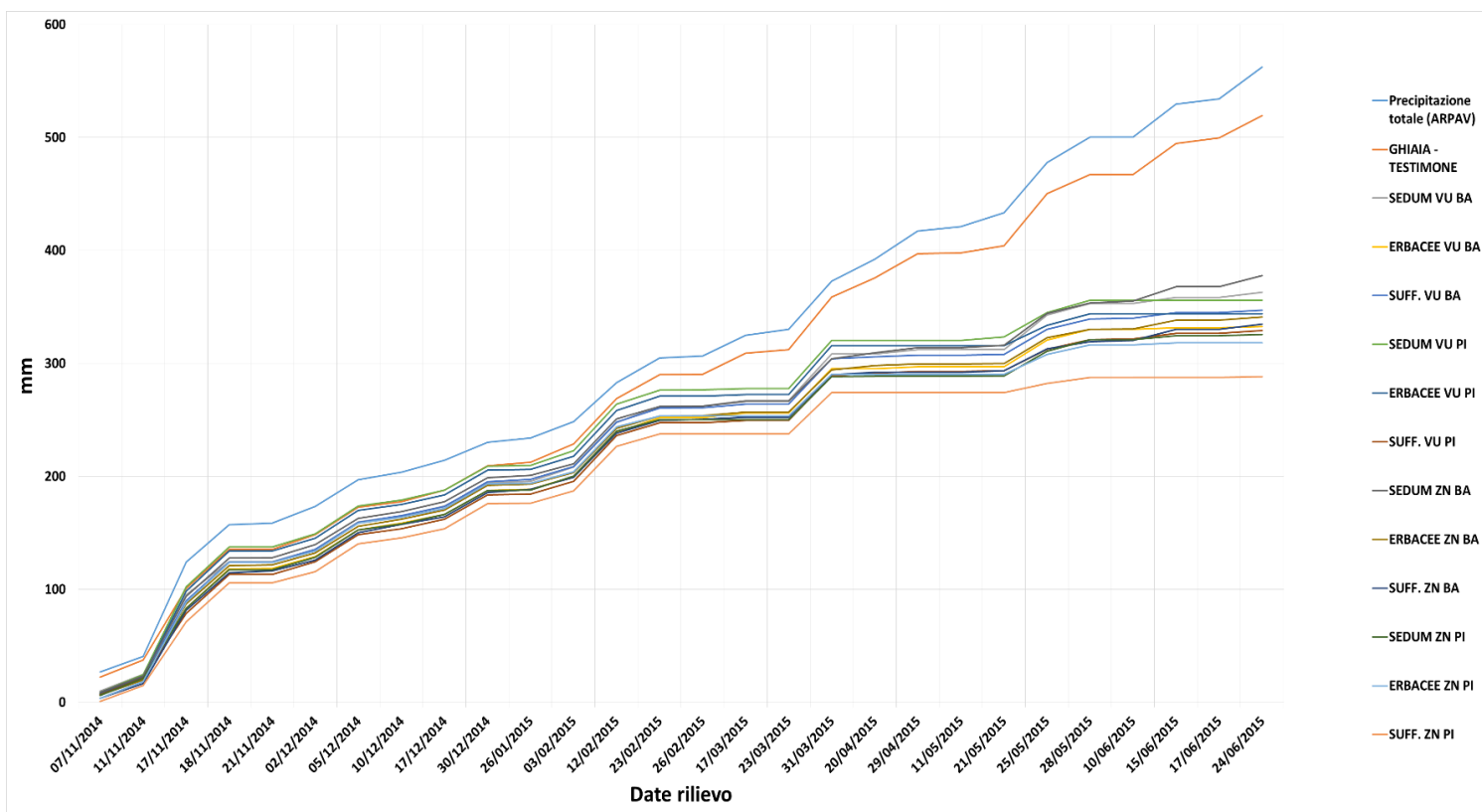


Fig. 6.9 Deflussi totali cumulati durante gli otto mesi totali di rilievo

Dal grafico emerge chiaramente come i deflussi cumulati dei testimoni con ghiaia siano quasi coincidenti alle precipitazioni ricavate dall'ARPAV; tuttavia sono leggermente inferiori rispetto alle precipitazioni totali in quanto anche la ghiaia riesce a trattenere un minimo quantitativo di acqua. Per quanto riguarda invece i singoli sistemi, dal grafico si evince che, in apparenza, il sistema che riesce a trattenere l'acqua meno efficacemente, producendo quindi più deflusso, è quello costituito da miscuglio a *Sedum*, substrato di coltivazione Vulcanico (VU) e drenante Preformato (BA). Il sistema, invece, che sembra trattenere e gestire la pioggia in maniera più efficace è quello costituito da

miscuglio di suffrutuose, substrato di coltivazione Laterizio (ZN) e drenante Perlite (PI). Per quanto riguarda gli altri sistemi, tutti si collocano in una via intermedia, ma sempre evidenziando un maggior deflusso nel caso in cui sia presente il substrato di coltivazione Vulcanico. Quanto riportato nel grafico in figura 6.9 è in perfetto accordo con i risultati ottenuti dal simulatore di pioggia (paragrafo 6.1), che hanno evidenziato una maggior capacità di accumulare acqua per il substrato Laterizio rispetto al Vulcanico.

Per stabilire in modo rigoroso quali siano i sistemi che riescono a gestire meglio i deflussi, si è ricorso all'analisi statistica. Tutti i dati (ad esclusione di quelli della ghiaia) sono stati sottoposti ad analisi della varianza a tre vie, secondo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati. Per avere una visione più dettagliata nel corso del tempo, le analisi statistiche sono state, in un primo momento, condotte separatamente per stagione e solo successivamente è stato considerato l'intero periodo di prova. Nel particolare, sono stati considerati:

- Deflussi invernali (dal 1/11/2014 al 31/3/2015);
- Deflussi primaverili (dal 1/4/2015 al 30/6/2015);
- Deflussi totali (dal 1/11/2014 al 30/6/2015).

Per ognuno dei tre periodi analizzati sono emersi risultati interessanti e diversi, che quindi vengono trattati successivamente in maniera separata.

6.2.1 Analisi statistica sui deflussi invernali

Dall'analisi statistica ANOVA per i deflussi invernali è emerso:

Fonte

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

Da questa analisi è possibile osservare che, tra i tre fattori allo studio (Miscuglio-Mix, Substrato di coltivazione-Sub e Drenante-Dren), soltanto il substrato di coltivazione ha avuto un effetto significativo ($P \leq 0,01$) sul quantitativo di acqua drenata nel periodo invernale; al contrario il miscuglio e il drenante non hanno avuto alcun effetto sul quantitativo di acqua defluita. Il fatto che il miscuglio non abbia avuto alcun effetto può essere giustificato dal fatto che la copertura è ancora relativamente contenuta e che, essendo inverno, le piante sono in riposo vegetativo e non sortiscono alcun effetto sulla trattenuta dell'acqua (scarsa traspirazione). Per quanto riguarda invece le interazioni, solo l'interazione Sub x Dren dimostra di avere un effetto significativo sulla quantità di acqua defluita ($P \leq 0,05$), mentre le altre interazioni non hanno avuto alcuna influenza.

Il grafico in figura 6.10 rappresenta, appunto, l'effetto del substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti nel periodo invernale. Emerge in maniera evidente come il substrato Vulcanico, in questo periodo dell'anno, abbia fatto defluire un maggior quantitativo di acqua rispetto al Laterizio. Infatti, dai cassoni contenenti il substrato Vulcanico sono defluiti in totale 307 mm di acqua, mentre da quelli contenenti Laterizio sono defluiti 290 mm, ben 17 mm in meno (-5,46%). Anche in questo caso il Laterizio dimostra di avere una maggiore capacità di trattenuta idrica.

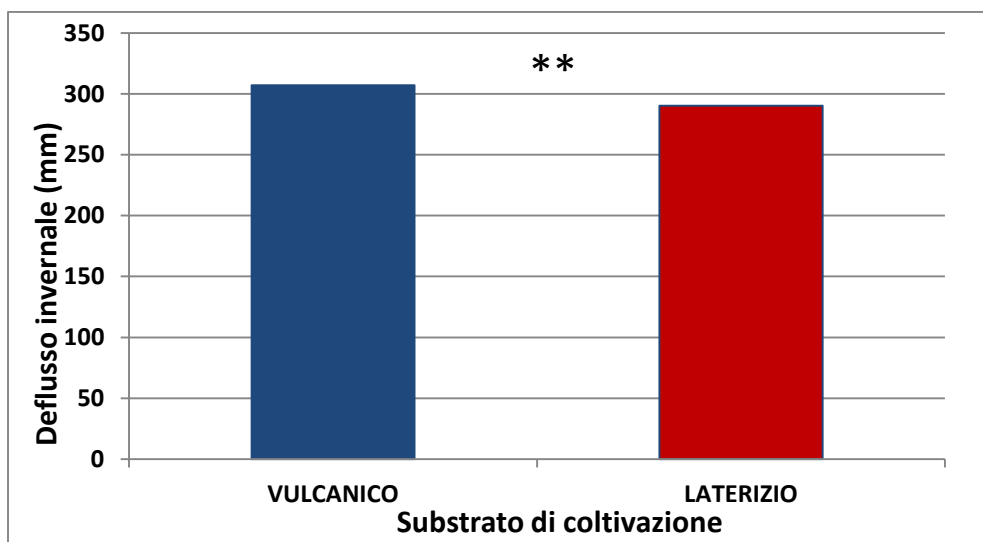


Fig. 6.10 Effetto del substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo invernale (1/11/2014 - 31/3/2015)

Per quanto riguarda le interazioni, nel grafico di figura 6.11 viene riportato l'effetto di interazione tra substrato di coltivazione e drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo invernale (1/11/2014 - 31/3/2015). Dalla figura emerge che il miglior effetto drenante del substrato Laterizio si esplica solo quando in combinazione con Perlite come materiale drenante. Con la combinazione Laterizio e Perlite, infatti, si è avuto una diminuzione dei deflussi del 9,43%. In combinazione con il drenante Preformato, invece, l'effetto del substrato è stato nullo.

