Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Eco-Sistemi Vegetali per l'Efficienza Energetica e il Risparmio di Energia negli Edifici Urbani

R. Di Bonito, G. Giagnacovo, D. Biagiotti, R. Colletta,
A. Latini,M. Scoccianti, C. Viola

Report RdS/PAR2013/141

ECO-SISTEMI VEGETALI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E IL RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI EDIFICI URBANI

R. Di Bonito, G. Giagnacovo, D. Biagiotti, C. Colletta, A. Latini, M. Scoccianti, C. Viola (ENEA)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA
Piano Annuale di Realizzazione 2013
Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica
Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico
Obiettivo: Sviluppo di e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologico
Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Indice

SOMMARIO 4
1 INTRODUZIONE 5
1.1 STATO DELL'ARTE 5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI 6
2.1 REALIZZAZIONE DI PROTOTIPI DI COLTRI VEGETALI E MISURE CLIMATICO-AMBIENTALI 6
2.2 SELEZIONE DI ECOTIPI LOCALI E VALUTAZIONE DI AMMENDANTI A SUBSTRATI SOIL-LESS 10
2.3 PROTOTIPI DI PIANTE PER LO STUDIO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DEI SISTEMI VEGETALI 16
3 CONCLUSIONI 20
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 20
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI 21

Sommario

L'attività di studio, ricerca e sperimentazione ha avuto come obiettivo generale l'individuazione e la definizione dei parametri biologici e dei substrati di coltivazione che definiscono la realizzazione di coltri vegetali per climi mediterranei. In particolare, sono stati realizzati una serie di prototipi di coperture verdi di tipo estensivo (substrati di altezza cm 12) e intensivo leggero (altezza cm 18) per la valutazione di parametri ambientali e flussi di calore utili alla predizione della capacità delle coltri vegetali di contribuire alla coibentazione naturale di edifici civili. Le coperture verdi sono state realizzate utilizzando piante tipiche dell'area mediterranea quali le specie aromatiche appartenenti alla famiglia delle Lamiaceae (prototipo intensivo leggero) e le specie succulente della famiglia Crassulaceae (prototipo estensivo). I prototipi sono stati installati sulla superficie aperta di un terrazzo del Centro ENEA Casaccia di Roma (42°04'N; 12°30'E). Un sistema di monitoraggio costituito da un datalogger alimentato elettricamente da un pannello solare è stato installato per raccogliere i dati climatici con frequenza oraria. Nei periodi di osservazione la temperatura atmosferica massima è risultata di 28°C mentre nell'intercapedine della copertura è stata rilevata una diminuzione di temperatura di circa 4-5°C. La sperimentazione ha preso in considerazione anche la valutazione di *biochar* naturale, di *compost* e di *endomycorrhizae* aggiunti ai substrati colturali *soil-less* per ottenere formulazioni caratterizzate da bassa densità con il fine di migliorare la crescita e la resistenza delle piante che costituivano la coltre vegetale. I dati microclimatici, rilevati nelle strutture di coltivazione, hanno evidenziato un effetto di mitigazione della temperatura per le coperture intensive leggere nelle ore estive in cui si riscontrava la più elevata temperatura atmosferica, mentre le misurazioni dei dati biologici hanno evidenziato un aumento della massa e delle capacità tappezzanti di piante di *Sedum reflexum e sexangulare* rispettivamente nei substrati che contenevano *compost* e inoculo a base di *endomycorrhizae*. Per quanto riguarda gli aspetti botanici, sono state valutate le capacità di crescita di una collezione di ecotipi spontanei ottenuti da piante raccolte in diversi ambienti mediterranei. Tale lavoro ha permesso di individuare in alcuni ecotipi di specie di Crassulaceae (piante succulente), tipici di ambienti aridi, una forte capacità di adattamento in termini di crescita su substrati *soil-less*. Sulla base dei dati rilevati, attraverso l'attività di ricerca e sperimentazione finora effettuata, si ritiene che tali accessioni vegetali possano essere usate con successo in impianti di verde estensivo su terrazzi in climi mediterranei.

1 Introduzione

1.1 Stato dell'arte

La rapida urbanizzazione delle nostre comunità ha comportato la realizzazione di estese superfici in cemento che oltre alla modificazione spesso negativa dell'ambiente urbano in termini sia di visione sia di vivibilità crea incrementi della temperatura soprattutto nei centri cittadini. Tale fenomeno, spesso definito come "*Urban Heat Island*" - UHI, è causato principalmente dall'assorbimento della radiazione solare da parte degli edifici e dei materiali da costruzione e dalla successiva ri-irradiazione nell'ambiente circostante. Questo aumento della temperatura, associato alla presenza di inquinanti atmosferici e alla scarsa circolazione di aria, può provocare l'accumulo di smog, danni all'ambiente e alla salute dei cittadini oltre all'aumento del consumo di energia per raffreddare gli edifici nei periodi caldi e per il riscaldamento nei periodi freddi. Le realizzazioni di sistemi vegetali meglio conosciuti come "*Vertical Greeney System*" - VGS e "*Green Roof* "- GR) utilizzati come coperture e facciate verdi di parti strutturali di un edificio rappresentano dei sistemi più innovativi per migliorare l'aspetto urbanistico delle nostre città, ridurre l'apporto di CO_2, influenzare positivamente il microclima. La presenza di specie vegetali in prossimità di un edificio incide infatti sulle interazioni energetiche di questo e l'ambiente esterno, migliorando le condizioni di comfort estivo per gli spazi esterni e assolvendo un funzionamento di isolante termico limitando le oscillazioni termiche oltre ad essere in grado di filtrare fino al 70% delle polveri presenti nell'aria. I VGS e i GR sono in grado di mitigare i picchi di temperatura estivi grazie all'evapotraspirazione delle piante e all'ombreggiamento nei confronti dell'irraggiamento solare diretto sugli edifici e sulle superfici circostanti, consentendo di mitigare gli effetti fisici delle isole di calore o UHI nei centri cittadini.

I sistemi verdi (VGS e GR) rappresentano una superficie edilizia ricoperta da specie vegetali, aventi caratteristiche rampicanti e/o ricadenti, aggrappate direttamente o indirettamente, tramite supporti verticali o orizzontali di sostegno alla muratura. L'effetto isolante è dovuto allo strato d'aria che si crea tra la superficie verde e la superficie muraria, il quale funge da cuscinetto isolante sia nei periodi caldi e sia nei periodi freddi; inoltre una parte delle radiazioni infrarosse, irradiate dall'edificio, viene riflessa dalle foglie e un'altra parte viene assorbita (riduzione delle perdite di calore radiative dell'edificio); infine il cuscino di verde è in grado di attenuare i movimenti d'aria sulla superficie della costruzione, così da ridurre le perdite di calore per convezione. Le pareti verdi proteggono le strutture opache dalla radiazione solare, evitando il surriscaldamento delle stesse, tutto ciò ovviamente influisce sia sui carichi di condizionamento che sul *comfort* termoigrometrico dell'ambiente interno. Inoltre i rivestimenti vegetali posti davanti a pareti in muratura, possono contribuire alla loro protezione (contro gli agenti atmosferici) e quindi aumentarne la durata nel tempo [1]. Infine vengono anche riconosciuti dei benefici estetici e psicologici, sia per coloro che usufruiscono direttamente delle funzioni del verde, sia per coloro che indirettamente godono del miglioramento dell'ambiente antropomorfizzato; l'effetto terapeutico del verde è stato ripetutamente dimostrato da diversi studi. In Italia la realizzazione di verde orizzontale è stata finora regolamentata dalla normativa UNI 11235 (2007) [2] ripresa dai regolamenti regionali che definisce nel dettaglio materiali e metodi di realizzazione e mantenimento. Più recentemente la delibera (14/6/2014) [3] emessa dal Ministero dell'Ambiente-Comitato verde pubblico, ha riconosciuto alle opere a verde l'ammissione alla fruizione dei benefici fiscali nell'ambito della normativa vigente sul risparmio di energia, sull'efficienza energetica. Tuttavia le coperture verdi, molto diffuse in Nord Europa, hanno scarsa applicazione nei paesi mediterranei a causa delle condizioni climatiche caratterizzate da prolungata siccità estiva, alternata ad intense precipitazioni, che possono compromettere sia la resistenza dei materiali di sostegno che lo

sviluppo della vegetazione. La presente attività di studio, ricerca e sperimentazione è stata finalizzata soprattutto alla definizione dei materiali vegetali, dei substrati di coltivazione e dei disciplinari tecnici per la definizione delle capacità schermanti delle coltri vegetali realizzate per gli edifici localizzati in climi mediterranei.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Realizzazione di prototipi di coltri vegetali e misure climatico-ambientali

