



Ricerca di Sistema elettrico

Effetti delle superfici vegetali sulla radiazione solare incidente e sugli scambi gassosi

Ripa M. N., Muleo R., Recanatesi F., Mancinelli R., Ruzzi M.



DAFNB
Dipartimento di
scienze Agrarie e
Forestali

EFFETTI DELLE SUPERFICI VEGETALI SULLA RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE E SUGLI SCAMBI GASSOSI

Ripa M. N., Muleo R., Recanatesi F., Mancinelli R., Ruzzi M. (Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: Tecnologie "green" per gli edifici

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Analisi e sviluppo degli effetti delle coperture vegetali sul condizionamento microclimatico degli edifici*"

Responsabile scientifico ENEA: Carlo Alberto Campiotti

Responsabile scientifico Prof. Maria Nicolina Ripa

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA SPERIMENTALE.....	5
2.2 ANALISI DEI DATI METEOROLOGICI	8
2.2.1 <i>Parete sud-ovest</i>	8
2.2.2 <i>Parete sud-est</i>	17
2.3 VALUTAZIONE DELL'ACCRESIMENTO DELLE PIANTE.....	20
2.3.1 <i>Valutazione dell'accrescimento delle piante mediante riprese fotografiche</i>	21
2.3.2 <i>Valutazione dell'accrescimento delle piante mediante misure dirette</i>	31
A. PRIMO PIANO DELL'EDIFICIO.....	31
B. SECONDO PIANO DELLA PARETE DELL'EDIFICIO.	33
3 CONCLUSIONI.....	42
4 BIBLIOGRAFIA.....	43

Sommario

Le pareti verdi rappresentano una delle strategie utilizzabili per la mitigazione delle isole di calore urbane (UHI) e per il miglioramento delle prestazioni dei fabbricati in risposta al riscaldamento globale. Presso il centro di ricerca ENEA La Casaccia è stata realizzata una struttura sperimentale finalizzata a verificare l'efficacia delle pareti verdi nel migliorare il grado di confort all'interno di un edificio grazie all'effetto di ombreggiamento e di intercettazione della radiazione incidente determinato dalle piante che costituiscono la struttura verde.

Il lavoro svolto dall'Unità Operativa Unitus-Dafne ha riguardato principalmente la valutazione dell'accrescimento di alcune piante evidenziandone lo sviluppo dimensionale ed il modello spaziale di crescita. Lo studio dell'accrescimento è stato svolto sia attraverso l'analisi di riprese fotografiche, sia attraverso misure dirette della crescita e del LAI (Leaf Area Index).

In entrambi i casi in questo primo anno di sperimentazione sono stati ottenuti risultati soddisfacenti nonostante la limitata disponibilità di dati dovuta al limitato sviluppo delle piante. Sono state ottenute importanti indicazioni sullo sviluppo della chioma, non solo dal punto di vista del tasso di crescita e del grado di copertura della parete, ma anche dal punto di vista delle modalità di crescita evidenziando le configurazioni spaziali di sviluppo della chioma. È stata inoltre eseguita un'analisi dei parametri meteorologici monitorati attraverso l'apparato sperimentale. Sebbene si tratti di risultati preliminari, si evidenzia una capacità di intercettazione della radiazione globale da parte delle piante presenti pari a circa il 75% nei mesi estivi. Questo conduce ad una riduzione della temperatura della superficie dell'edificio rispetto alla superficie esterna alla parete verde, pari a circa 4°C nel periodo e nelle ore più calde della giornata.

L'attività di indagine fin qui svolta costituisce un primo passo per la valutazione dell'efficacia delle diverse specie vegetali nell'attenuare la radiazione solare, svolgendo quindi un ruolo di riduzione delle temperature delle superfici esposte al soleggiamento e, conseguentemente di incremento della resilienza al cambiamento climatico.

Introduzione

Le pareti verdi rappresentano una delle strategie utilizzabili per la mitigazione delle isole di calore urbane (UHI) e per il miglioramento delle prestazioni dei fabbricati in risposta al riscaldamento globale. Presso il centro di ricerca ENEA La Casaccia è stata realizzata una struttura sperimentale finalizzata a verificare l'efficacia delle pareti verdi nel migliorare il grado di confort all'interno di un edificio grazie all'effetto di ombreggiamento e di intercettazione della radiazione incidente determinato dalle piante che costituiscono la struttura verde.

L'efficacia nell'intercettazione della radiazione solare da parte delle diverse specie vegetali dipende principalmente dallo sviluppo delle chiome e dal loro portamento. In questa sperimentazione il lavoro svolto dall'Unità Operativa Unitus-Dafne ha riguardato principalmente la valutazione dell'accrescimento di alcune piante caratterizzandone lo sviluppo dimensionale ed il modello spaziale di crescita. Questo può essere messo in relazione con la funzioni di ombreggiamento svolta dalle chiome e conseguentemente con la riduzione della radiazione incidente sulle pareti verticali ed incidere positivamente sulla temperatura raggiunta dalle pareti dell'edificio.

L'analisi è stata condotta su piante della specie *Trachelospermum jasminoides* messe a dimora all'interno di contenitori situati su entrambe le facciate della struttura sperimentale.

1 Descrizione delle attività svolte e risultati

1.1 Descrizione della struttura sperimentale

L'apparato sperimentale è situato presso il centro di ricerca ENEA La Casaccia. L'edificio ha un orientamento Nord Est-Sud Ovest e le pareti attrezzate sono rivolte a Sud Est e a Sud Ovest.(Fig. 1)



Figura 1. Pianta dell'edificio e parete sperimentale

Le pareti sperimentali sono costituite da una intelaiatura metallica posta ad una distanza di **0,50 m** dalle pareti dell'edificio costituendo una sorta di intercapedine. La parete di Sud Est ha dimensioni 8,66 m x 9,14 m e ospita 6 piante, due delle quali appartenenti alla specie *Trachelospermum jasminoides* al piano terra messe a dimora in vasi delle dimensioni di circa 0,8 m . Un identico numero di piante è posto al primo piano. La parete Sud Ovest ha dimensioni 4,2 m x 9,14 m ed ospita 2 piante per ciascun piano.

Per il monitoraggio dei diversi parametri è stato predisposto un apparato sperimentale costituito da radiometri per la misura della radiazione solare globale e sensori per la misura di PAR (Photosynthetic Active Radiation), temperatura dell'aria, temperatura fogliare e della parete sia all'esterno sia all'interno della parete verde. La disposizione di sensori è descritta nella figura 2. Inoltre sulla sommità della struttura sperimentale è situata una capannina meteorologica. Sulla parete di Sud Est sono state eseguite misure puntuali relative alla PAR misurata all'esterno e all'interno della chioma ad una altezza di 0,5 e 1,2 m dal colletto, mediante un ceptometro.



ENEA Casaccia - CASA DELLE ENERGIE

STAZIONE METEO



ENEA Casaccia - CASA DELLE ENERGIE

DISPOSIZIONE SENSORI PARETE



Nota:

i sensori di temperatura superficiale muratura interno edificio denominati **TS2, TS4 e TS6**, e i due tubi di prelievo aria per le misure di CO_2 e O_2 nella vegetazione, non sono stati ancora posizionati.

Fig. 2: Posizione dei sensori e capannina meteorologica

1.2 Analisi dei dati meteorologici

Sono stati analizzati i dati relativi ai parametri misurati dai diversi sensori distinti in base alla diversa disposizione vale a dire se riferiti alla parete di sud-ovest o alla parete di sud est in virtù della diversa esposizione.