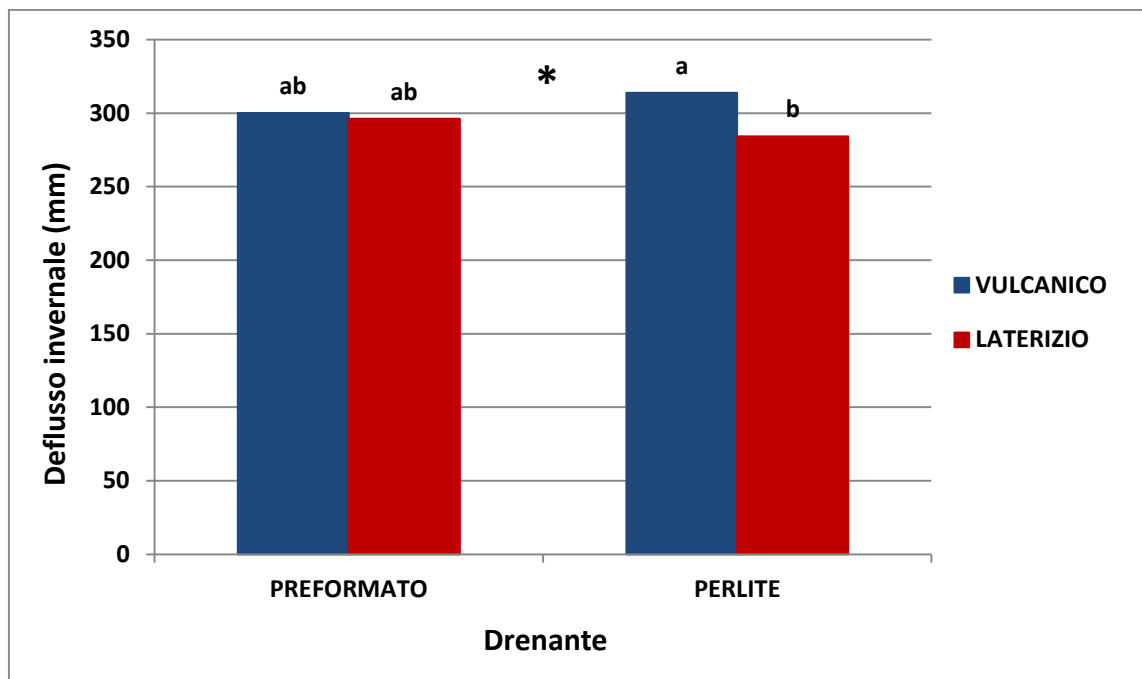


Fig. 6.11 Effetto di interazione tra substrato e drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo invernale (1/11/2014 - 31/3/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

6.2.2 Analisi statistica sui deflussi primaverili

Dall'analisi statistica ANOVA per i deflussi primaverili è emerso:

Fonte

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

L'analisi statistica dei deflussi primaverili ha mostrato risultati altrettanto interessanti. Si nota come tutti i fattori allo studio abbiano avuto un effetto altamente significativo ($P \leq 0,001$) sul quantitativo di acqua drenata nel periodo primaverile. Anche nel caso delle interazioni, tutte hanno dimostrato di aver avuto effetto sulla formazione dei deflussi primaverili. L'interazione Sub x Dren e quella Mix x Dren sono risultate significative per $P \leq 0,001$, l'interazione Mix x Sub significativa per $P \leq 0,01$ e quella di secondo grado (Mix x Sub x Dren) per $P \leq 0,05$. Il fatto che quest'ultima interazione abbia avuto effetto sui deflussi primaverili dimostra l'importanza non solo di tutti e tre i fattori allo studio, ma anche come sia ancora più importante considerare come l'effetto di uno di questi dipenda dall'altro. In questa sede verranno riportate solamente le interazioni di primo ordine.

Il grafico in figura 6.12 rappresenta l'effetto del miscuglio sui valori di deflusso ottenuti nel periodo primaverile. Al contrario di quanto accaduto nel periodo invernale, in questa stagione le piante si trovano nel pieno dell'attività vegetativa in quanto hanno utilizzato molto più efficacemente e rapidamente la risorsa idrica (tramite la traspirazione) e intercettano e trattengono maggiormente l'acqua piovana grazie allo sviluppo delle parti vegetative. In accordo con quanto dimostrato con il grafico di figura 6.9 sui deflussi totali cumulati, i sistemi contenenti *Sedum* hanno lasciato defluire più acqua. Ciò può essere dovuto alle caratteristiche fisiologiche delle specie appartenenti al genere *Sedum* che, come crassulacee, sono contraddistinte da ridotti accrescimenti sia a livello epigeo che ipogeo e da uno scarso utilizzo dell'acqua (scarsa traspirazione). Durante la primavera i sistemi con miscuglio a *Sedum* hanno lasciato defluire 50,3 mm di acqua, quelli con specie erbacee 35,0 mm e quelli con suffruticose solamente 29,6 mm. I sistemi con l'utilizzo di specie suffruticose si dimostrano così i più efficienti nella trattenuta dell'acqua.

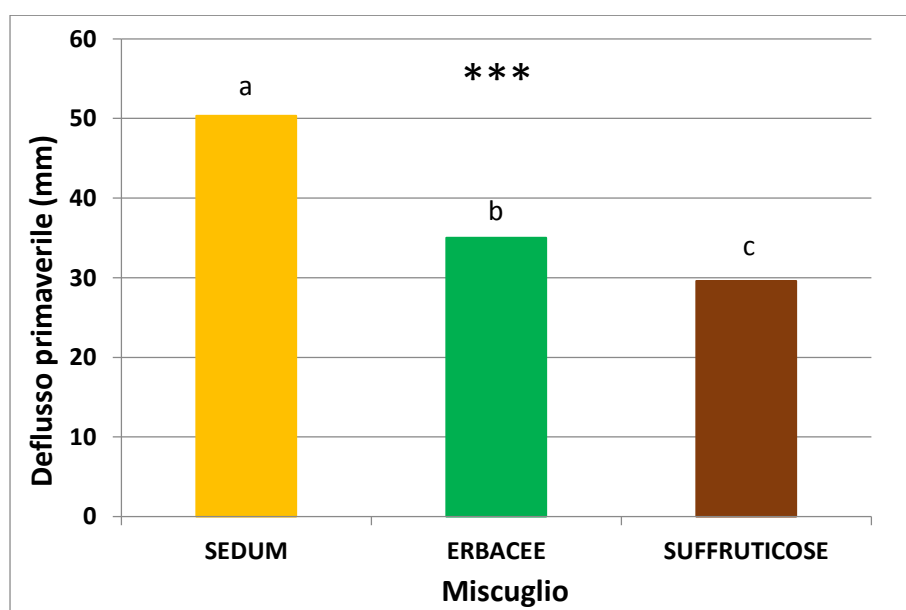


Fig. 6.12 Effetto del miscuglio sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 31/6/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

Di seguito (Fig. 6.13) viene riportato il grafico che mostra l'effetto del substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti nel periodo primaverile. Al contrario di quanto osservato in inverno, il substrato Laterizio ha dimostrato di avere un effetto negativo sulla formazione di deflussi, rilasciando più acqua rispetto al Vulcanico. Nel periodo primaverile sono infatti defluiti dai sistemi contenenti Laterizio 40,8mm di acqua e 35,9 mm da quelli contenenti substrato Vulcanico. Il fatto che in questo caso il substrato Laterizio rilasci una maggiore quantità di deflusso potrebbe essere giustificato dalla più alta velocità di drenaggio rispetto al Vulcanico, come dimostrato nelle prove con simulatore di pioggia (Fig. 6.4 e Fig. 6.8).

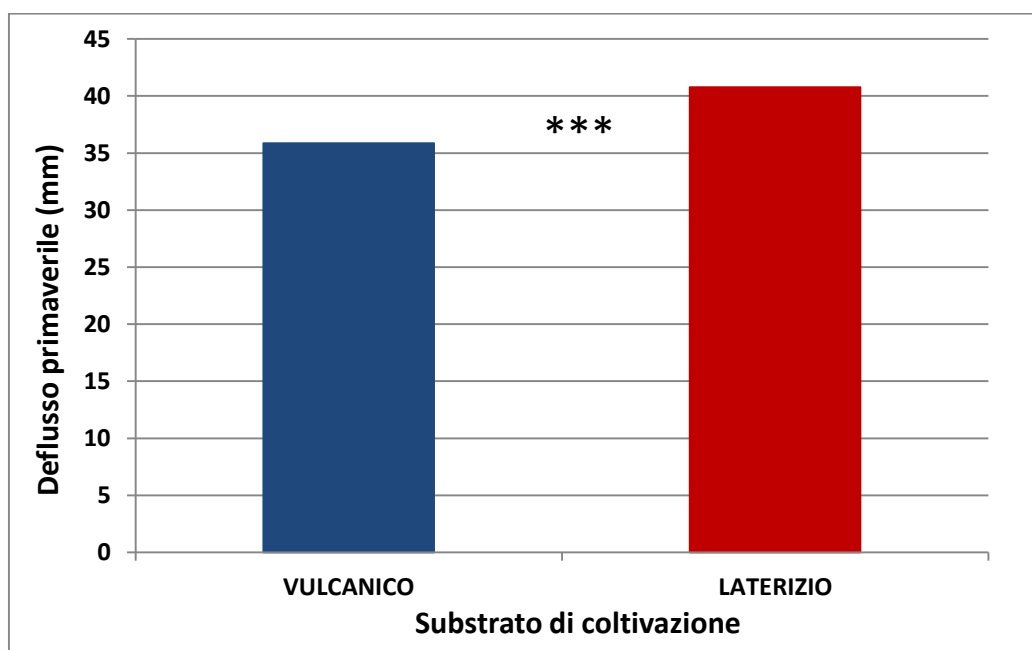


Fig. 6.13 Effetto del substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 31/6/2015)

Quanto riportato nel grafico in figura 6.14 rappresenta, invece, l'effetto del drenante. In questo caso il grafico dimostra quanto affermato anche precedentemente, ovvero la maggiore efficacia del drenante Perlite nella trattenuta idrica rispetto al Preformato. La differenza dell'acqua defluita in primavera dai sistemi contenenti i due drenanti è molto rilevante in quanto dal Preformato sono defluiti 48,1 mm, ben il 68,8% in più rispetto a Perlite. Tali risultati confermano l'elevato potere di trattenere l'acqua della Perlite che va da tre a cinque volte il suo peso specifico.

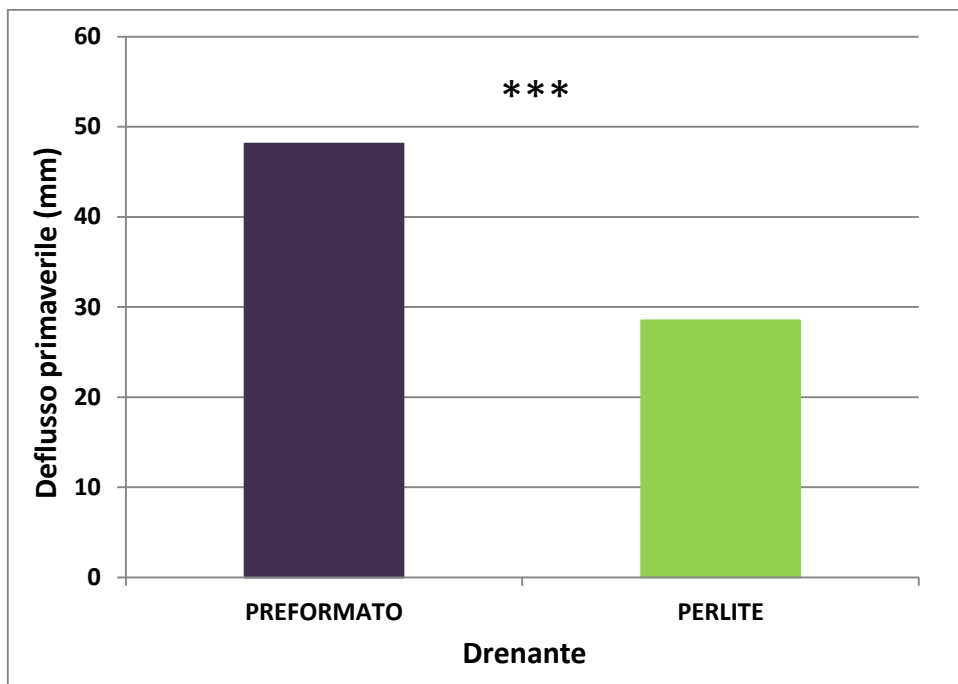


Fig. 6.14 Effetto del drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 31/6/2015)

Per quanto riguarda le interazioni, nel grafico di figura 6.15 viene riportato l'effetto di interazione tra miscuglio e substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 31/6/2015). Emerge che i diversi miscugli non hanno influito sui deflussi nel caso in cui il substrato utilizzato sia stato il Laterizio. Diversamente, le suffruticose hanno permesso, nei confronti del *Sedum*, di contenere i deflussi del 41,4%.