La sperimentazione ha previsto la realizzazione di moduli per verde pensile di tipo estensivo e intensivo leggero utilizzando materiali commerciali utilizzati in edilizia per la coibentazione degli edifici e materiali specifici per le coperture verdi. L'elemento portante del modulo è costituito da una struttura rigida in polietilene (Drainroof™), con capacità di accumulo idrico e drenaggio del volume in eccesso, che forma una intercapedine di cm 6 rispetto alla superficie del terrazzo. In successione, sono stati deposti uno strato di geotessile permeabile in poliestere, uno strato di perlite, con elementi di diametro mm 3-5, avente funzione di accumulo idrico (Agrilit T3) ed un substrato *Soil-less* (Senza-suolo) di supporto per le piante, composto da torba, lapillo, pomice e fertilizzante a lento rilascio (Agriterram™). L'insieme dei due substrati ha avuto l'altezza di cm 12 o cm 18, per la realizzazione rispettivamente di coperture verdi estensive ed intensive leggere (foto 1, foto 2). Le caratteristiche fisiche delle strutture valutate in base alle schede tecniche dei singoli componenti sono riportate nella tabella 1.

Tabella 1. Caratteristiche fisiche dei sistemi di verde estensivo (cm 12) ed intensivo leggero (cm 18), estrapolate sulla base delle caratteristiche tecniche dei singoli componenti.

COMPONENTE	**PESO (kg/m^2)**		**PESO A SATURAZIONE (kg/m^2)**	
	estensivo	**intensivo leggero**	**estensivo**	**intensivo leggero**
INSIEME SUBSTRATI	63	94.5	108	162
ELEMENTI STRUTTURALI	4.13	4.13	4.13	4.13
TOTALE	**67.13**	**98.63**	**112.13**	**166.13**

Il carico sui solai è stato valutato in kg 67,13/m^2 e 98,63/m^2 per l'estensivo e intensivo leggero rispettivamente, mentre i valori a saturazione di H_20 sono risultati di kg 112,13/m^2 e 168,13/m^2 rispettivamente. Le prove sperimentali nella primavera-estate 2014 hanno dimostrato che il peso a saturazione non è stato mai raggiunto in quanto il massimo accumulo idrico rilevato è stato del 20% a causa delle capacità di drenaggio del sistema. I prototipi di verde intensivo leggero sono stati realizzati con substrati di spessore cm 18 e specie aromatiche della famiglia Lamiaceae (*Thymus vulgaris, Thymus citriodorus, Lavandula officinalis, Salvia officinalis, Rosmarinum officinalis prostratus*) fornite da vivai locali (foto 3).

Foto 1

foto 2

Foto 1, foto 2: Fase di preparazione dei prototipi di verde estensivo, intensivo

Le valutazioni di parametri ambientali sono state effettuate tramite un datalogger CR1000 (Campbell Scientific Inc) dotato di software specifico che ha permesso l'acquisizione e memorizzazione dati, inviati a PC tramite collegamento alla rete Ethernet. La sezione dei prototipi e la posizione dei sensori sono riportate nella figura 1. (Nelle foto 3 e 4 è visibile il prototipo di verde intensivo leggero e particolare di estensivo con sensoristica). Sono stati rilevati con frequenza oraria i seguenti dati:

- Temperatura e umidità atmosferica tramite sensore termo igrometrico.
- Temperatura del substrato e del pavimento nell'intercapedine al disotto del sistema colturale, tramite sensori a contatto.
- Umidità del terreno tramite trasduttore di conducibilità elettrica.
- Temperatura a 1m di altezza sopra la *canopy* tramite piranometro.
- Misura di precipitazione tramite pluviometro a vaschette basculanti.

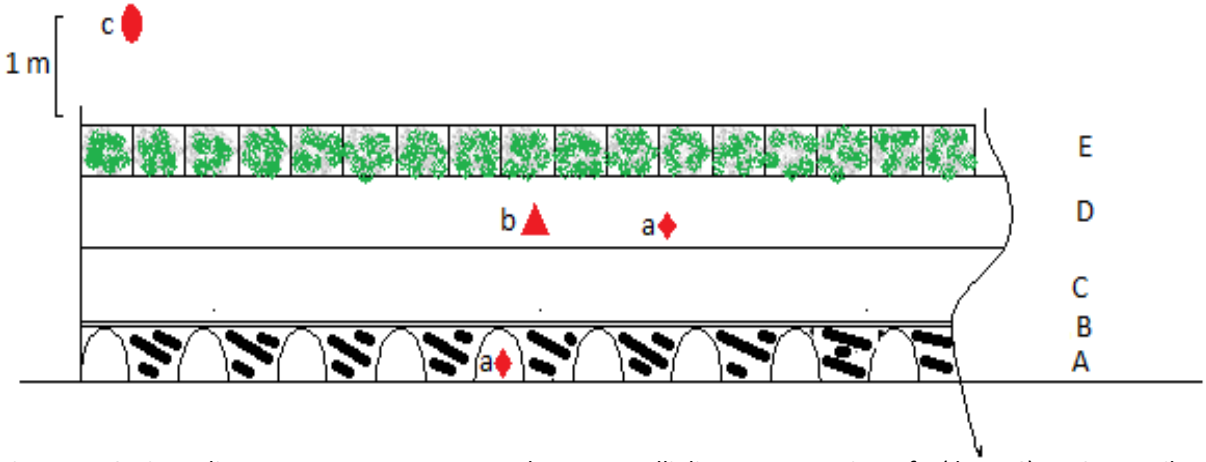


Figura 1. Sezione di struttura per copertura verde. A: Pannelli di supporto Drainroof ™(h cm 6); B: Geotessile (spessore mm 1); C: Substrato Agrilit T3 (spessore cm 6 - 9); D: Substrato Agriterram™ (spessore cm 6 - 9); E: Copertura vegetale.

a. Sensori di temperatura inseriti rispettivamente nel substrato (D) e nell'intercapedine sulla superficie del pavimento.