1.2.1 Parete sud-ovest

Con riferimento alla parete esposta a sud-ovest sono stati analizzati in particolare i dati relativi alla radiazione solare globale e alla PAR .

L'andamento complessivo dei dati nel periodo 1 gennaio - 30 novembre 2017 è illustrato nei grafici di figura 3 e 4. Va ricordato che nel periodo settembre - novembre, a causa di un malfunzionamento dell'apparato di monitoraggio, i dati sono incompleti o mancanti del tutto; inoltre, in corrispondenza degli orari di assenza di sole, vengono registrati valori negativi della radiazione solare globale, probabilmente a causa di un non corretto funzionamento del radiometro.

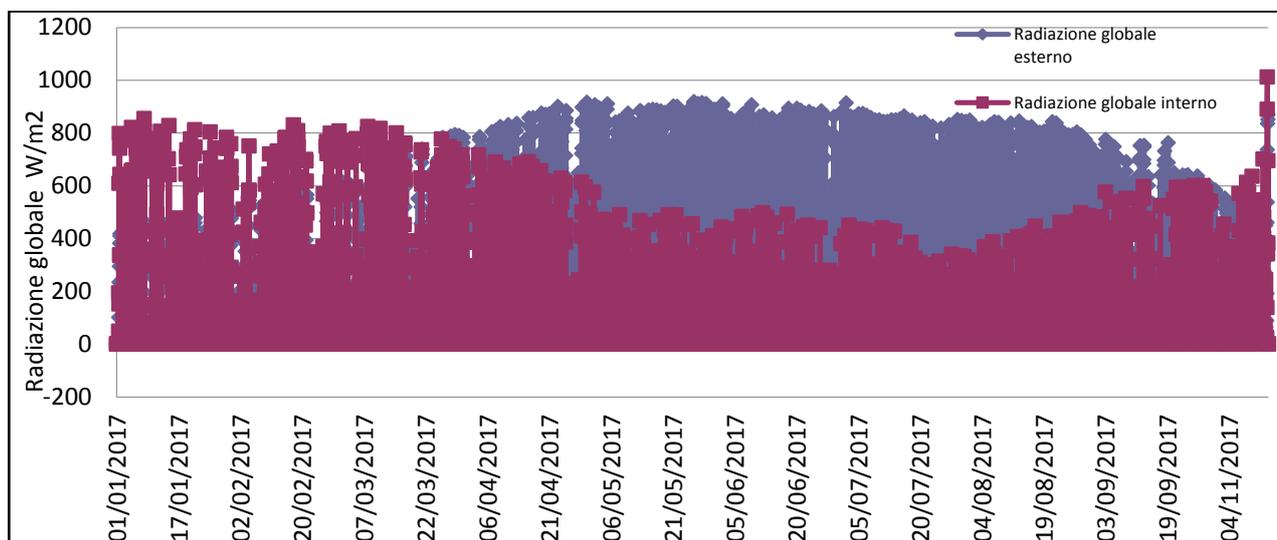


Fig. 3: Radiazione globale giornaliera nel periodo marzo-novembre 2017