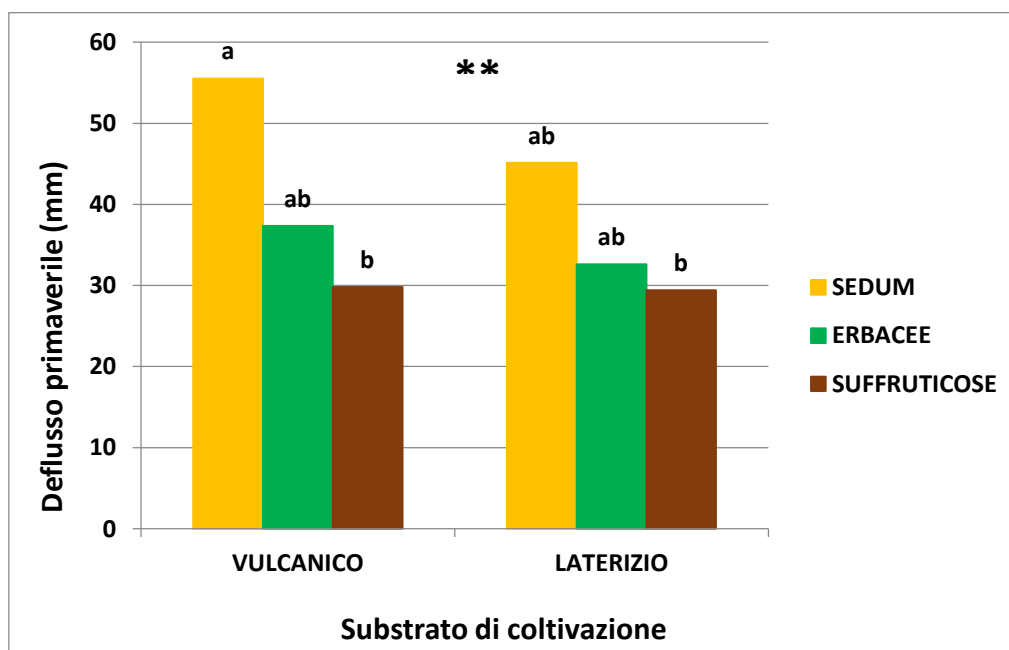


Fig. 6.15 Effetto di interazione tra miscuglio e substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 30/6/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

Come si evince dalla figura 6.16, l'adozione del drenante Perlite ha permesso a tutti e tre i miscugli di migliorare i deflussi rispetto all'utilizzo del Preformato; mentre però la riduzione dei valori è stata prossima al 44% per i miscugli *Sedum* e suffruticose, nel caso delle erbacee la riduzione è stata solo del 33,2%.

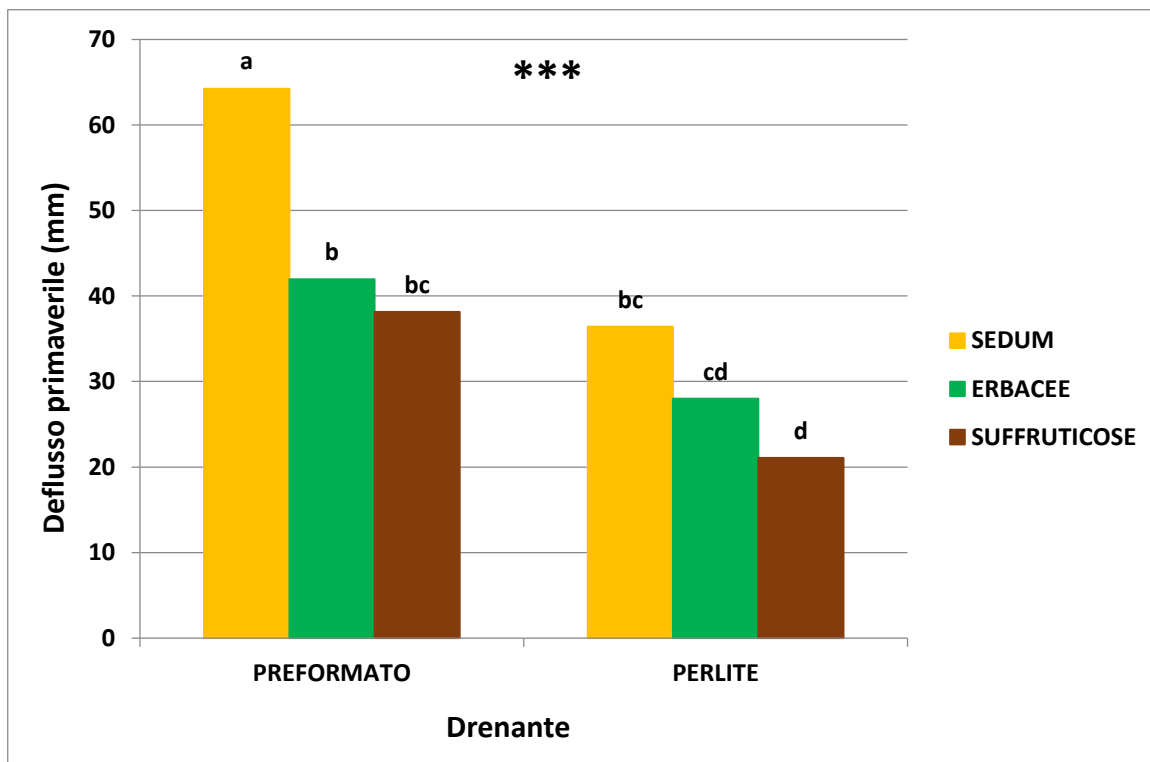


Fig. 6.16 Effetto di interazione tra miscuglio e drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 30/6/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

In ultima analisi, per quanto riguarda l'interazione tra substrato di coltivazione e drenante, dal grafico in figura 6.17 emerge una netta differenza tra le quattro combinazioni. Diversamente da quanto rilevato in inverno (Fig. 6.11), non è stata rilevato un diverso deflusso dei substrati Vulcanico in associazione ai due drenati, mentre nel caso del Laterizio, in combinazione con Perlite si è ottenuta una riduzione del deflusso di oltre il 50%.

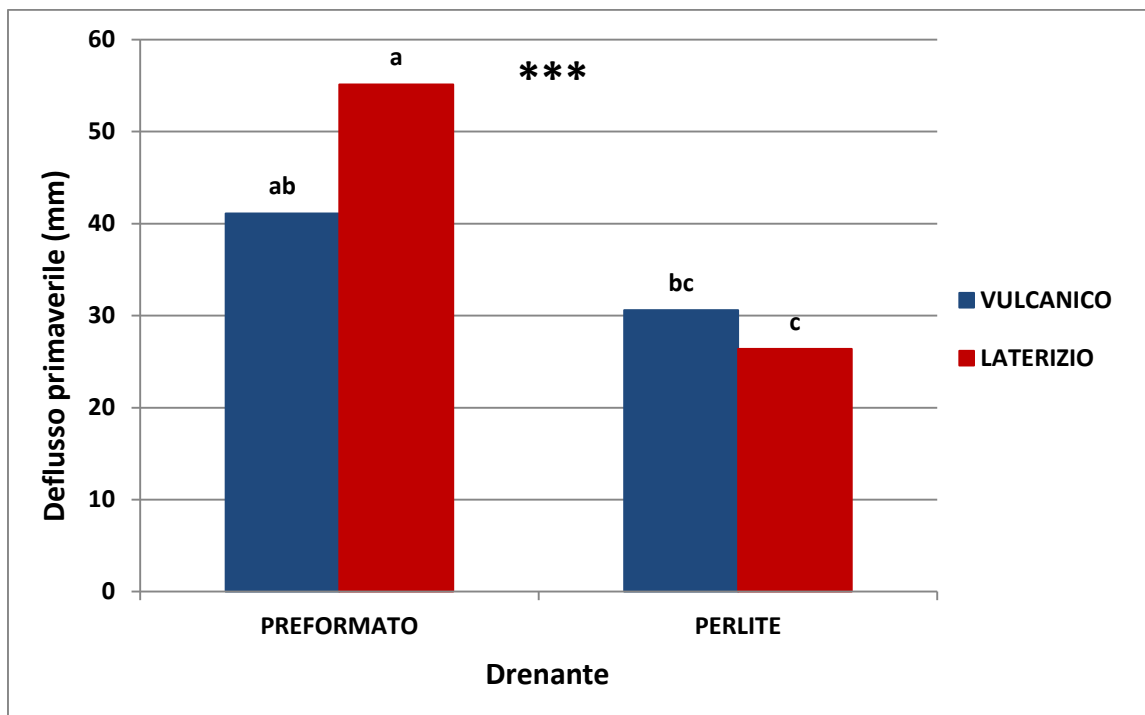


Fig. 6.17 Effetto di interazione tra substrato e drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo primaverile (1/4/2015 - 30/6/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

6.2.3 Analisi statistica sui deflussi totali

Dall'analisi statistica ANOVA per i deflussi totali è emerso:

Fonte

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

Dall'analisi statistica sui deflussi totali emerge come tutti gli elementi allo studio (Miscuglio-Mix, Substrato di coltivazione-Sub e Drenante-Dren) abbiano avuto un effetto sul quantitativo di acqua drenata; il substrato di coltivazione ha avuto un effetto significativo ($P \leq 0,05$), mentre il miscuglio e il drenante hanno avuto un effetto altamente significativo ($P \leq 0,001$). Per quanto riguarda le interazioni, solo l'interazione Substrato x Drenante dimostra di avere un effetto altamente significativo sulla quantità di acqua defluita ($P \leq 0,001$), mentre le altre interazioni non hanno avuto alcuna influenza.

Nel grafico in figura 6.18 vengono riportati i valori di deflusso ottenuti negli 8 mesi totali di rilievo con l'influenza del miscuglio. Il grafico ribadisce quanto affermato precedentemente (Fig. 6.12) e cioè che il miscuglio a *Sedum* è risultato essere il meno efficace nella trattenuta dell'acqua dopo eventi piovosi; l'utilizzo delle erbacce e delle suffruticose, invece, è risultato un'ottima soluzione contro la formazione di deflussi. Dai sistemi contenenti *Sedum* sono defluiti infatti un totale di 356 mm di acqua mentre da quelli contenenti suffruticose solamente 321 mm. Diversamente da quanto riscontrato nel periodo primaverile, però, l'efficienza del miscuglio di erbacee è risultato essere molto simile a quella delle suffruticose, con un totale di 334 mm defluiti.