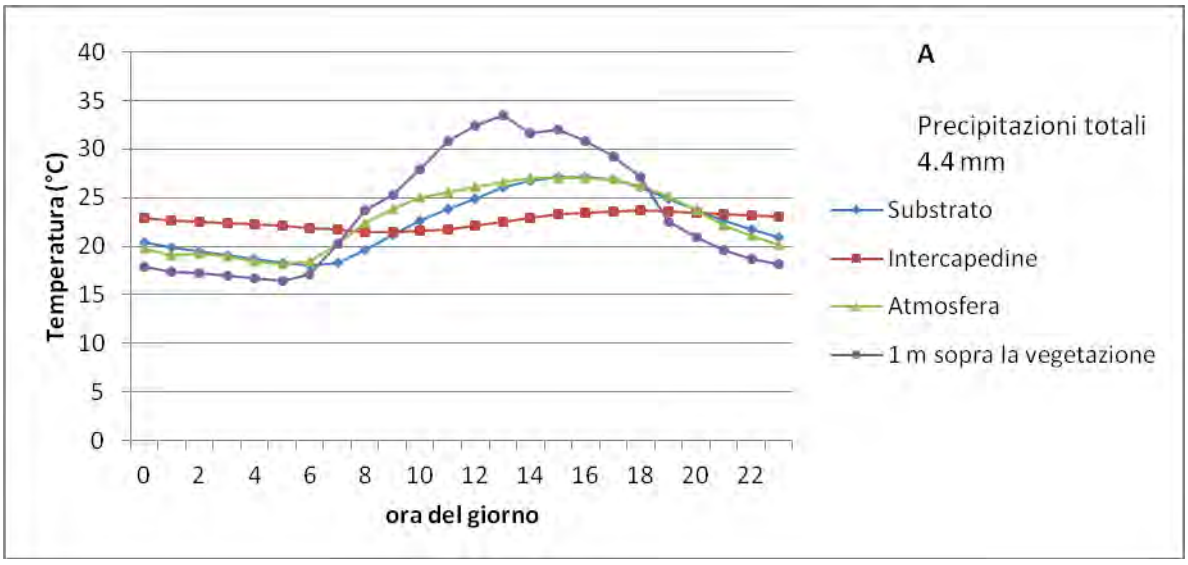
b. Sensore di umidità del substrato.

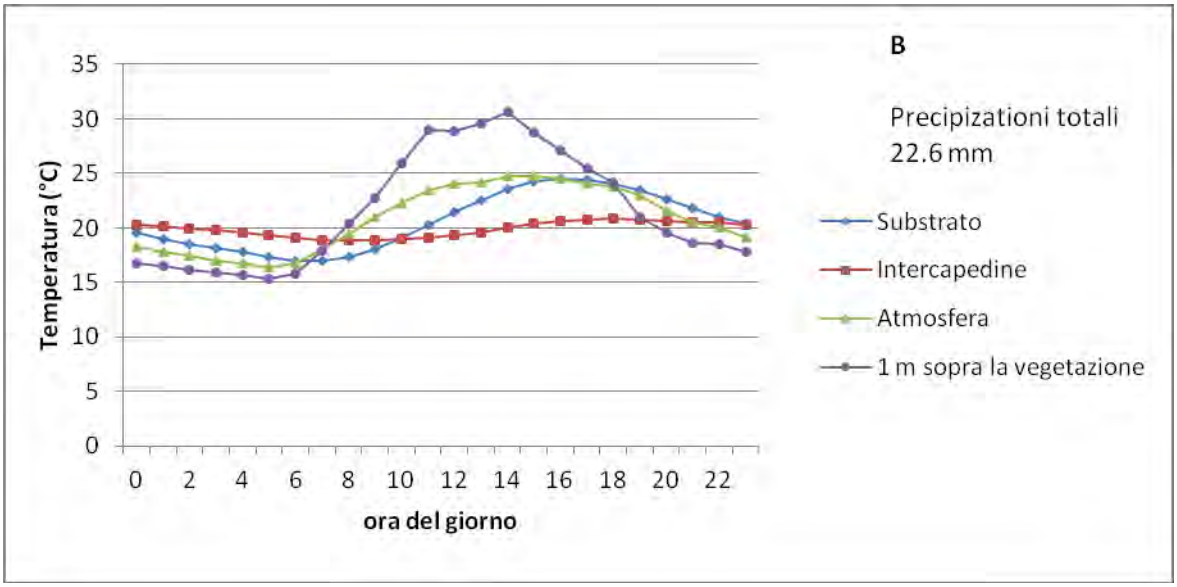
c. Sensore a raggi infrarossi (piranometro) per la misura della temperatura al di sopra della copertura vegetale (h 1m).

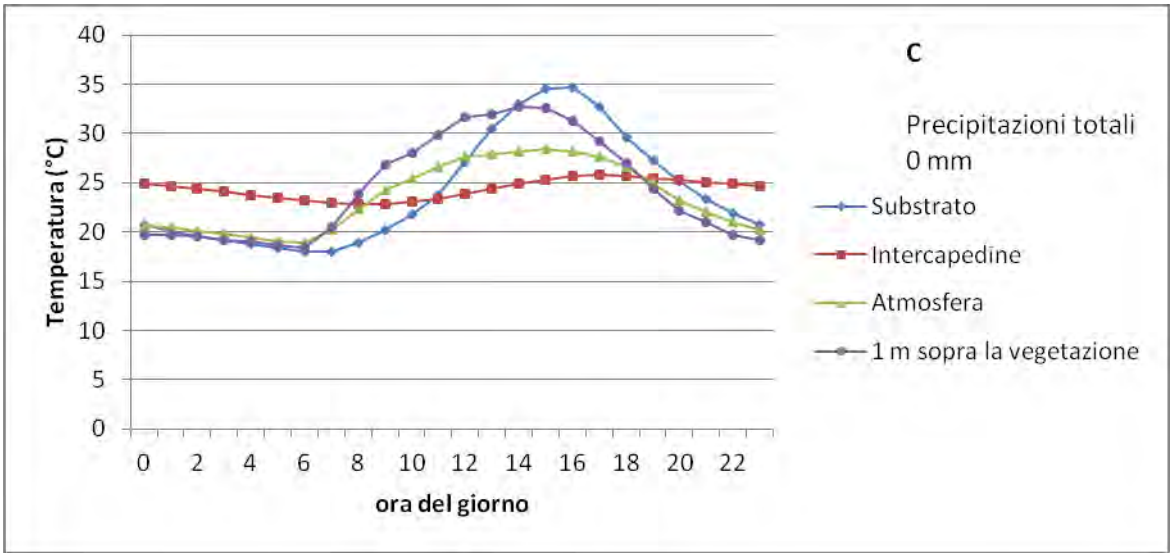
Foto 3, prototipo di verde intensivo leggero

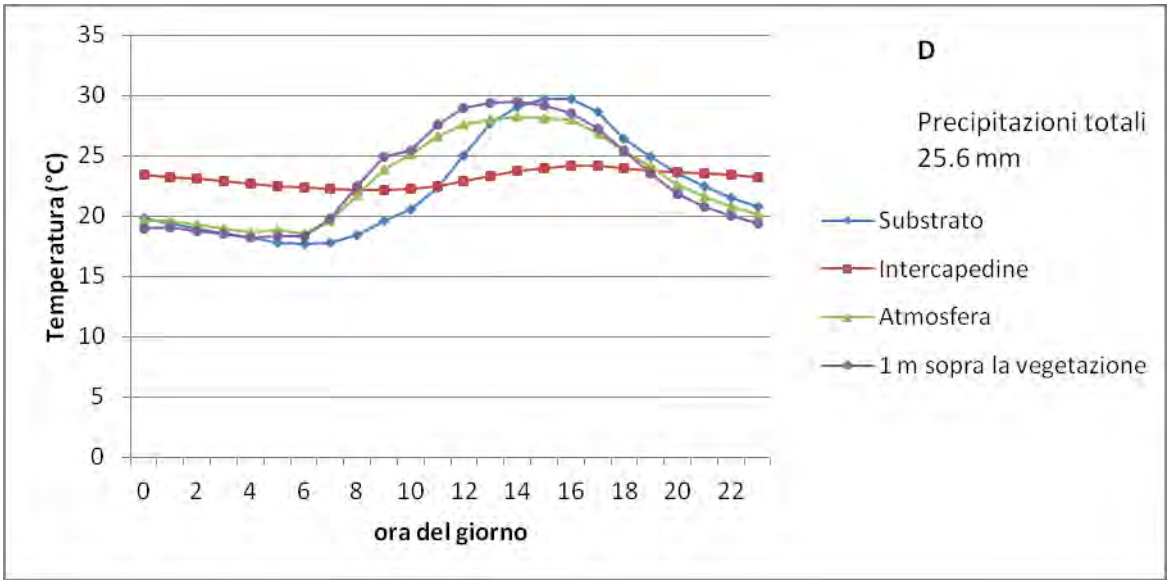
Foto 4, prototipo di verde estensivo con sensoristica

L'elaborazione delle misure effettuate per alcune settimane tipiche del periodo estivo, è riportata nelle figure 2 (A,B,C,D,E). Nei grafici le misure orarie rappresentano la media delle osservazioni giornaliere del periodo di riferimento.