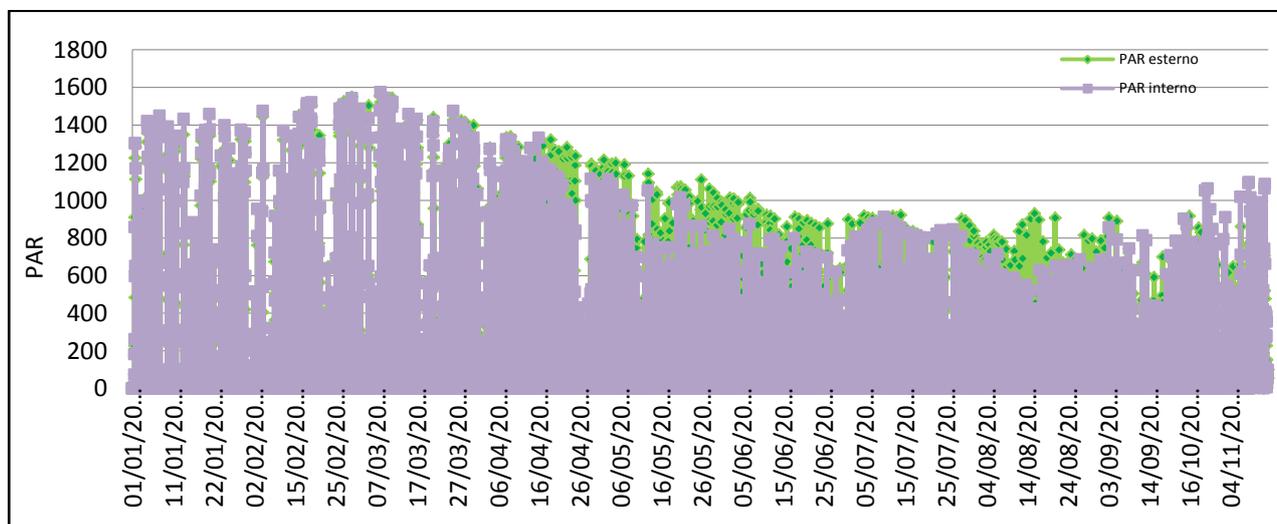
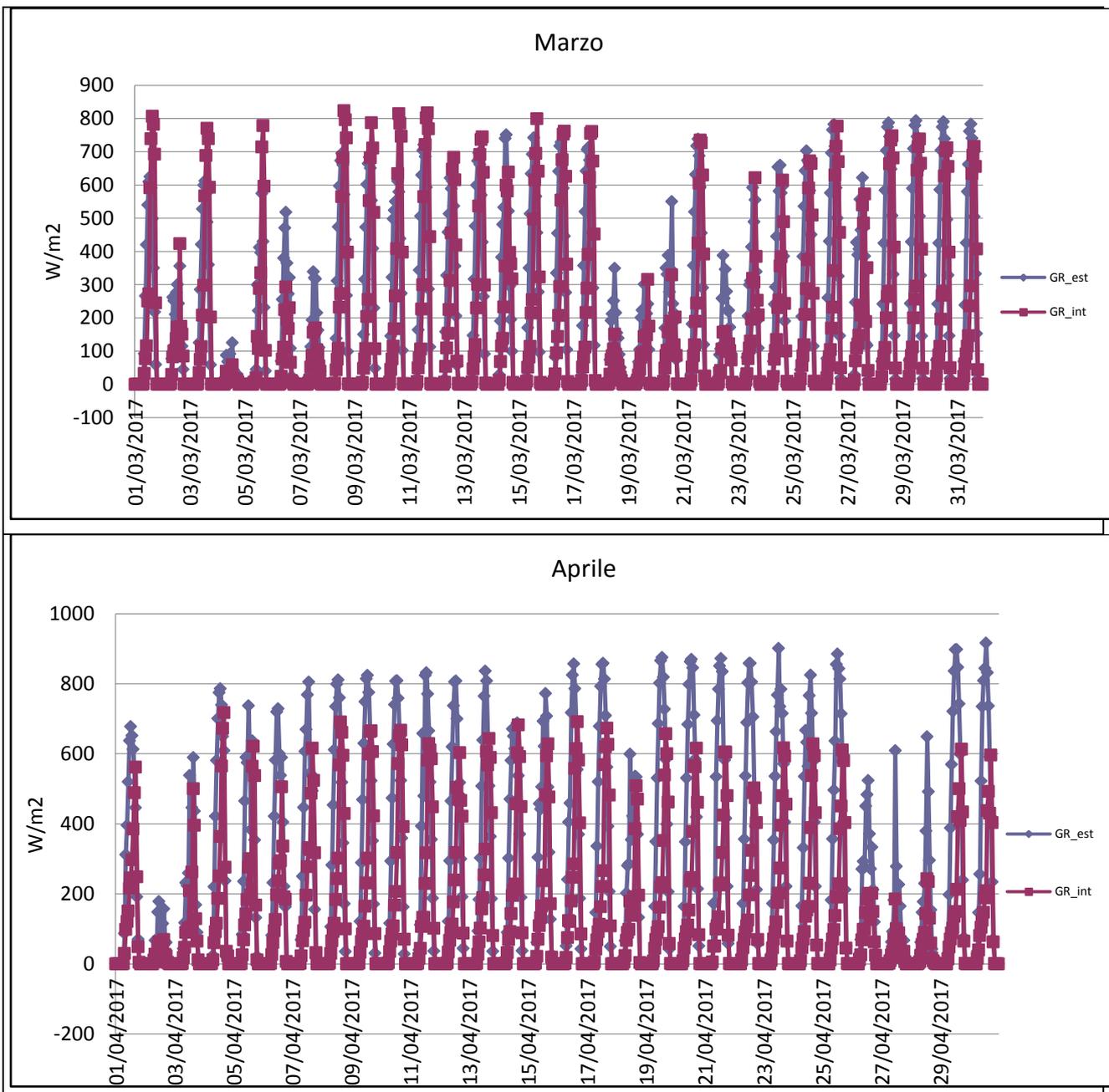
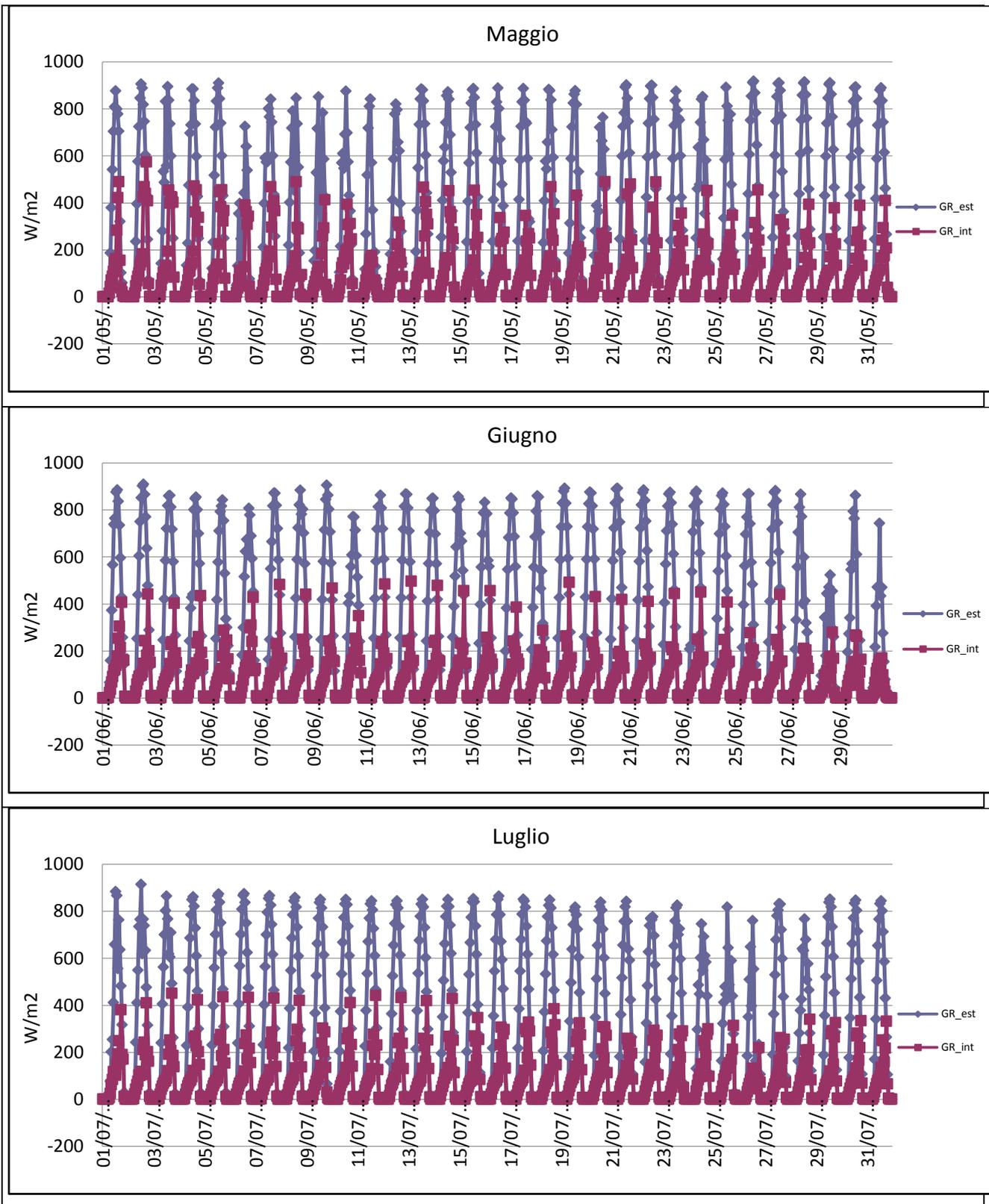


Fig. 4: Andamento della PAR nel periodo marzo-novembre 2017

Per una migliore comprensione dell'andamento dei dati di radiazione (globale e PAR) nei grafici successivi è riportato l'andamento su base mensile (figg. 5-6). Dall'esame dei grafici si può osservare che i valori di radiazione misurati all'esterno dell'intercapedine metallica risultano inferiori a quelli misurati nella parte interna in alcuni giorni del periodo considerato evidenziando probabilmente una anomalia nel funzionamento dei radiometri. Si osserva inoltre, soprattutto nel primo mese di osservazione, una forte oscillazione dei valori misurati.