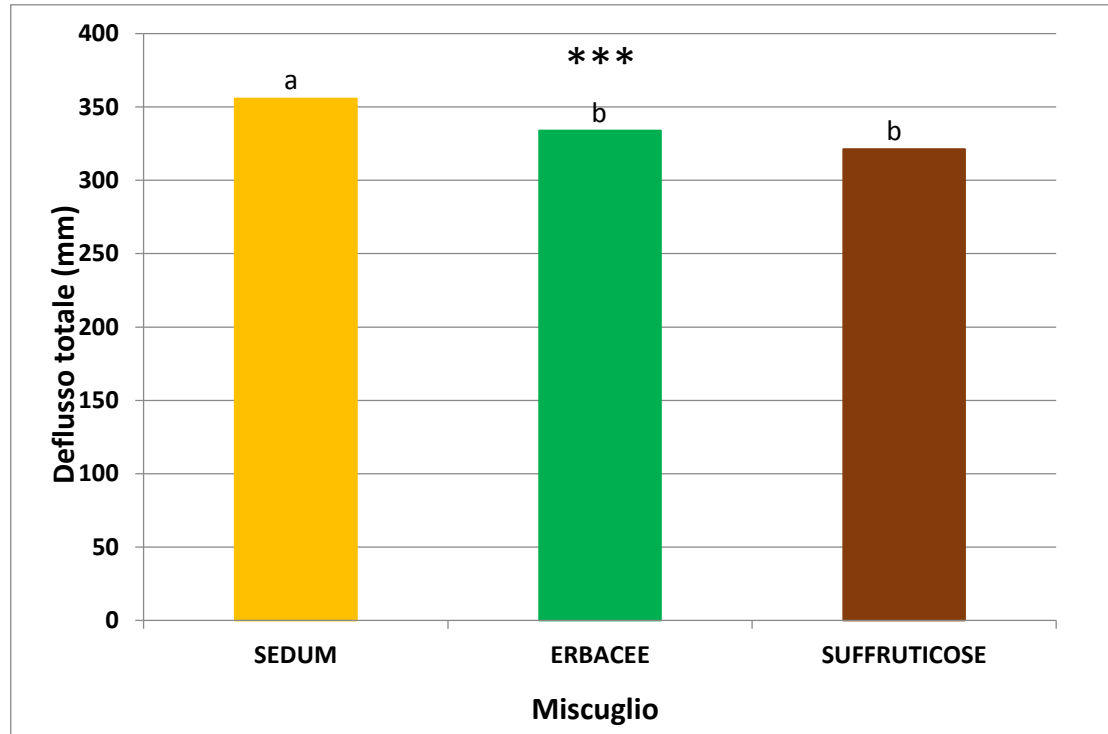


Fig. 6.18 Effetto del miscuglio sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo totale (1/11/2014 - 31/6/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

Nel caso dei deflussi totali, il substrato di coltivazione ha dimostrato un effetto significativo per $P \leq 0,05$; come dimostrato in figura 6.19, emerge anche questa volta la maggiore efficienza del Laterizio sulla trattenuta idrica rispetto al Vulcanico. Negli otto mesi complessivi di rilievo sono infatti defluiti 343 mm di acqua dai sistemi contenenti substrato Vulcanico e 331 mm da quelli contenuti Laterizio (3,5 % in meno).

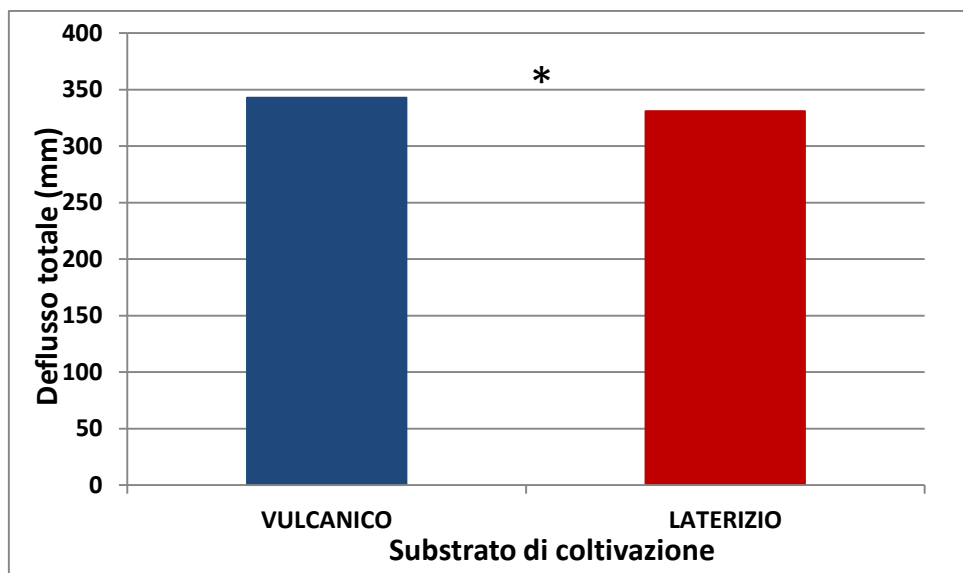


Fig. 6.19 Effetto del substrato di coltivazione sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo totale (1/11/2014 - 31/6/2015)

Nel grafico in figura 6.20 viene invece rappresentato l'effetto del drenante sui valori di deflusso totale. A ribadire quanto affermato precedentemente, anche in questo caso, il drenante Perlite si è confermato la migliore soluzione da adottare per trattenere i deflussi di pioggia. Contrariamente, il Preformato è risultato essere meno efficace e ha lasciato defluire il 5,7 % in più di acqua rispetto a Perlite.

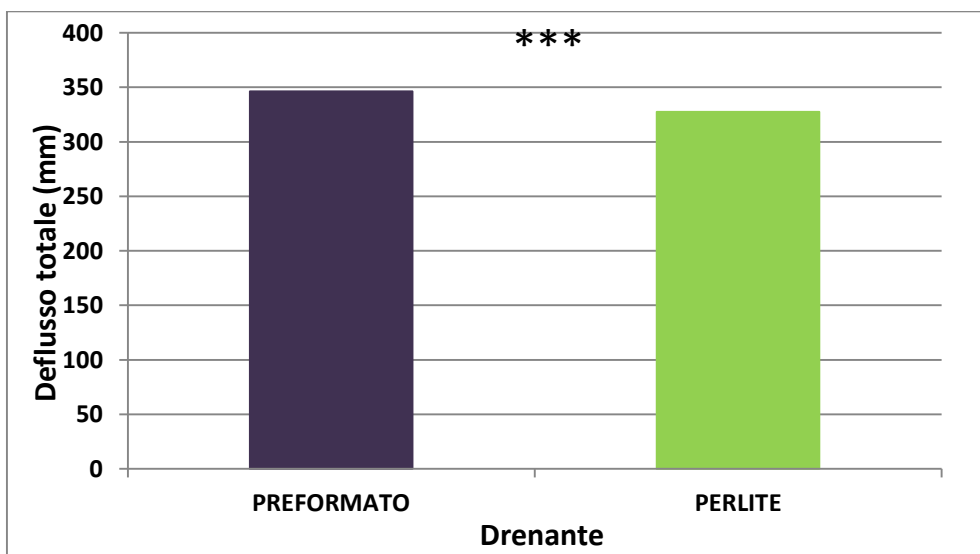


Fig. 6.20 Effetto del drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo totale (1/11/2014 - 31/6/2015)

In ultima analisi, per quanto riguarda l'interazione tra substrato di coltivazione e drenante, dal grafico in figura 6.21 emerge come, considerando tutto il periodo di sperimentazione, i deflussi osservati con il drenante Preformato sono stati indipendenti dal substrato adottato, mentre con Perlite e il substrato Laterizio i deflussi sono stati inferiori a quelli ottenuti con il Vulcanico.

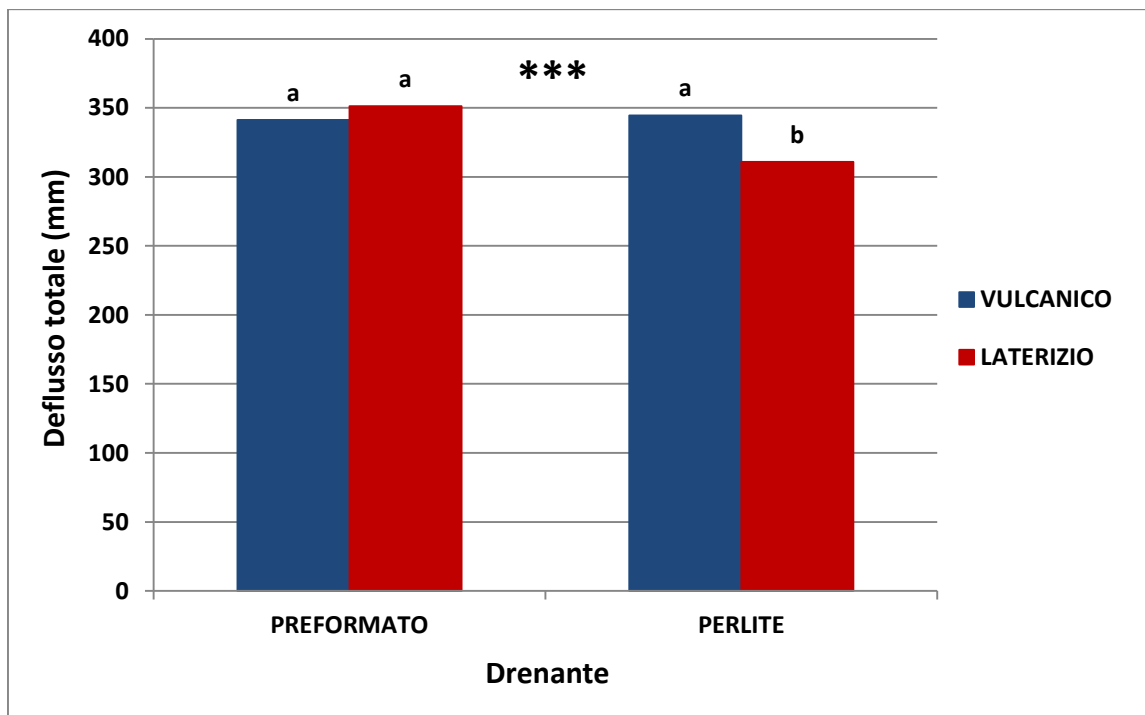


Fig. 6.21 Effetto di interazione tra substrato e drenante sui valori di deflusso ottenuti durante il periodo totale (1/11/2014 - 30/6/2015). Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

6.3 Risultati ottenuti dal rilievo della temperatura

Come descritto in precedenza (pag. 92), i valori di temperatura sono stati registrati dalle Sonde Decagon 5TM e memorizzati dai Data logger Decagon Em50. Le sonde sono state posizionate all'interno di 12 cassette ad una profondità di 6 cm dalla superficie del substrato di coltivazione in posizione centrale. La raccolta dei dati di temperatura è iniziata dalla settimana 44 del 2014 fino alla settimana 27 del 2015 (da novembre 2014 a giugno 2015 per un totale di 8 mesi).