B
Precipizationi totali
22.6 mm
Substrato
Intercapedine
Atmosfera
1 m sopra la vegetazione
Temperatura (°C)
ora del giorno


C
Precipitazioni totali
0 mm
Substrato
Intercapedine
Atmosfera
1 m sopra la vegetazione
Temperatura (°C)
ora del giorno


D
Precipitazioni totali
25.6 mm
Substrato
Intercapedine
Atmosfera
1 m sopra la vegetazione
Temperatura (°C)
ora del giorno

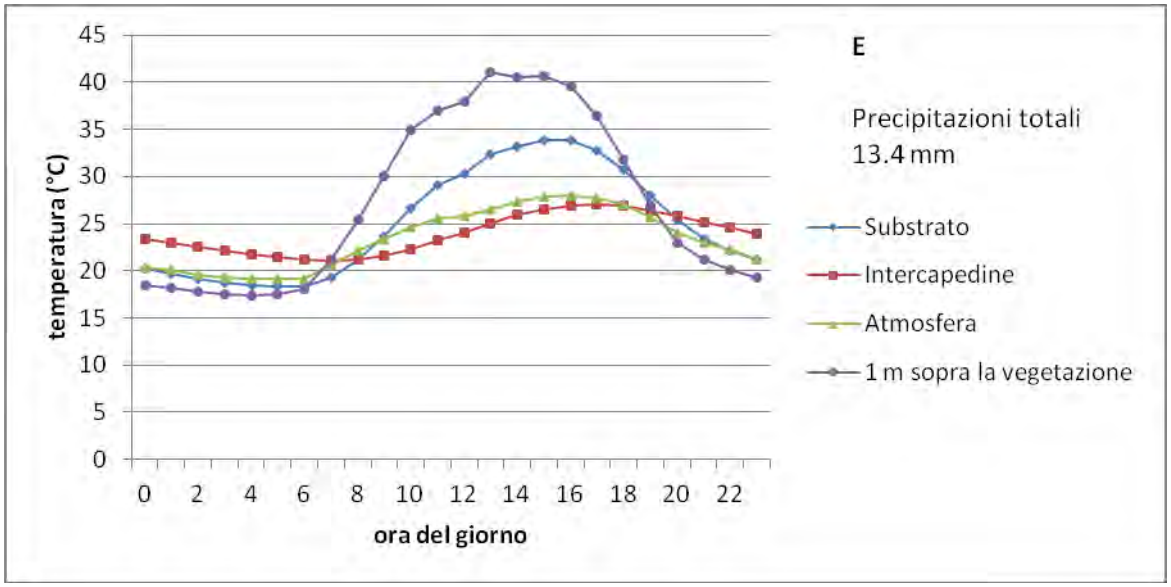


Figura 2. Misura delle temperature orarie medie relative a differenti periodi durante l'estate 2014. (prototipo intensivo leggero = **A**: 24-30 giugno; **B**: 9-15 luglio; **C**: 12-18 agosto; **D**: 19-25 agosto; Prototipo estensivo = **E**: 26 luglio-4 agosto).

Nei periodi di monitoraggio le temperature atmosferiche massime sono state rilevate nelle ore 14:00-16:00 con valori medi settimanali tra i 25 °C e 28 °C. I valori riportati nelle figure 2A, 2B, 2C, 2D ottenuti sul prototipo intensivo leggero dimostrano una diminuzione della temperatura media del pavimento nell'intercapedine sotto la copertura verde. Nei periodi di riferimento, è stata riscontrata una differenza nella quantità di precipitazioni che sembra avere un effetto sulla diminuzione della temperatura nell'intercapedine che raggiunge i valori più consistenti (4-5 °C) nel periodo caratterizzato da maggiori precipitazioni (figura 2D). La temperatura del substrato ha presentato un incremento significativo nelle ore più calde e tale aumento è stato più elevato in assenza di precipitazioni. Tale significativo incremento rispetto alla temperatura atmosferica è stato riscontrato anche nei valori della temperatura rilevata alla distanza di 1m sopra la *canopy*. Durante i periodi di osservazione riportati, la *canopy* delle piante ha raggiunto una altezza media di 20 cm ed una copertura di circa il 39% della superficie disponibile. Le misure effettuate su prototipi di verde estensivo non hanno mostrato una significativa diminuzione di temperatura delle superfici sottostanti la copertura (Figura 2E). Si ritiene che tale mancanza di effetto schermante sulle superfici sottostanti sia dovuto alla stadio di sviluppo iniziale del prototipo estensivo, le cui piante al momento delle misure hanno raggiunto solo l'altezza di cm 3-4 ed il 7 % di copertura [4].

2.2 *Selezione di ecotipi locali e valutazione di ammendanti a substrati soil-less*

Ecotipi del genere *Sedum* e *Sempervivum* appartenenti alla famiglia delle Crassulaceae sono stati raccolti nelle regioni adriatiche e tirreniche Italiane e in aree costiere della Slovenia e Croazia; essi sono stati raccolti in ambienti quali pareti rocciose, pietraie e retro dune dove le specie vegetali presenti e colonizzatrici sono il risultato di un adattamento alla pressione selettiva dovuta a stress abiotici. Un altro ecotipo del genere *Rhodiola*, invece, proviene dalla Liguria, area prealpina, e due ecotipi, uno di *Sedum* e uno di *Aeonium*, entrambi spontanei, provengono dai climi tropicali e subtropicali rispettivamente. La lista degli ecotipi utilizzati e origine sono riportati nella tabella 2, foto 5.

Tutti gli ecotipi sono stati propagati, per talee, in ambiente protetto, al fine di ottenere materiale sufficiente ed omogeneo per la sperimentazione condotta su un tetto piano di un edificio di tre piani in ENEA, Casaccia. Tutti gli ecotipi Sono stati posti in coltura su substrati *soil-less*, con profondità di substrato di circa 6 cm, in cassette di m² 0,14, effettuando tre ripetizioni, con 4 piante/cassetta.

Substrati utilizzati: Agrilit T3 e Agriterram TVS ™ della Perlite Italiana in proporzioni 1:1 vol/vol.
Su tali substrati è stata valutata, la capacità di crescita e di copertura. Gli ecotipi sono stati raggruppati in due tipologie morfologiche di crescita al fine di valutarne i risultati: crescita tappezzante per ramificazione di fusti prostrati e crescita con aumento del numero di foglie disposte a rosetta.