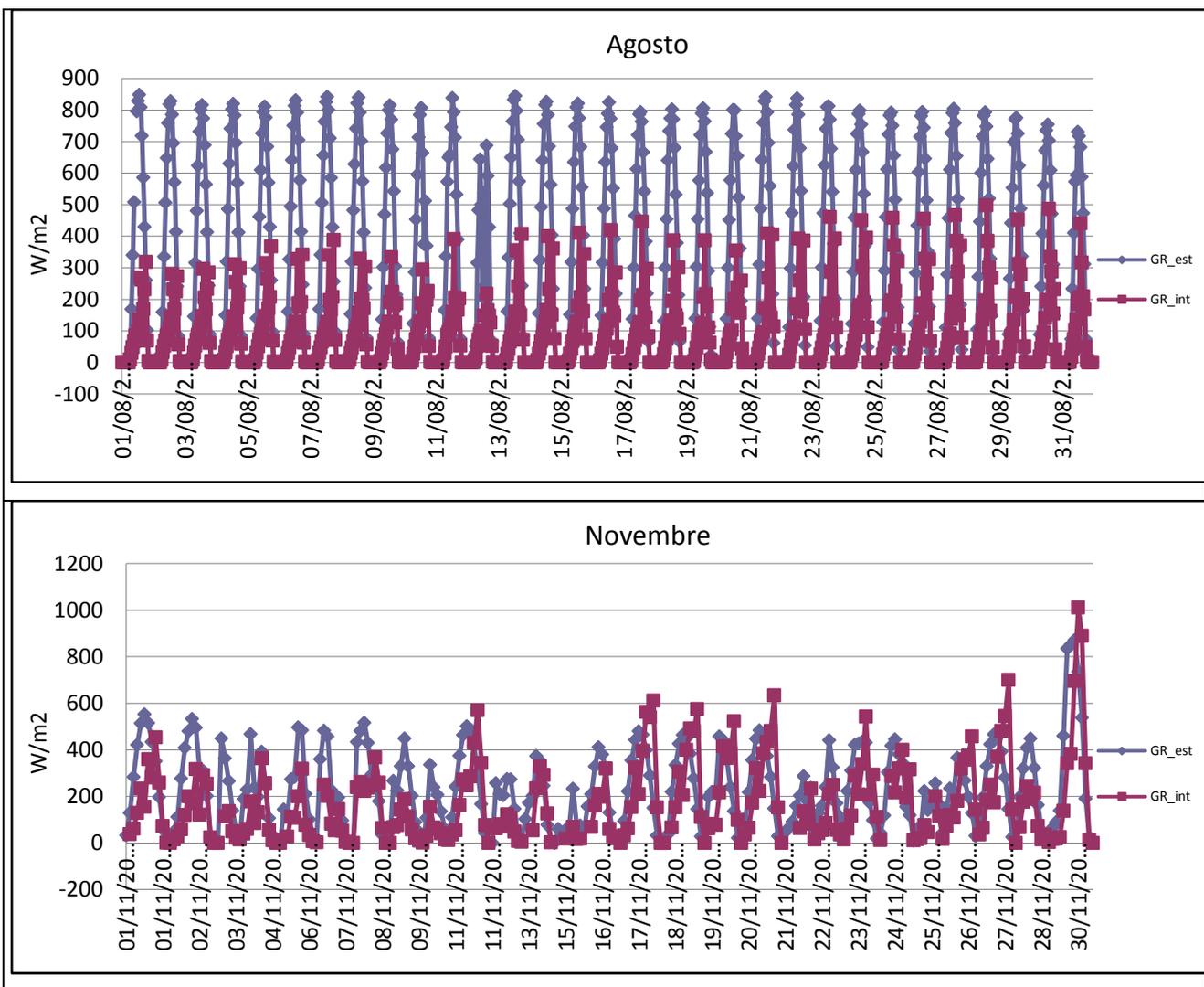
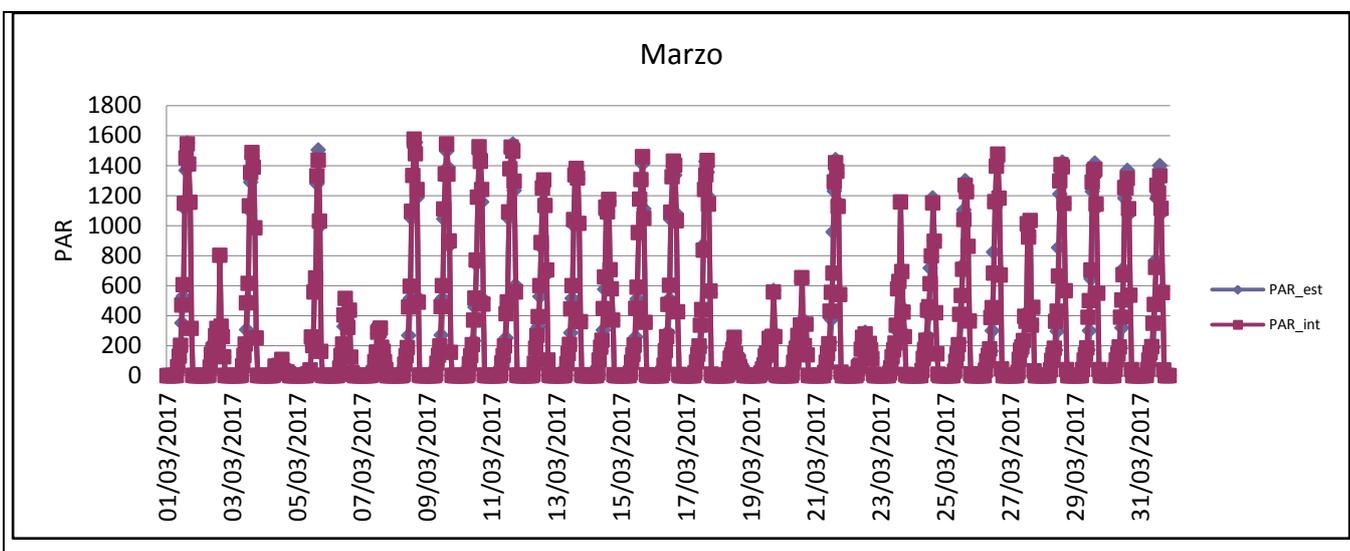
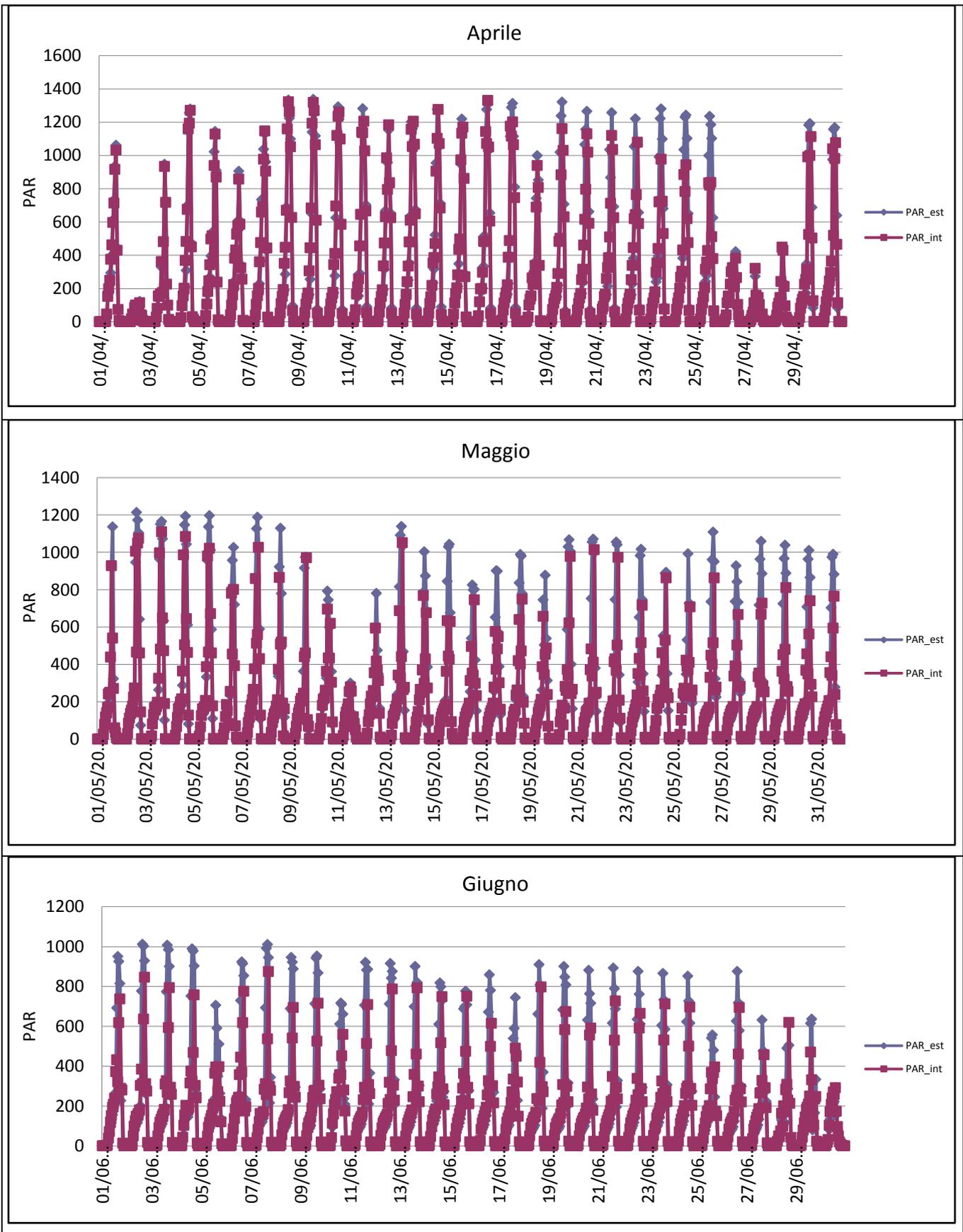