Successivamente, l'elaborazione dei dati medi settimanali è avvenuta, anche in questo caso, con il modello statistico ANOVA che ha evidenziato l'influenza del substrato di coltivazione sulla temperatura all'interno dei cassoni di simulazione dei tetti verdi (Fig. 6.22). Sulla temperatura non ha avuto effetto né il miscuglio né il drenante.

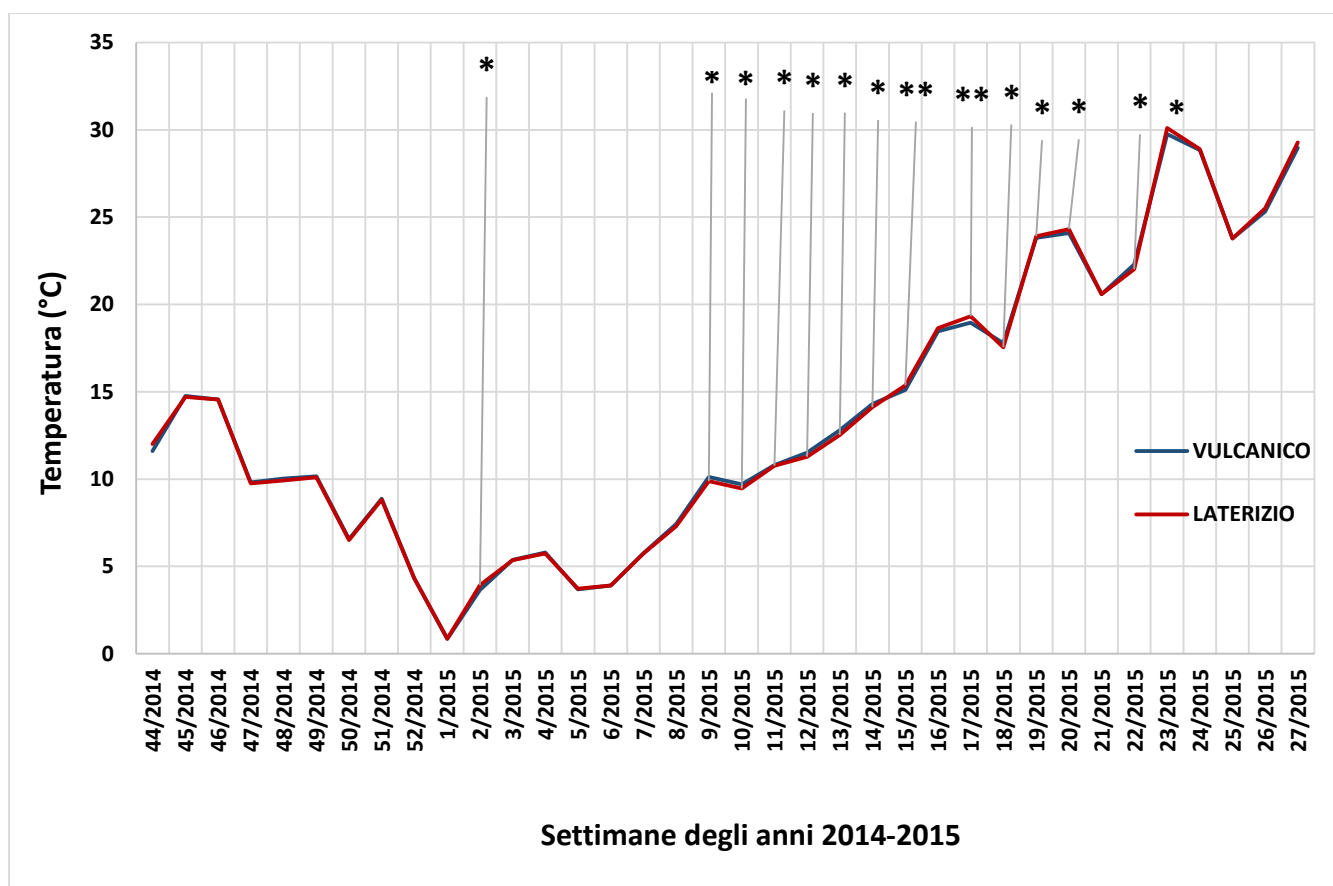


Fig. 6.22 Effetto del substrato sulla temperatura del substrato stesso a 6cm di profondità. Nei casi in cui il substrato non ha avuto effetto la sigla "ns" è stata omessa per semplificare la lettura del grafico

Analizzando il grafico in figura 6.22 si osserva chiaramente una diminuzione della temperatura dall'autunno all'inverno e un progressivo aumento di quest'ultima con il passare delle settimane fino ad arrivare alla stagione primaverile. Le temperature più basse si sono registrate ovviamente nella prima settimana del 2015 (corrispondente a gennaio) con valori medi di 0,8°C, mentre quelle più alte

nella settimana 23 del 2015 (dall'1 al 7 giugno) con temperature medie di 29,9°C. Come evidenziato dal grafico, durante il periodo autunnale e invernale i due substrati di coltivazione non hanno avuto quasi alcun effetto sulla temperatura, a parte un caso sporadico verificatosi nella seconda settimana del 2015 dove il Laterizio ha dimostrato di avere temperature leggermente maggiori rispetto al Vulcanico. In primavera invece, iniziano a comparire le prime differenze tra le temperature dei due substrati. Come evidenziato dal grafico, l'effetto dei due substrati, nella maggior parte delle settimane, è stato significativo sulla temperatura per $P \leq 0,05$, ma nella 15^a e 17^a settimana l'effetto dei due substrati è significativo anche per $P \leq 0,01$. Dalla 9^a alla 14^a settimana si sono notati valori di temperatura leggermente superiori per i cassoni contenenti substrato Vulcanico, ma in seguito le temperature più alte sono state misurate nel substrato Laterizio con differenze che hanno toccato anche 1 °C. La spiegazione di quanto rilevato può risiedere, oltre che nelle diverse proprietà termiche dei diversi materiali, anche dalle loro diverse proprietà idrologiche. Non a caso nel periodo invernale le temperature più elevate sono state registrate con il substrato Vulcanico che nel periodo aveva evidenziato i maggiori deflussi, mentre nel periodo primaverile i valori di temperatura più alti sono stati rilevati con il substrato Laterizio che, appunto, nel periodo aveva avuto i maggiori deflussi. È noto, infatti, che i materiali che contengono quantitativi maggiori di acqua sono quelli che si riscaldano meno velocemente.

6.4 Risultati ottenuti dall'analisi della copertura vegetale

Le fotografie per l'analisi degli accrescimenti della vegetazione (dettagli a pag. 93-94) sono state effettuate su ogni cassetta il giorno 19 di ogni mese per un periodo totale di sei mesi (da gennaio a giugno 2015). Analizzando in primo luogo le fotografie, è già possibile avere un'idea dello sviluppo della vegetazione dalla stagione invernale a quella primaverile. In figura. 6.23 vengono riportate le fotografie effettuate su un microcosmo con miscuglio di suffruticose, substrato di coltivazione Laterizio (prodotto dalla ZinCo) e drenante Perlite. Si nota chiaramente come nei tre mesi invernali fosse presente quasi solamente materiale secco, mentre nei mesi primaverili ci sia stato un grande sviluppo delle parti vegetative con fioritura nel mese di giugno. Bisogna tenere presente che tra le specie che costituiscono il miscuglio di suffruticose, il *Clinopodium nepeta* si secca completamente durante l'inverno, mentre le altre suffruticose mantengono di più le foglie per poi ricacciare anche da rami secchi. In ogni caso, indipendentemente dal miscuglio, con il passare del tempo si è avuto comunque un aumento degli accrescimenti con relativo incremento della percentuale di copertura.

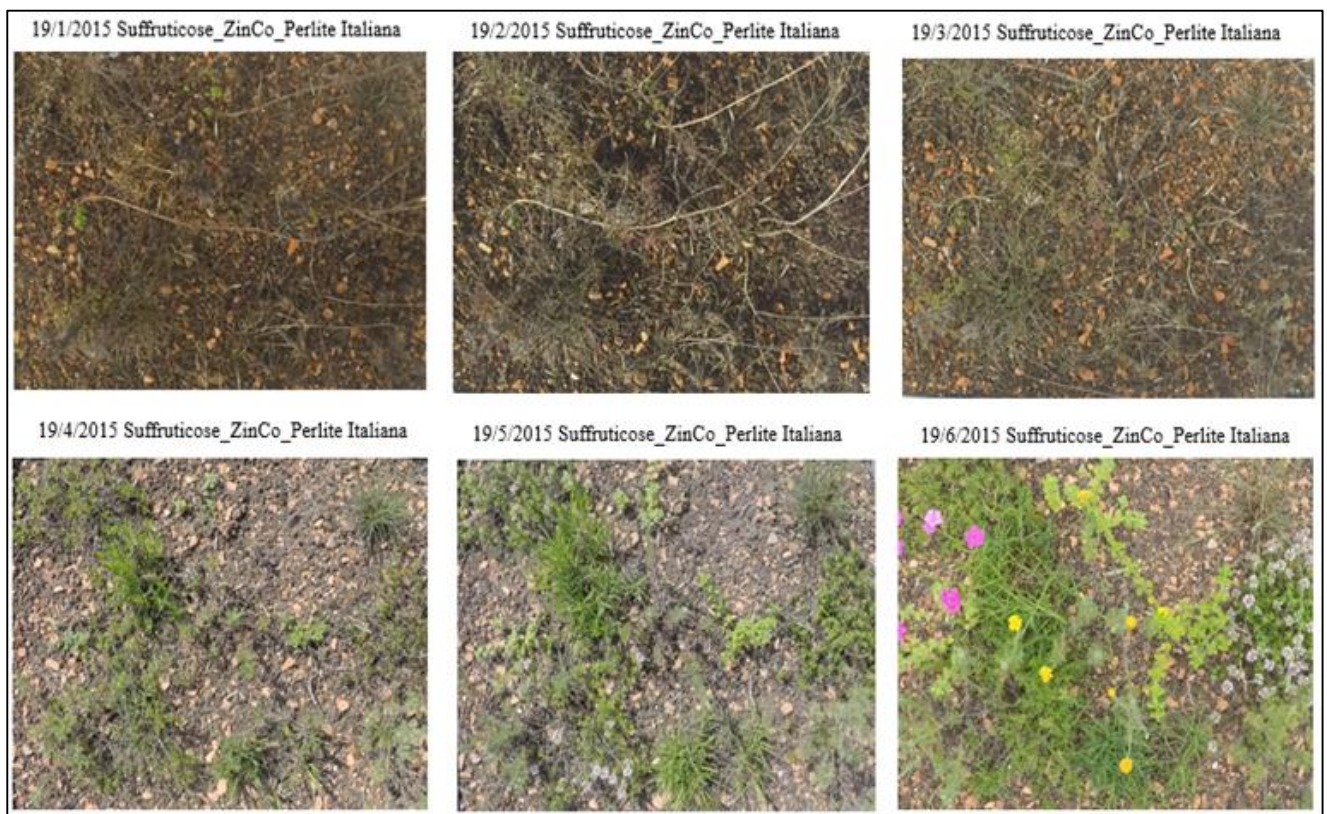


Fig. 6.23 Rilievo fotografico dei sei mesi totali su una tesi contenente miscuglio di suffruticose, substrato di coltivazione Laterizio (ZinCo) e drenante Perlite.