Tabella 2 – Ecotipi locali oggetto di valutazione e origine

Ecotipi	**Origine ecotipi**
Sedum sexangulare	Pirano (Slovenia)
Sedum album	Cherso (Croazia)
Sedum acre	Molise (Italia)
Sedum reflexum	Lussino (Croazia)
Sedum hispanicum	Molise (Italia)
Sempervivum tectorum	Molise (Italia)
Sedum rupestre	Lazio (Italia)
Sedum sp.	Lazio (Italia)
Rhodiola rosea	Liguria (Italia)
Aeonium castello-paivae	Canarie (Spagna)
Sedum nussbaumerianum	Messico

Sedum album *Sedum reflexum* *Sedum hispanicum*

Foto 5 Collezione degli ecotipi di Crassulaceae

Nel primo gruppo gli ecotipi *Sedum album* e *Sedum acre* hanno mostrato velocità di crescita tappezzante superiore, coprendo rispettivamente il 45% e 35% della superficie disponibile, dopo 90 giorni di coltura Figura 3 Tali valori sono in linea con quanto riportato dalle linee guida. Il rapporto tedesco "*Roof-Greening Guideline",* 2002 [5] considera infatti soddisfacente una copertura del 60% dopo un anno, mentre la normativa UNI 11235 [2] prevede la copertura dell' 80% dopo 12 mesi dall'inizio dell'impianto. Nel gruppo a rosetta gli ecotipi *Sempervivum tectorum* e *Rhodiola rosea*, raccolti in Italia, hanno mostrato una maggiore velocità di crescita rispetto alle specie provenienti da ambienti tropicali e subtropicali quali *Aeonium castello paivae* e *Sedum nussbaumerianum* [6].

La sperimentazione deve comunque essere condotta per tempi lunghi in quanto la valutazione di crescita e resistenza va fatta per tutte le stagioni. Alcuni ecotipi, tendono a crescere prima in altezza per poi manifestare una crescita tappezzante, quindi è importante effettuare la valutazione durante le 4 stagioni. Le specie tropicali e subtropicali, inserite nella sperimentazione per confronto e considerando che la sperimentazione è stata condotta in Italia centrale, sono da escludere per i nostri climi e in ogni caso, anche per la tutela della biodiversità è buona pratica non introdurre specie aliene.

Le Crassulaceae restano ancora tra le specie più interessanti e utilizzate per le coperture verdi di tipo estensivo per la loro capacità tappezzante, facilità di propagazione, e maggiore resistenza alla siccità dovuta alle caratteristiche metaboliche della specie. Esse infatti hanno un metabolismo CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*) che le consente di immagazzinare acqua nelle loro foglie per lunghi periodi. In Italia esistono circa una trentina di specie di *Sedum*, molte delle quali sono diffuse dal livello del mare fino ai 2000 m, con caratteristiche interessanti anche da un punto di vista estetico per le diverse fioriture. Queste specie rustiche potrebbero essere utilizzate insieme ad altre specie, che comunque vanno scelte ed indagate, per ottenere coperture vegetazionali più fitte al fine di migliorare l'effetto di isolamento termico degli edifici.
E' opportuno continuare i rilievi di crescita sulla vegetazione almeno per il susseguirsi delle stagioni, continuare studi sulla scelta e performance agronomica della vegetazione idonea a crescere in condizioni difficili e a bassi input energetici.

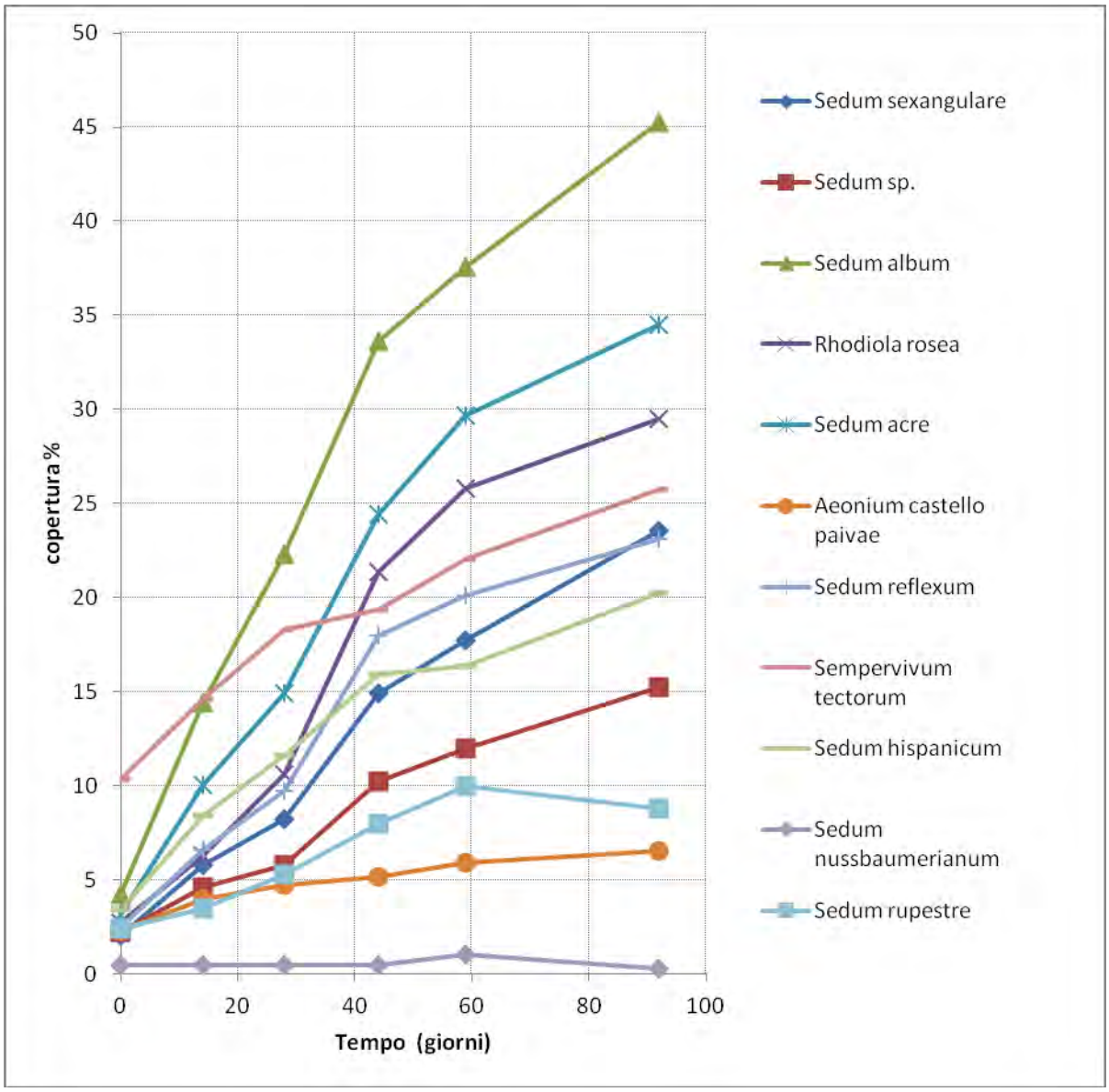


Figura 3: capacità di crescita tappezzante di 11 ecotipi spontanei di Crassulaceae

Un secondo aspetto della sperimentazione è stato la valutazione dell'effetto dell'aggiunta di ammendanti al substrato *soil-less* sulla crescita e resistenza delle piante. Sono stati utilizzati ammendanti organici a basso

peso specifico allo scopo di migliorare la fertilità e favorire l'accrescimento e resistenza delle piante agli *stress* dovuti al ridotto spessore del substrato, siccità e variazione termica. La sperimentazione ha previsto l'aggiunta al *soil-less* di un mix di *compos*t 14 % vol; *biocha*r 14 % vol; *biochar* 7% vol + *compost* 7% vol e inoculo contenente spore di *endomycorrhizae*. Il *compost*, fornito dall' Unità Tecnica Tecnologie Ambientali laboratorio gestione rifiuti (UTAMB-RIF) dell'ENEA, Casaccia Roma, era stato ottenuto da rifiuti alimentari usando un Joraform JK 5100 con l'aggiunta del 20% di materiale cellulosico in accordo con la regolamentazione vigente. Il *biochar* (Carbon Terra GmbH) era stato ottenuto dalla pirolisi di biomassa.
Le piante di *Sedum reflexum* sono state trapiantate in vasi da 1l contenenti i diversi trattamenti includendo un controllo non trattato e 4 replicazioni di due piante per ogni trattamento. L'effetto dei trattamenti sui parametri di crescita delle piante è stato valutato dopo 14 settimane. Una parte delle piante, inoltre, è stata trapiantata in cassette con gli stessi ammendanti e concentrazioni, come su riportato, per la valutazione delle capacità tappezzanti al variare delle condizioni stagionali. È stato inoltre valutato l'effetto dell'aggiunta al substrato di inoculo contenente spore di *endomycorrhizae* (*Glomus* spp, *Gigaspora margarita*, *Paraglomus brasilianum*, BioOrganics™). Tale sperimentazione ha avuto come scopo la valutazione dello sviluppo di talee di piante di *Sedum sexangulare*.