Fig. 5: Radiazione globale giornaliera nel periodo marzo-novembre 2017





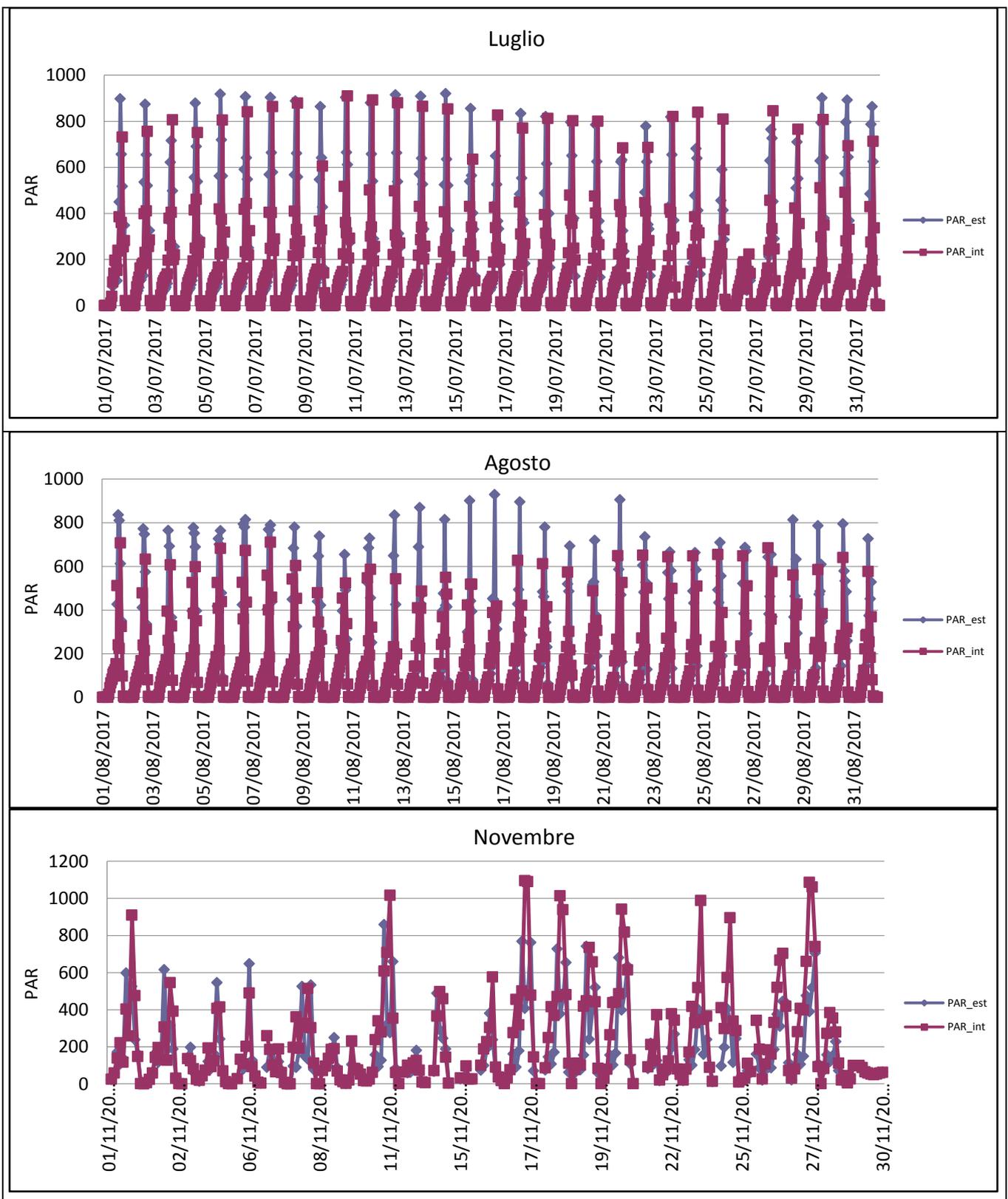


Fig. 6: Andamento della PAR nel periodo marzo-novembre 2017

Maggiori informazioni possono essere ottenute dall'analisi dei dati medi giornalieri di radiazione globale; la ricostruzione dell'andamento del giorno tipo ha dato risultati soddisfacenti in linea con i dati

disponibili per località dalle caratteristiche simili. I grafici mensili sono riportati nell'appendice (figg. A1-A2). In fig. 7 sono invece riportati gli andamenti della radiazione globale media giornaliera per l'intero periodo marzo-novembre 2017.

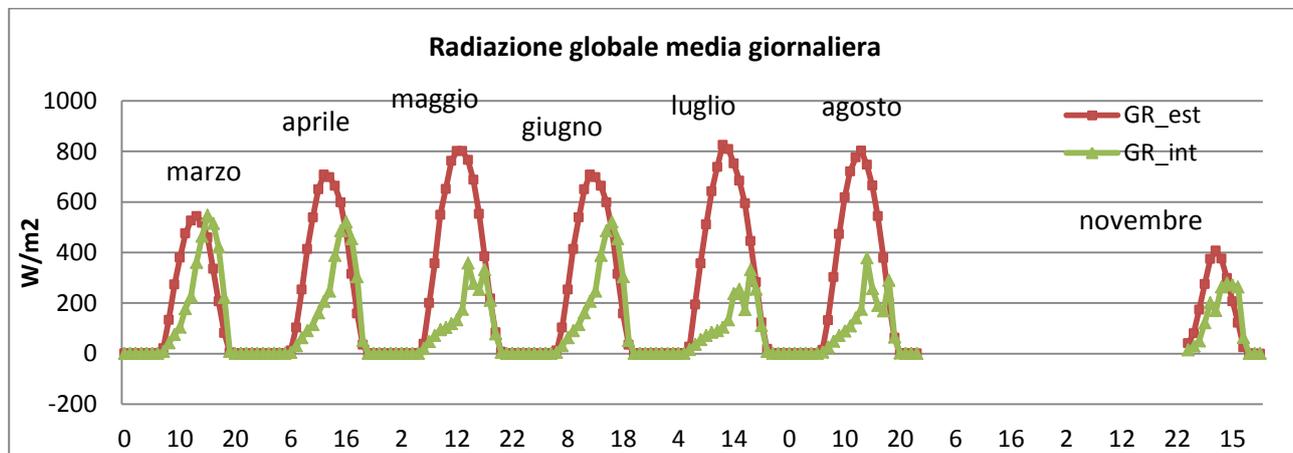


Fig. 7: Andamento della radiazione globale media

Non è invece efficace la valutazione dell'indice di attenuazione della radiazione (espresso come rapporto tra la radiazione misurata all'interno dell'intercapedine e la radiazione misurata all'esterno GR_{int}/GR_{est}): la presenza di valori negativi o di valori anomali ne determina eccessive oscillazioni (fig. 8).