Successivamente, l'elaborazione delle foto con ImageJ e con il software MatLab (dettagli a pag. 93-94) ha permesso di ottenere i valori percentuali di canopy closure che sono stati utilizzati per valutare l'accrescimento della vegetazione. Come dimostrato in figura 6.24, la canopy closure permette di avere un risultato più preciso rispetto alla canopy cover ed è quella che è stata utilizzata per definire la percentuale di copertura.

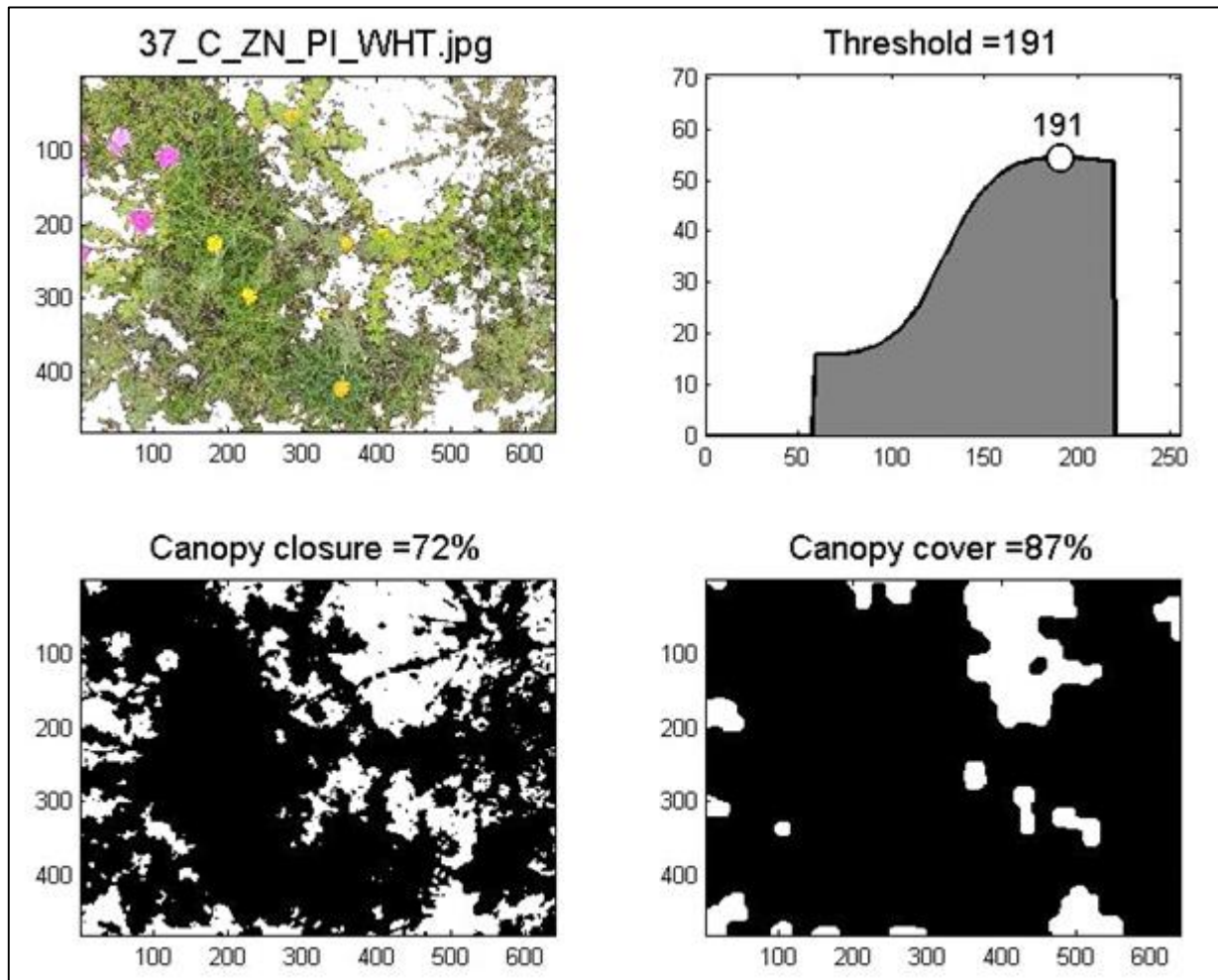


Fig. 6.24 Esempio di elaborazione attraverso MatLab

A questo punto, i valori percentuali ottenuti dall'elaborazione con MatLab, sono stati convertiti nei rispettivi valori angulari prima dell'analisi statistica. Quest'ultima ha permesso di evidenziare quali componenti influissero maggiormente sull'aumento della percentuale di copertura nei sei mesi di analisi, tra i tre miscugli, i due substrati di coltivazione e i due drenanti.

Il grafico in figura 6.25 rappresenta l'evoluzione della percentuale di copertura della vegetazione in funzione dei tre miscugli. Coerentemente con quanto ci si aspetta, si è osservato un aumento della percentuale di copertura man mano che ci si avvicina alla stagione primaverile. Emerge chiaramente come in tutti i mesi il miscuglio ha avuto un effetto molto significativo sulla percentuale di copertura ($P \leq 0,001$). Nei primi mesi si osserva in maniera evidente come il miscuglio delle erbacee abbia garantito una maggiore percentuale di copertura (37,5 %) e questo è giustificato dal fatto che le erbacee tendono a disseccarsi molto meno rispetto alle suffruticose e possiedono una maggiore quantità di fitomassa in confronto con le specie del genere *Sedum*. Con il passare del tempo si è osservato un aumento significativo della copertura nel mese di febbraio; di seguito la copertura per questi due miscugli è diminuita per poi aumentare gradualmente da marzo a giugno. Per ben quattro mesi il miscuglio delle erbacee ha garantito i maggiori valori di copertura, ma da maggio a giugno le suffruticose hanno mostrato un aumento importante della percentuale di copertura, raggiungendo un massimo del 59,5 % nel mese di giugno. Ciò è dovuto alla fisiologia delle suffruticose, che come dimostrato in figura 6.23 tendono a disseccarsi per poi ricacciare anche da rami secchi; inoltre, nel mese di maggio è stata effettuata una concimazione (pag. 95-96) e nel mese di giugno un'irrigazione (pag. 91). Il miscuglio di *Sedum* ha mostrato, se non nei valori assoluti in senso statistico, i valori più bassi per tutti i sei mesi ed è quindi il miscuglio meno efficace per garantire una buona copertura. Al contrario, i miscugli di erbacee e suffruticose garantiscono coperture maggiori.

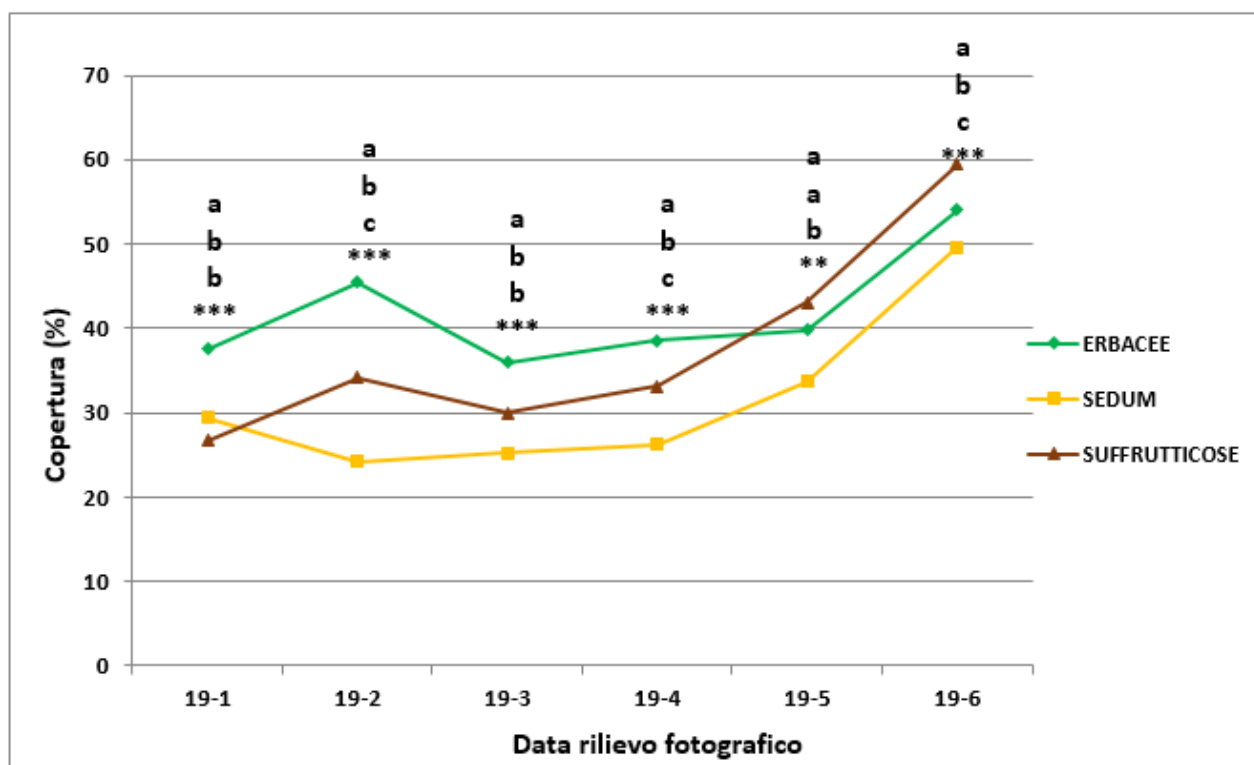


Fig. 6.25 Evoluzione della % di copertura della vegetazione in funzione dei tre miscugli durante il periodo di prova. Valori delle barre di istogramma con lettere diverse differiscono per $P \leq 0,05$ (Test di Tukey)

Nel grafico in figura 6.26 viene invece rappresentata l'evoluzione della percentuale di copertura in funzione dei substrati di coltivazione. In questo caso, per i mesi di gennaio e febbraio, non sono state riscontrate differenze di copertura tra i due substrati di coltivazione; si è rilevato uno scostamento significativo a marzo ($P \leq 0,05$) e altamente significativo nei rimanenti mesi ($P \leq 0,001$). Come affermato in precedenza, si è osservato un aumento della percentuale di copertura man mano che ci si avvicina alla stagione primaverile. In ogni caso, per tutti i sei mesi, il substrato Laterizio ha dimostrato di garantire i migliori accrescimenti della vegetazione con coperture nettamente superiori a quelle garantite dal Vulcanico (38,7 % ad aprile, 47,9 % a maggio e 60,5 % a giugno per il Laterizio, contro il 26,6 % ad aprile, il 29,8 % a maggio e i 48,2 % a giugno del Vulcanico). Questo fatto potrebbe essere dovuto alla capacità maggiore del Laterizio di trattenere acqua e quindi di garantire un migliore accrescimento della vegetazione rispetto al Vulcanico.