L'effetto dei trattamenti con ammendanti, rilevato sui pesi freschi e secchi delle piante, dopo 14 settimane di coltura, è mostrato in figura 4. Un incremento del peso fresco è stato osservato in seguito ai trattamenti con *Compost* e *Compost* + *Biochar*. Si ritiene che il peso fresco sia il parametro più idoneo per valutare la crescita di piante di *Sedum* caratterizzate da foglie succulente in grado di immagazzinare H_2O nelle condizioni ottimali.

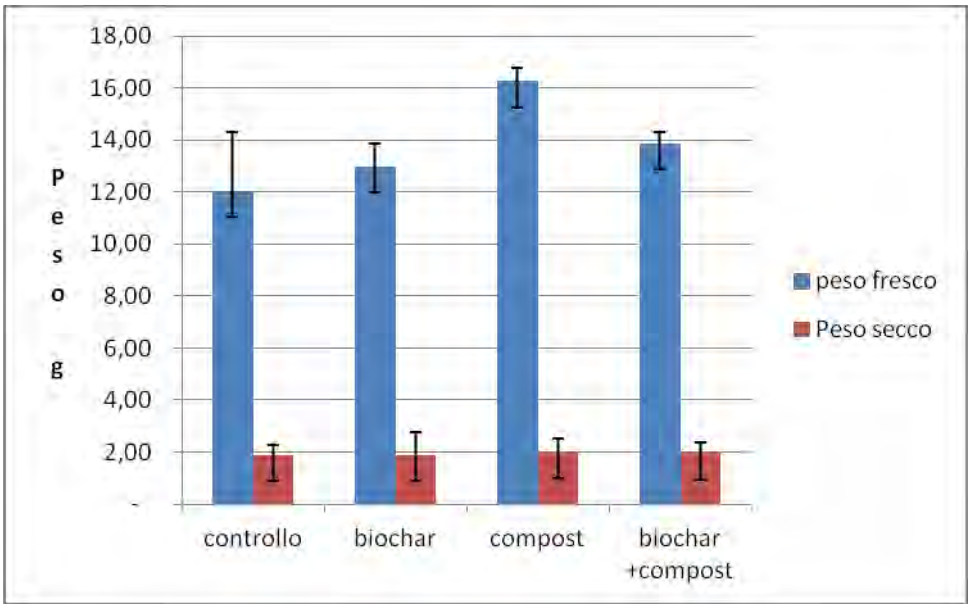


Figura 4. Effetto del trattamento con ammendanti sul peso di piante di *Sedum reflexum* a 14 settimane dal trapianto. Ogni valore rappresenta la media di 4 replicazioni con 2 piante ognuna.

Gli ammendanti hanno mostrato un positivo effetto anche nell'esperimento di lunga durata in cassette. Le figure 5 e 6 riportano l'effetto degli ammendanti sulle capacità tappezzanti e sul numero di germogli di *S. reflexum* rispettivamente [7]. L'aggiunta di *Compost* ha avuto un effetto positivo sulla crescita tappezzante delle piante a 112 giorni dal trapianto in cassette, avvenuto dopo 84 giorni di crescita in vaso. Il numero di germogli è stato superiore per il *Biochar* e per *Biochar* + *Compost* limitatamente ai primi 60 giorni dal trapianto, facendo ipotizzare una maggiore densità della *canopy* delle piante.

.

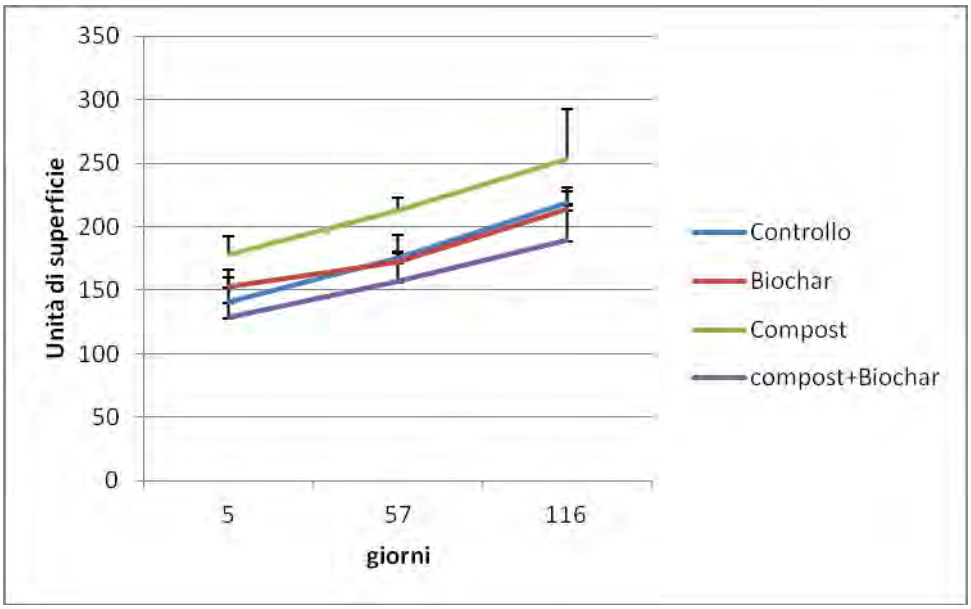


Figura 5. Effetto del trattamento con ammendanti sulla crescita tappezzante di piante di *S. reflexum*.

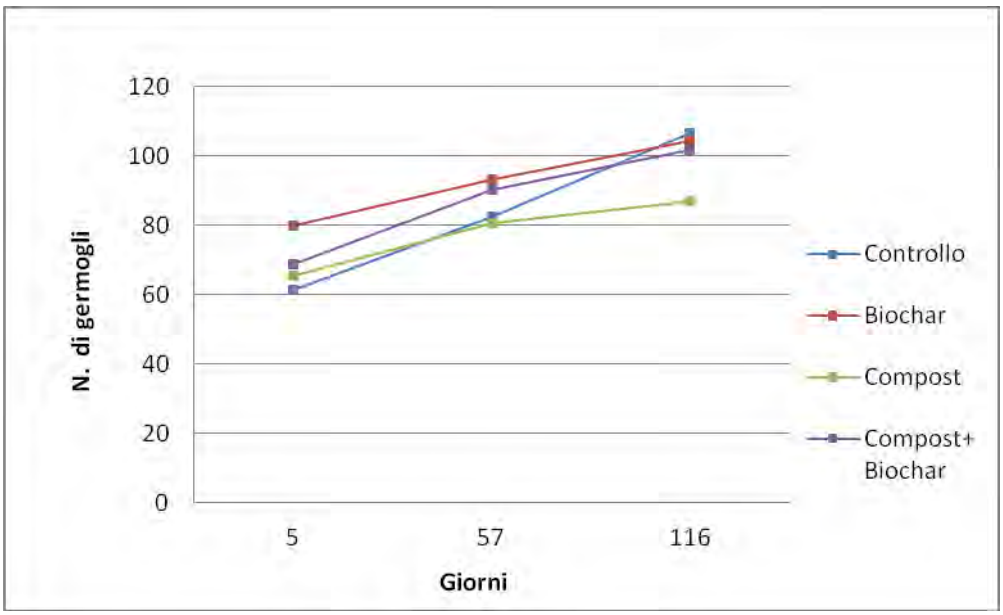


Figura 6. Effetto del trattamento con ammendanti sul numero di germogli in piante di *S. reflexum.*