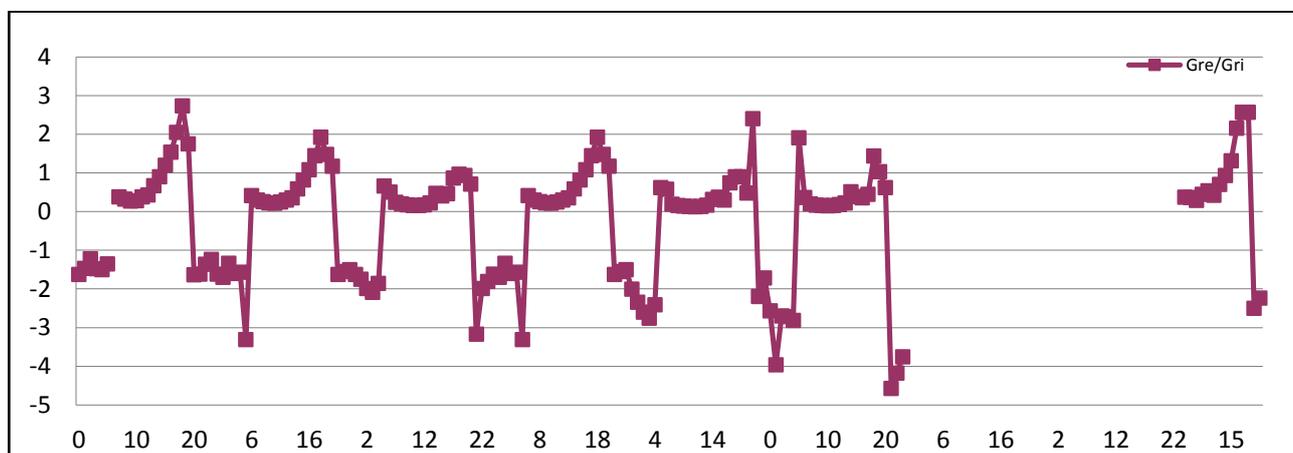


Fig. 8: Indice di attenuazione della radiazione globale

Per quanto riguarda la PAR, la media mensile del dato giornaliero non riesce a smussare le anomalie del dato puntuale; i valori rilevati all'esterno della parete verde sono nella gran parte dei casi molto simili a quelli rilevati all'interno ed in corrispondenza dei picchi giornalieri risultano addirittura inferiori (fig. 9).

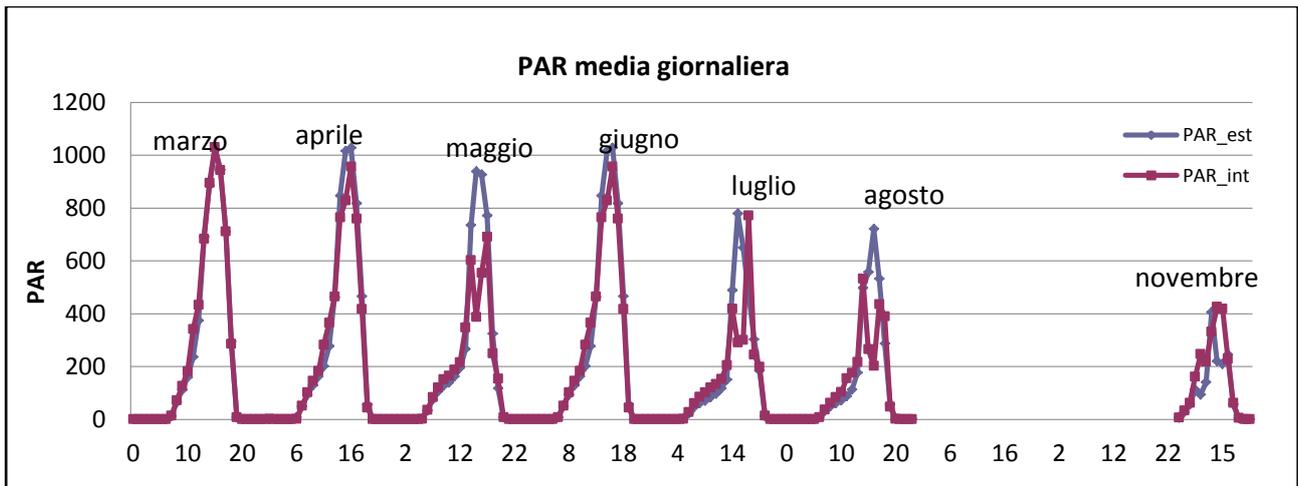


Fig. 9: Andamento della PAR media giornaliera

Conseguentemente anche l'indice di attenuazione della PAR (espresso come rapporto tra la PAR misurata all'interno dell'intercapedine e la PAR misurata all'esterno) presenta valori molto prossimi o addirittura superiori a 1 (fig. 10) indicando l'assenza di un'attenuazione della radiazione per effetto dell'ombreggiamento da parte della coltre vegetale.

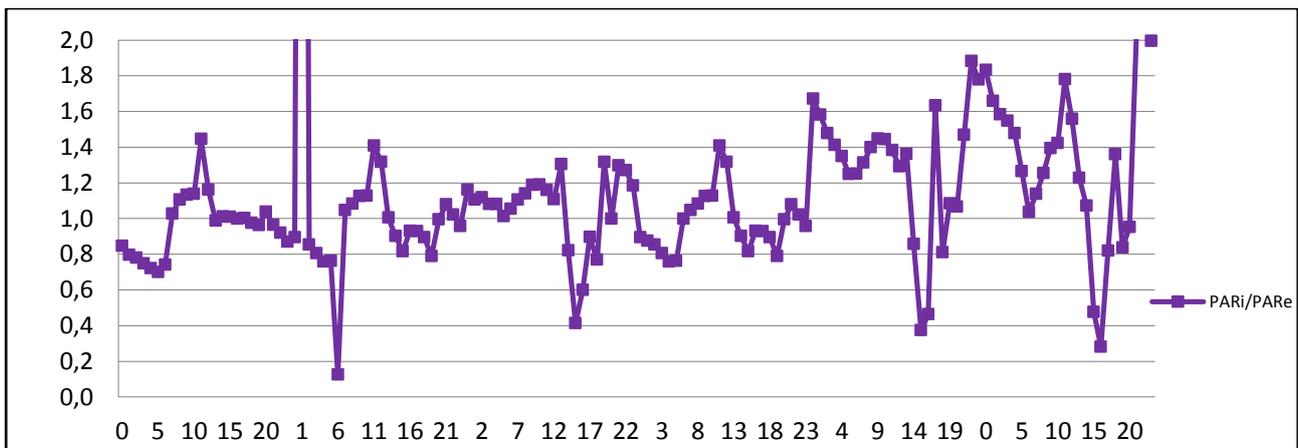


Fig. 10: Indice di attenuazione della PAR media giornaliera

Maggiori informazioni sono ottenibili dalla valutazione dei flussi totali di radiazione giornalieri, sia globale sia riguardanti la PAR. Il dettaglio mensile è mostrato nelle figg. A3 e A4 riportate in appendice. I dati ottenuti sono in linea con quelli disponibili per località dalle stesse caratteristiche. Anche in questo caso, si osservano delle ampie oscillazioni nel mese di marzo 2017 mentre nei periodi successivi i valori misurati assumono un andamento regolare.