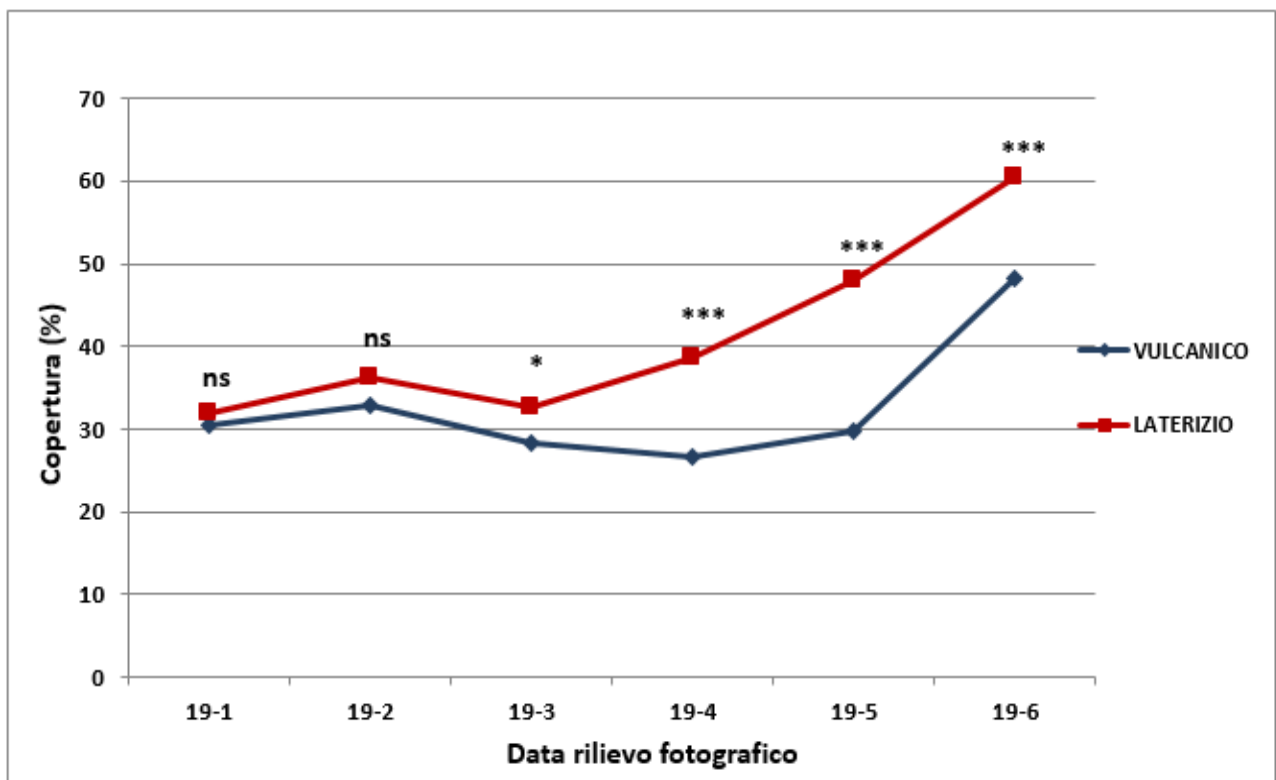


Fig. 6.26 Evoluzione della % di copertura della vegetazione in funzione dei due substrati di coltivazione durante il periodo di prova

Il grafico in figura 6.27 mostra l'evoluzione della percentuale di copertura in funzione dei due drenanti. All'inizio della prova la percentuale di copertura in presenza di Perlite come drenante è stata significativamente maggiore rispetto a quella con Preformato. Successivamente, e per la maggior parte dei mesi a seguire (da febbraio a maggio), Preformato e Perlite hanno garantito la stessa percentuale di copertura. Nel mese di giugno, infine, si è verificato un generale forte accrescimento delle piante e in particolare nei microcosmi contenenti il drenante Perlite (57,1% contro il 51,6% con Preformato). Fattore importante che può spiegare tale differenza, come nel caso dei substrati di coltivazione, è la capacità maggiore di trattenuta idrica della Perlite che permette quindi una maggiore disponibilità di acqua per le piante.

A tutte le date di rilievo, infine, non è stato osservato alcun effetto di interazione tra i fattori allo studio.

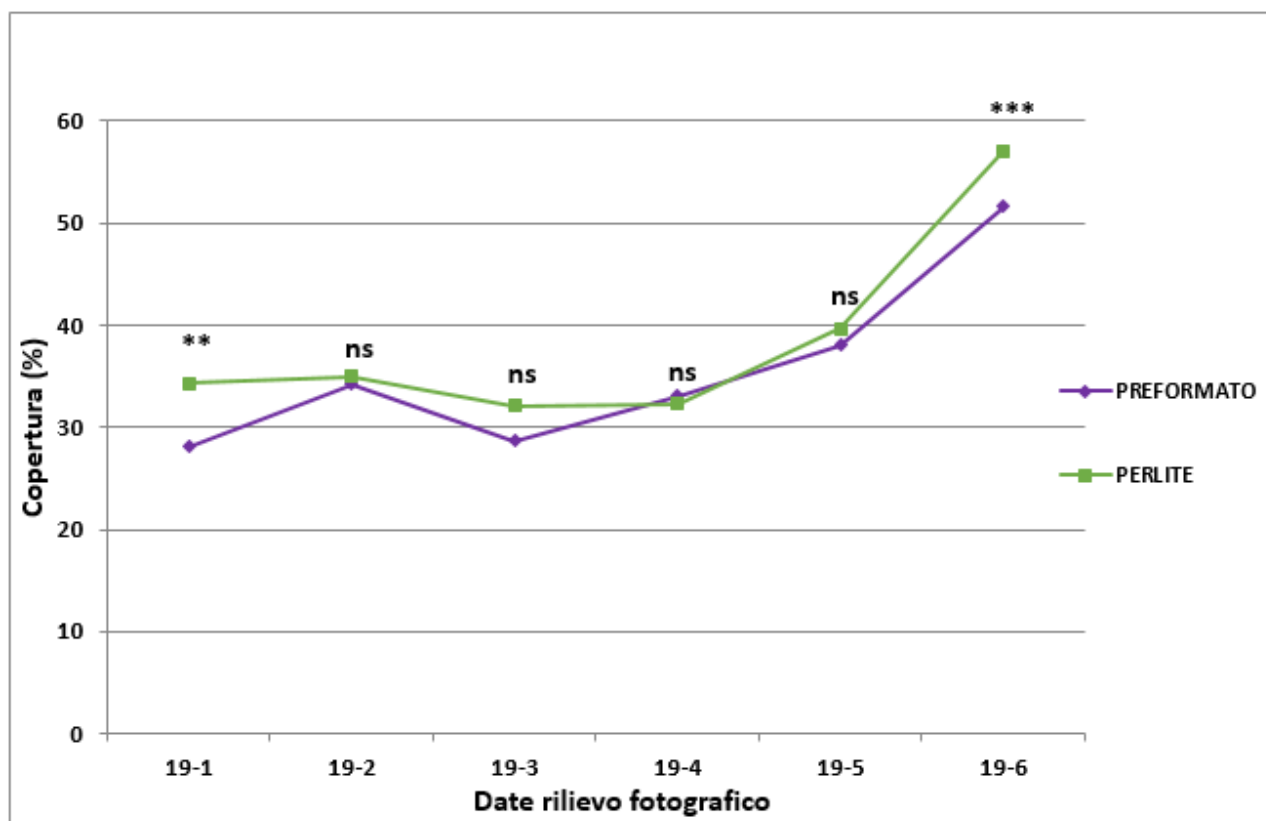


Fig. 6.27 Evoluzione della % di copertura della vegetazione in funzione dei due drenanti durante il periodo di prova

7. Conclusioni

Le analisi condotte nel presente studio hanno permesso di evidenziare chiaramente gli aspetti positivi dell'utilizzo di un sistema a tetto verde estensivo nella gestione sostenibile delle acque meteoriche in ambiente urbano della pianura padano-veneta. L'utilizzo di coperture verdi, rispetto a una semplice copertura piana priva di elementi di accumulo/drenaggio e vegetazione, permette infatti di trattenere, ridurre e rallentare i deflussi di acqua piovana diretti agli impianti di drenaggio urbano.

Per quanto riguarda la gestione delle acque meteoriche, i risultati ottenuti con il simulatore di pioggia hanno dimostrato in maniera evidente l'effetto positivo dei due substrati di coltivazione utilizzati per la realizzazione dei microcosmi di tetto verde allestiti nel Campus di Agripolis. Nel caso delle due prove effettuate con il substrato secco, né la pioggia simulata con tempo di ritorno di 2 anni, né quella con tempo di ritorno di 30 anni hanno generato deflusso: tutta la pioggia è stata accumulata nei substrati. Questo è un dato molto significativo che indica che entrambi i substrati di coltivazione, se asciutti, sono in grado di gestire eventi piovosi a carattere temporalesco di forte intensità, con elevato tempo di ritorno. Nelle due prove effettuate con il substrato saturo sono emerse invece delle differenze che hanno permesso di individuare la tipologia di substrato più adatta a gestire eventi meteorici di breve durata ed elevata intensità. Sia nel caso della pioggia simulata con tempo di ritorno di 2 anni che in quella con tempo di ritorno di 30 anni, il substrato costituito da un mix di laterizio riesce a gestire in maniera più efficace di quello vulcanico eventi di pioggia intensi, accumulando un maggior quantitativo di acqua.

L'analisi dei volumi di acqua drenati dai microcosmi di tetto verde allestiti presso il campus di Agripolis, raccolti successivamente ad ogni evento piovoso durante gli otto mesi di rilievo (dal 1/11/2014 al 30/6/2015), ha evidenziato differenze significative ma sempre con effetti molto positivi sulla gestione delle acque meteoriche. Ad una prima analisi il sistema che risulta meno efficace nella trattenuta idrica è quello costituito da miscuglio a *Sedum*, substrato di coltivazione Vulcanico e strato di accumulo e drenaggio Preformato, mentre quello che genera meno deflusso è il sistema costituito da miscuglio vegetale di Suffruticose, substrato di coltivazione Laterizio e drenante Perlite. La successiva analisi statistica ha permesso di evidenziare quali elementi che compongono ciascun microcosmo siano significativamente legati ai valori di deflusso, distinguendo i risultati relativi alla stagione invernale, a quella primaverile e il periodo complessivo. In linea generale, gli elementi che hanno influito maggiormente sulla formazione dei deflussi si sono dimostrati il substrato di coltivazione e lo strato di accumulo e drenaggio, a cui si aggiunge anche il miscuglio vegetativo nel periodo primaverile, osservando una complessiva maggiore efficacia nella trattenuta idrica con l'utilizzo dei sistemi costituiti da Suffruticose, Laterizio e Perlite. L'efficacia del substrato Laterizio è stata dimostrata anche in laboratorio con l'utilizzo del simulatore di pioggia, mentre l'utilità dello

strato di accumulo e drenaggio Perlite nella riduzione dei deflussi è già stata dimostrata in una precedente tesi sperimentale. L'interazione più significativa nel corso degli otto mesi totali è stata quella tra substrato di coltivazione e drenante, evidenziando una netta diminuzione dei deflussi con la combinazione Laterizio e Perlite.