Il trattamento con inoculo di *endomycorrhizae* sullo sviluppo di talee dell'ecotipo *Sedum sexangulare* ha prodotto un incremento significativo della biomassa delle piante, come evidenziato dai valori di peso fresco (figura 7) e un maggiore sviluppo dell'apparato radicale. (Foto 6)

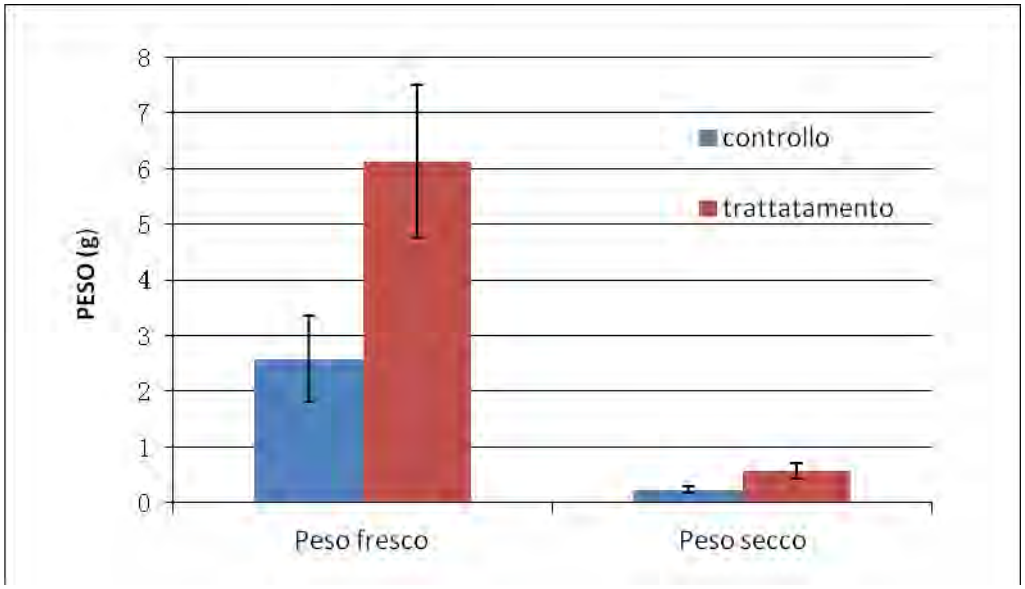


Figura 7. Effetto del trattamento con *endomycorrhizae*, rilevato sui pesi freschi e secchi, della specie *Sedum sexangulare*, dopo 120 giorni dalla messa in coltura.

Foto 6: Apparato radicale di pianta inoculata con *endomycorrhizae* (destra) e controllo (sinistra)

2.3 Prototipi di piante per lo studio dell'efficienza energetica dei sistemi vegetali

In accordo con gli obiettivi progettuali, è stata avviata un'ulteriore attività di ricerca, anche in collaborazione con il Centro di Ricerca Forschungszentrum Jülich in Germania (http://www.fz-juelich.de/portal/EN/Home/home_node.html), parzialmente supportata dai fondi del programma RdS. Si tratta di una sperimentazione che mira all'ottenimento di varietà energeticamente efficienti di specie agricole di notevole interesse per l'Italia, innanzitutto a scopo alimentare (alimentazione umana ed animale) ma anche a scopi energetici (energia da biomassa e biogas).

In questa fase iniziale si è scelto come modello di studio il grano duro (*Triticum durum*), che si presta particolarmente allo studio fenotipico e genotipico rispetto dei processi di sviluppo e di accrescimento delle piante, sia in campo aperto che in serra in condizioni di sistema chiuso e controllato. Inoltre, il grano duro costituisce una specie cerealicola importantissima in Italia dal punto di vista economico per le sue caratteristiche uniche e per i suoi prodotti finali (in particolare la pasta), anche in ottica del "*Made in Italy*".

In realtà, l'Italia, ad oggi, non è autosufficiente nella produzione di frumento duro: le rese sono molto basse, le superfici in calo e la qualità deve essere ancora migliorata. Pertanto, mentre ci si augura un'inversione di rotta, abbiamo ritenuto di focalizzare la nostra ricerca su questa specie, intraprendendo delle linee di attività propedeutiche allo sviluppo di un programma di miglioramento genetico ai fini dell'ottenimento di varietà di grano duro che abbiano delle richieste energetiche inferiori e che quindi risultino più efficienti nell'utilizzo di energia, che nel caso specifico è rappresentata principalmente dalla radiazione solare nonché dall'acqua e dai nutrienti. Questa linea di ricerca risulta di particolare interesse per le attività dell'Unità Tecnica Efficienza Energetica (UTEE) che fanno riferimento all'efficienza energetica delle produzioni alimentari, in quanto consente di raccogliere dati bio-agronomici e genetici utili all'individuazione dei parametri che sono alla base del comportamento delle piante in condizioni di bassi *input* energetici.

In questo contesto si inquadra anche una linea di attività in cui viene utilizzato il *biochar* come ammendante del suolo, per analizzare le "performance" di sviluppo e di crescita di alcune varietà nazionali di grano duro scelte per questa sperimentazione in quanto mostrano di per se rese già elevate oltre ad avere un impatto commerciale influente per le ditte sementiere italiane. Il *biochar* è un prodotto carbonifero stabile, dall'elevato contenuto di carbonio organico, prodotto da biomassa principalmente attraverso il processo di pirolisi con applicazioni in agricoltura sostenibile e conservativa. Date le caratteristiche intrinseche del *biochar* e le funzioni che può espletare di trattenimento dell'acqua e dei nutrienti nel suolo, di arricchimento della popolazione microbica del suolo, di sequestro del carbonio (e diverse altre), l'aggiunta di *biochar* ad un suolo rappresenta una strategia di coltivazione energeticamente efficiente. A seconda della materia prima (*feedstock*) d'origine, ma anche dei parametri di produzione come la temperatura *(Highest Treatment Temperature - HTT)* e la durata della pirolisi *(Furnace Residence Time - FRT),* le caratteristiche chimiche e fisiche del *biochar* possono variare notevolmente. Per questo motivo sono stati utilizzati dei *biochar* distinti ottenuti con la stessa procedura da *feedstock* differenti, in particolare un tipo da biomassa legnosa ed un altro tipo da biomassa agricola (paglia di grano). Sono stati messi a punto degli esperimenti preliminari allo scopo di eseguire un'analisi comparativa della performance produttiva di diverse varietà italiane di frumento duro cresciute in suolo arricchito con *biochar* (vedi Foto sotto riportate 7-13), esplorando la risposta della pianta sia dal punto di vista macroscopico attraverso l'osservazione fenotipica, la dinamica di sviluppo e di crescita (fenotipizzazione) e la rilevazione dei parametri fisiologici, sia dal punto di vista molecolare attraverso l'indagine sui profili di espressione dei geni coinvolti nella risposta della pianta alla presenza di *biochar* nel suolo.

<u>Piante</u>

Attualmente vengono eseguiti esperimenti sulle seguenti varietà:

V1	Levante
V2	Iride
V3	Meridiano
V4	Saragolla
V5	Grecale
V6	Maestrale
V7	Duilio
V8	Claudio
V9	Massimo Meridio
V10	Marco Aurelio
V11	Aureo

Da V1 a V6 fornite da Società produttori Sementi; da V7 a V10 fornite da Società Italiana Sementi, V11 fornita da Voiello.