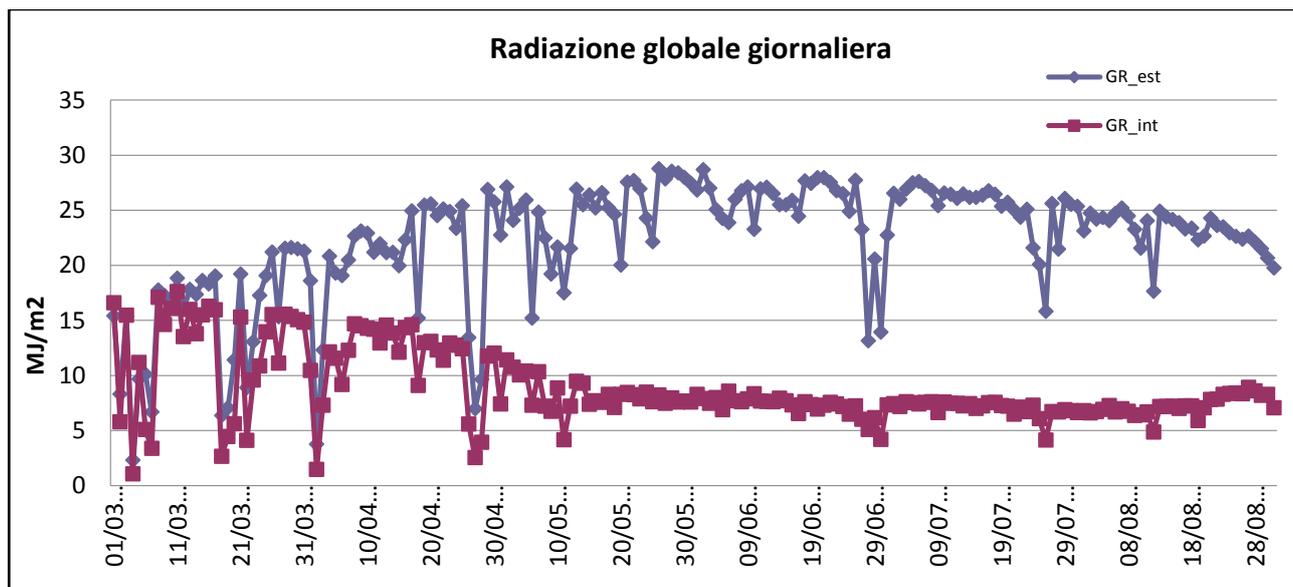


Fig. 11: Radiazione globale totale giornaliera

I dati relativi alla radiazione globale totale giornaliera misurata nell'intero periodo sono riassunti nella figura 11 che consente di osservarne l'andamento stagionale che tende ovviamente ad aumentare con i mesi estivi e a decrescere a partire dal mese di agosto. Si evidenzia inoltre l'andamento decrescente della radiazione globale misurata all'interno della parete verde, effetto dovuto all'incremento dell'effetto di ombreggiamento della superficie dell'edificio da parte delle piante che si sviluppano sulla struttura metallica. L'effetto di ombreggiamento è testimoniato dall'andamento dell'indice di attenuazione della radiazione globale mostrato nel grafico di fig. 12 che raggiunge valori pari a circa 0,25 nel periodo luglio -agosto .

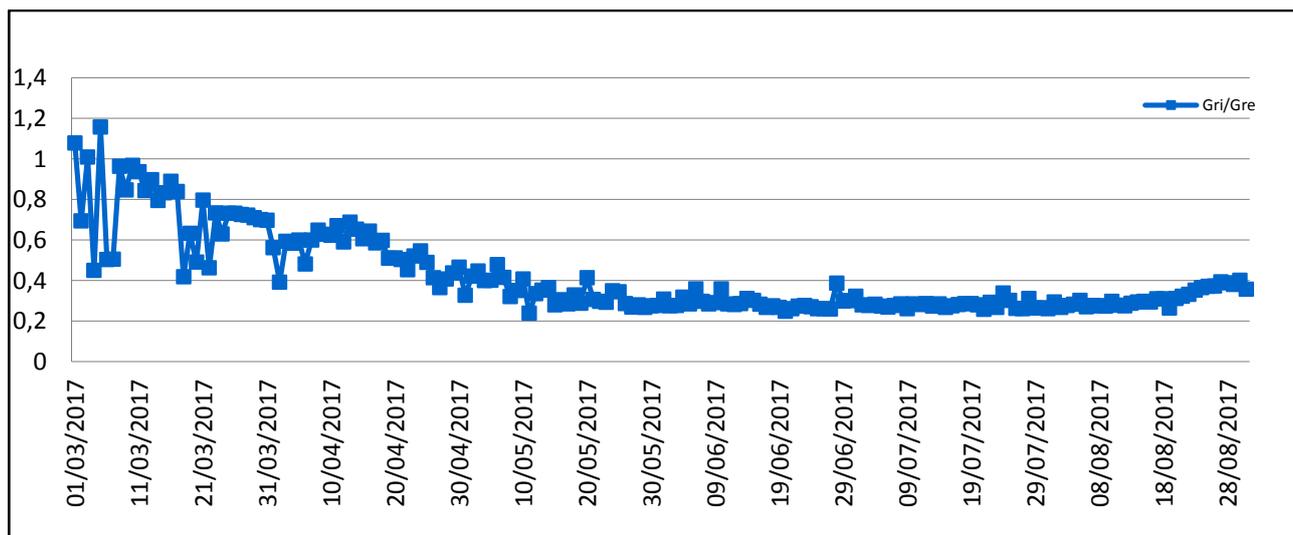


Fig. 12: Indice di attenuazione della radiazione globale totale giornaliera

Per quanto riguarda la frazione PAR misurata nel periodo marzo –agosto, i dati dell'intero periodo sono mostrati nella figura 13. Anche in questo caso si osservano delle ampie oscillazioni nel mese di marzo ed i valori misurati all'esterno dell'intercapedine si mantengono inferiori a quelli misurati

all'interno fino alla metà del mese di aprile. Nel periodo successivo invece i valori si assumono un andamento più regolare nel complesso decrescente