Per quanto riguarda le variazioni di temperatura nei substrati, queste si sono dimostrate simili tra substrati durante la maggior parte degli otto mesi, evidenziando solamente un aumento di 1°C nel periodo primaverile nei microcosmi contenenti il substrato di coltivazione Laterizio. In ogni caso, le temperature dei substrati si sono dimostrate ottimali per la crescita delle piante.

Analizzando lo sviluppo vegetazionale è emerso come le maggiori percentuali di copertura siano garantite dall'utilizzo di specie Suffruticose, mentre l'utilizzo del *Sedum* garantisce le minori percentuali durante tutto il periodo di prova. In questo caso il substrato di coltivazione dimostra di avere un grande effetto evidenziando in maniera molto evidente come il Laterizio garantisca le maggiori percentuali di copertura. Nel caso del drenante, solo a Gennaio e Giugno, la Perlite garantisce le coperture maggiori.

Emerge chiaramente come la combinazione più idonea alla realizzazione di un tetto verde estensivo nelle condizioni climatiche della pianura padano-veneta sia quella costituita da miscuglio di Suffruticose, substrato di coltivazione Laterizio e drenante Perlite. Il Laterizio si è dimostrato il substrato più efficace in tutte le prove condotte, gestendo eventi piovosi di elevata intensità, diminuendo la formazione di deflussi, garantendo temperature più miti e permettendo il migliore sviluppo della vegetazione. Allo stesso modo, il drenante Perlite si è dimostrata la migliore soluzione da adottare per la diminuzione dei deflussi e la crescita delle piante. Nonostante siano stati pubblicati molti studi sull'utilizzo del *Sedum* per le coperture verdi, questo miscuglio si è dimostrato il meno efficace sia in termini idrologici che vegetazionali, ma viene comunque utilizzato in quanto richiede poca manutenzione; al contrario, il miscuglio di Suffruticose si è dimostrato il più utile nella diminuzione dei deflussi e nel garantire elevate percentuali di copertura.

Tali risultati dimostrano come l'utilizzo dei tetti verdi possa essere un'ottima soluzione da adottare per ottenere una forte riduzione dei volumi d'acqua che si riversano nelle reti di drenaggio e nelle fognature delle aree urbane, rallentando il deflusso senza compromettere il carico gravante sull'edificio. I tetti verdi si dimostrano così un elemento cardine della gestione territoriale in grado di apportare molti altri benefici come l'isolamento termico degli edifici, la riduzione dell'inquinamento dell'aria, la riduzione dell'effetto "isola di calore", la tutela della biodiversità vegetale e animale, oltre che all'aumento del valore estetico e paesaggistico in città.

8. Bibliografia

- 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.
- 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.
- ARPAV, 2002. Caratterizzazione del bacino scolante nella laguna di Venezia. Progetto sviluppato nell'ambito del "Piano per la prevenzione dell'inquinamento ed il risanamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella laguna di Venezia". Padova, 2002.
- 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.
- Bixio V. & Fiume A., 2002. Caratterizzazione delle piogge intense sul bacino scolante nella laguna di Venezia.
- 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*, (pp. 323-329). Chicago.
- Brenneisen S., 2006. Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats* 4(1):1541-7115.
- Brian Stone J., 2004. Paving over paradise: how land use regulations. *Elsavier*.
- Busato F., R. M. Lazzarin, M. Noro, 2014. Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results. *Sustainable Cities and Society* 10: 251-258.
- Climate Environmental Protection Partnershipi Division – EPA, 2008. Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies – Green Roofs. EPA.
- Costantin D., Rocca P. & Treu A., 2002. Piano territoriale di settore Medio Corso del Brenta.
- Coutts A. M., Daly E., Beringer J., Tapper N.J., 2013. Assessing practical measures to reduce urban heat: Green and cool roofs. *Building and Environment* 70:266-276.
- Czemiel Berndtsson J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36(4): 351-360.
- Dalla Fior G. 1985. La nostra flora. Trento: G. B. Monauni.
- Del Favero, R., 2000. Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto. Regione del Veneto.
- 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.
- Fioretti R., Palla A., Lanza L.G., Principi P., 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment* 45:1890-1904.
- Gregoretti C., 2004, 02. Elementi di statistica per idrologia - Corso di Idraulica ed Idrologia.
- Hardin M., Wanielista M., Chopra M., 2012. A Mass Balance Model for Designing Green Roof Systems that incorporate a Cistern for Re-Use. *Water* 4: 914-931.
- Heinrich A., 2014. Giardini sui tetti. Convegno “Giardini verso il cielo” Este in Fiore 2014, Este 12 aprile 2014. Dispense del convegno.
- Hodo-Abalo S., Banna M., Zeghmati B., 2012. Performance analysis of a planted roof as a passive cooling technique in hot-humid tropics. *Renewable Energy* 39:140-148.
- ISPRA, 2012. Verde pensile: valore ecologico e prestazioni di sistema. ISPRA, Manuali e Linee Guida 78.3/ 2012. ISBN 978-88-448-0534-0.
- Index (Construction Systems and Products), 2012. Capitolo tecnico 10: Tetto verde intensivo (giardino pensile) e tetto verde estensivo – Impermeabilizzazione e barriera antiradice.
- Johnston J., J. Newton and L. E. Unit, 1993. *Building Green: A Guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements*, Ecology Unit.
- Jones H. G., 2013. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental plant Physiology*. Cambridge University Press.
- Justyna, Czemieli Berndtsson, 2010. Green roofs performance towards management of runoff water quantity and quality. *Ecological Engineering* 36:351–360.
- Kittler J., Illingworth J., 1986. Minimum error thresholding. *Pattern recognition* 19(1): 41-47.
- 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.
- Liu K., & Baskaran B., 2003. *Thermal Performance of Green Roofs Through field evaluation*. Nationale Research Coundl Canada.
- 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.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC: Island Press.

- Mirzaei P. A., F. Haghghat, 2010. Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations. *Building and Environment* 45(10): 2192-2201.
- Morgan S., Celik S., Retzlaff W., 2013. Green Roof Storm-Water Runoff Quantity and Quality. *Journal of Environmental Engineering* 139:471-478.
- 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, 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.
- Onmura S., Matsumoto M., Hokoi S., 2001. Study on evaporative cooling effect of roof lawn garden. *Energy and Buildings* 33: 653-666.
- Ouldboukhitine S.E., Belari R., Jaffal I., Trabelsi A., 2011. Assessment of green roof thermal behavior: A coupled heat and mass transfer model. *Building and Environment* 46: 26242631.
- Palla A., Gnecco I., Lanza L.G., 2010. Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. *Water* 2:140-154.
- Qiu G.-y., Li H.-y., Zhang Q.-t., Chen W., Liang X.-j. and Li X.-z., 2013. Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture* 12(8): 1307-1315.
- Pignatti S., 1982. *Flora d'Italia. Edagricole. Bologna.*
- Rech F. & Delillo I., 2012. *Precipitazioni sul Veneto anno 2012 - ARPAV.*
- Rech F. & Delillo I., 2013. *Precipitazioni sul Veneto anno 2013 - ARPAV.*
- Rech F. & Delillo I., 2014. *Precipitazioni sul Veneto anno 2014 - ARPAV.*
- 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, F. R. Herrmann, 2008. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies* 331(2): 171-178.
- Roger S. Ulrich, 1984. View through a window may influence recovery from surgery. *American Association for the Advancement of Science*. 224(4647):420-421.
- 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.

Rosina G., 2014. Studio sperimentale comparativo sul substrato di accumulo e drenaggio dei tetti verdi. Tesi di laurea triennale in Riassetto del territorio e tutela del paesaggio. Università degli studi di Padova. Relatore: Dott. V. D'Agostino.

Ryerson University, 2005. Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. Toronto.

Sailor D. J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings* 40(8): 1466-1478.

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 and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems* 11(4):339-348.

Simonato A., 2014. Gestione sostenibile dei deflussi di pioggia nella pianura veneta: risultati preliminari dei microcosmi di tetto verde ad Agripolis. Tesi di laurea magistrale in Scienze forestali e ambientali. Università degli studi di Padova. Relatore: Dott.ssa L. Bortolini.

Sojak J., 2010. Origin of *Potentilla crantzii*, *P. verna* and *P. puberula* (Rosaceae) with a note on the nomenclature of *P. pusilla*. *Feddes Repertorium* 121: 3-4, 112-116.

Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., Smith C.L., 2013. Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate* 3:40–55.

Spohn M., D. Aichele, R. Spohn and M. Golte-Bechtle, 2011. *Che fiore è questo?* Roma, Franco Muzzio editore.

Thomas M. S., & Smith R. L., 2009. *Elementi di Ecologia*. Pearson.

USDA Forest Service, E. Gregory McPherson, David J. Nowak, Rowan A. Rowntree, 1994. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project 1:3-4.

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.

ZinCo Italia, 2014. Supporto alla pianificazione: Sistemi per tetti verdi ZinCo.

8.1 Sitografia

www.actaplantarum.org;

www.aivep.it (AIVEP, 2014);

www.arpa.veneto.it;

www.bauder.it;
www.bcasa.it;
www.botanica01.wikispaces.com;
www.decoagon.com (Decagon device, 2014);
www.epa.gov (EPA-United States Environmental Protection Agency, 2003),
www.everris.com;
www.europimce.it (Europomice S.r.l, 2013);
www.google.it (Google Earth);
www.ideegreen.it;
www.index-spa.com;
www.istat.it (ISTAT,2010);
www.meravigliaitaliana.it;
www.museidifiesole.it;
www.optigruen.it;
www.perlite.it (Perlite Italiana; 2013);
www.prefabbricatisulweb.it;
www.prolocoroma.it;
www.provincia.padova.it/ambiente/pianobrenta;
www.roccioso.it;
www.susdrain.org (susDrain, 2012);
www.uni.com (UNI, Ente Italiano di Normazione, 2014);
www.zinco-italia.it.

Ringraziamenti

Ringrazio in primo luogo la professoressa Lucia Bortolini per avermi permesso di raggiungere questo traguardo.

Ringrazio di cuore i miei due correlatori, Dott. Francesco Bettella e Dott. Giampaolo Zanin, per la pazienza, la disponibilità, i consigli e il loro preziosissimo aiuto.

Ringrazio spassionatamente Alessandro Simonato perché oltre a trovare una persona disposta ad aiutarmi, ho trovato un amico.

Ringrazio con tutto me stesso quella roccia della mia famiglia per la forza e l'amore che mi trasmettono ogni giorno.

Ringrazio la mia seconda famiglia, i miei amici, per il semplice fatto di esserci e di aver condiviso insieme il 90% della nostra vita.

Ringrazio i miei coinquilini, che per due anni sono stati anche compagni di vita.

Ringrazio infine la città e i baristi di Padova per avermi fatto trascorrere due anni indimenticabili.