B1	da feedstock legnoso
B2	da feedstock di paglia di grano

B1 fornito da Advanced Gasification Technologies S.r.l.; B1 e B2 forniti da Carbon Terra GmbH.

Foto 7: Varietà Aureo. Il gruppo di piante a sinistra contiene *biochar* 20% (w/w), il gruppo a destra contiene *biochar* 1% (w/w).

Foto 8 : Varietà Saragolla. A sinistra C- (no *biochar*), a destra *biochar* 30% (V/V).

Foto 9: Varietà Maestrale. A sinistra C- (no *biochar*), a destra *biochar* 30% (V/V).

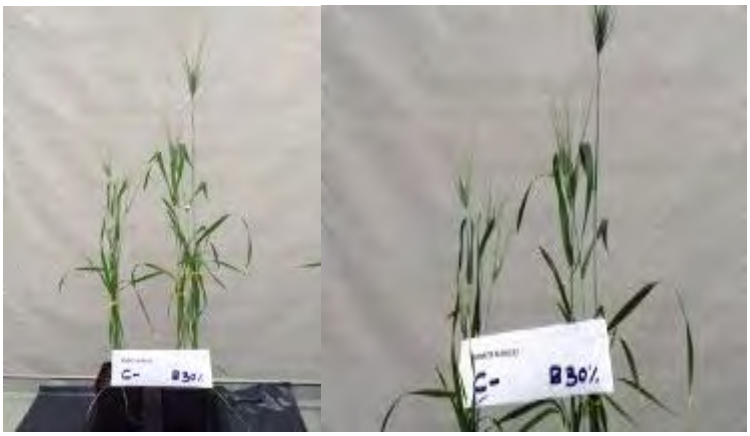


Foto 10: Varietà Marco Aurelio. A sinistra C- (no *biochar*), a destra *biochar* 30% (V/V).

Foto 11: Varietà Duilio. A sinistra C- (no *biochar*), a destra *biochar* 30% (V/V).

Foto 12: Varietà Meridiano (a sinistra) e Iride (a destra). In alto spighe *biochar* 30% (V/V), in basso spighe C- (no *biochar*).

Foto 13: Varietà Grecale. In alto spighe *biochar* 30% (V/V), in basso spighe C- (no *biochar*).

3 Conclusioni

L'attività progettuale ha contribuito a definire gli elementi strutturali e colturali per la realizzazione di coperture verdi di tipo estensivo e intensivo leggero per gli edifici. Le valutazioni climatiche in relazione ai prototipi di superfici verdi realizzati e sperimentati presso il Centro ENEA Casaccia hanno messo in evidenza, nel periodo considerato, una diminuzione della temperatura nell'intercapedine sotto la copertura dei substrati colturali. Questo fenomeno è particolarmente importante poiché sebbene le capacità termiche e di coibentazione delle pareti e coperture verdi siano note in letteratura, tuttavia i dati sono stati raccolti soprattutto in climi continentali o tropicali [8], [9]). E' da sottolineare che poiché le misure sono state effettuate nel periodo estivo 2014, risultato meteorologicamente caratterizzato da temperature inferiori a 30°C, su prototipi con una *canopy* allo stato iniziale che copriva il 39% ed il 7% della superficie disponibile, sono sicuramente necessarie ulteriori sperimentazioni per una valutazione definitiva e complessiva dei parametri biologici, climatici ed ambientali. In particolare, i prototipi vegetali realizzati, si dovrebbero confrontare in termini di arco temporale annuale nonché rispetto ad una *canopy* caratterizzata da uno sviluppo fogliare completo e, quindi, in grado di fornire la più elevata ombreggiatura vegetale sull'edificio. La scelta dei materiali vegetali e dei substrati colturali è stata finalizzata alla ricerca di soluzioni con un ridotto impatto sull'edificio, con capacità di coibentazione, di ritenzione idrica e di drenaggio in grado di assicurare idonee condizioni biologiche ed ambientali per la crescita di piante mediterranee. L'aggiunta di alcuni ammendanti naturali (*compos*t, *endomhycorrhizae*) ha avuto un effetto positivo sui primi stadi della pianta, tuttavia tali dati necessitano di conferme ulteriori soprattutto rispetto alle potenzialità di ombreggiatura sulle parti strutturali dell'edificio per consentire una valutazione dei flussi di calore che si vengono a stabilire tra la coltre vegetale e l'edificio sottostante. La ricerca ha permesso di individuare alcuni ecotipi con una buona capacità di agire come coltre vegetale. La disponibilità di dati relativamente alle specie di Crassulaceae mediterranee prese in considerazione è particolarmente importante in quanto la maggior parte delle sperimentazioni sul genere *Sedum* come ecotipo per verde estensivo si riferiscono a climi continentali [10]. I risultati ottenuti hanno messo in evidenza la necessità di ulteriori ricerche al fine di sviluppare una valutazione finale sui materiali vegetali, sui substrati e sugli effetti degli ammendanti (ricerca di un disciplinare di coltivazione efficiente per le coperture verdi).

4 Riferimenti bibliografici

1. C.A. Campiotti, R. Di Bonito, G. Giagnacovo, R. Colletta, M Scoccianti, C. Viola, "Eco-sistemi vegetali per l'efficienza energetica e il risparmio di energia negli edifici urbani", Report Ricerca di Sistema Elettrico, Settembre 2013.
2. Norma UNI 11235 Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde, Maggio 2007.
3. Delibera n. 1/2014 Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare-Comitato verde pubblico, Roma 14 Aprile 2014
4. D. Biagiotti, R. Di Bonito, G. Giagnacovo C. A. Campiotti, "Evaluation of plant species and sillessi substrates for mediterranean sustainable green roof installations", 11°International Phytotechnologies Conference, Heraklion, Crete, Greece, Sept. 30 – Oct. , 2014.

5. Guidelines for the Planning, “Construction and Maintenance of Green Roofing”, 2002, FLL, Bonn, Germania.
6. G. Giagnacovo, D. Biagiotti, R. Di Bonito, C. Mascioli, C. A. Campiotti, “Selezione di ecotipi spontanei di Crassulaceae in ambiente mediterraneo”, Atti del X Congresso Nazionale sulla Biodiversità” (Alba E, Benedetti A, Bucci G, Ciaccia C, Pacucci C, Pinzari F, Scarascia Mugnozza G eds), CNR (Roma, Italy) 3-5 Set 2014. Biodiversità Roma 3-5 Settembre.
7. R. Di Bonito, G. Giagnacovo, A. Latini, D. Biagiotti, C. Viola M.Canditelli, C. A. Campiotti, “Impact of the amendment with biochar on soiless substrates used for cultivation of *Sedum reflexum* in green roof technology”, 2° Mediterranean Biochar, Symposium Environmental Impact of Biochar and its role in green remediation , Palermo, January 2014.
8. K.l. Getter, D.B. Rowe, J.A. Andresen, I. S. Wienman, “Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern US climate”, 2011, Energy and Buiding 43:3548-57.
9. A. Shahariddin, M.H. Nrorazman and M.J.Yaokob, “ Green roof as best management practices for heat feduction”, 2010, Word Applied Science Journal 13:58-62.
10. Zheng Y and MJ Clark, “Optimal growing substrate pH for five sedum species”, 2013, HortScience 48:448-452.

5 Abbreviazioni ed acronimi

UHI: Urban Heat Island
VGS: Vertical Greenery System
GR: Green Roof
UNI: Ente Nazionale Italiano di Unificazione
Soil-less: substrato Senza-suolo
CAM: Crassulacean Acid Metabolism
UTAMB-RIF: Unità Tecnica Tecnologie Ambientali laboratorio gestione rifiuti
UTEE: Unità Tecnica Efficienza Energetica
HTT: Highest Treatment Temperature
FRT: Furnace Residence Time