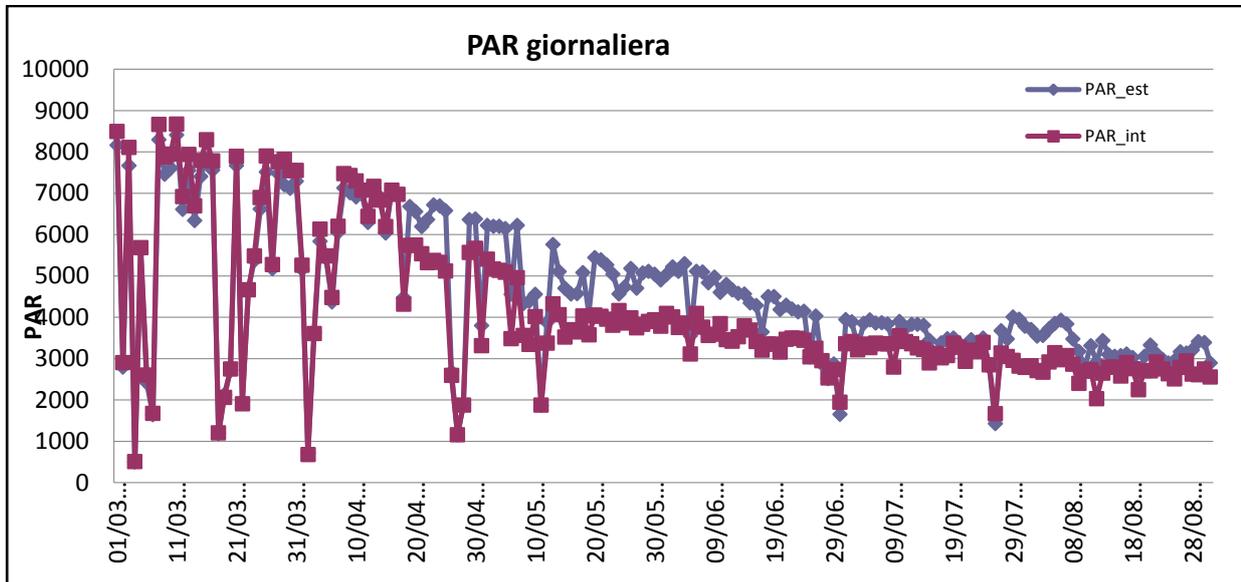


Fig. 13: PAR totale giornaliera

L'indice di attenuazione della PAR, riportato nel grafico di fig. 14 descrive infatti questo andamento pur mostrando valori elevati che evidenziano una scarsa attenuazione di questa componente della radiazione da parte della parete ombreggiante.

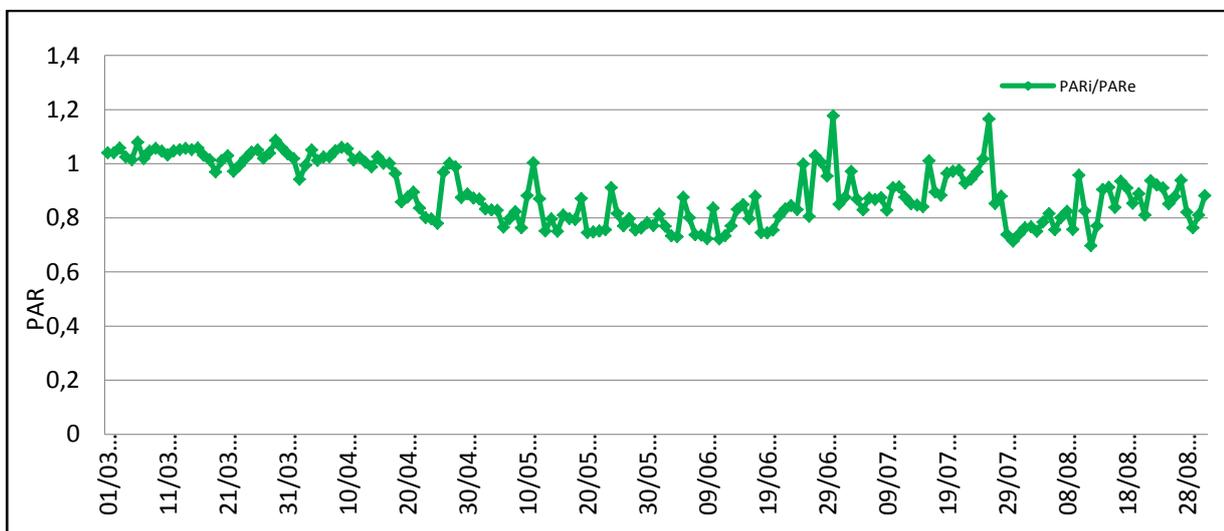


Fig. 14: Indice di attenuazione della PAR totale giornaliera

1.2.2 Parete sud-est

Sono stati analizzati i dati relativi alla PAR (Photosynthetic Active Radiation) misurata al di fuori (PAR est) e all'interno (PAR int) della chioma nonché i dati relativi al LAI per ciascun rilievo effettuato nel periodo agosto- ottobre 2017. Nel presente rapporto sintetico sono presentati in dettaglio i risultati delle analisi statistiche descrittive eseguite sulle serie di dati relative alla Pianta 1 situata al primo piano della struttura sperimentale. Analoghe analisi sono state eseguite per tutte le misure effettuate.

	PAR esterno		PAR interno	
	Statistica	Errore std	Statistica	Errore std
Media	1740,870	101,514	847,270	73,487
95% di intervallo di confidenza per la media	Limite inferiore		689,650	
	Limite superiore		1004,880	
Media ritagliata al 5%	1781,850		858,800	
Mediana	1847,000		893,000	
Deviazione std.	393,163		284,613	
Coefficiente variazione	0,124		0,266	
Minimo	544,000		231	
Massimo	2200,000		1256	

Tabella 1. Statistiche descrittive per le variabili PAR esterno e interno

La tabella 1 ed i grafici di figura 15 riportano i risultati delle analisi statistiche relative alla PAR esterno e interno.

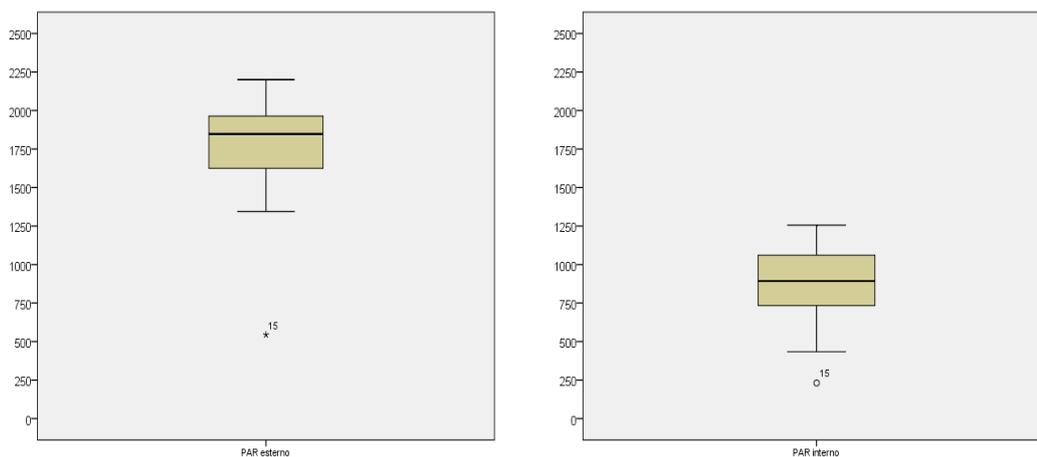


Figura 15. Box plot relativo alle variabili PAR esterno e interno

LAI		Statistica	Errore std
Media		1.273	0.155
95% di intervallo di confidenza per la media	Limite inferiore	0.941	
	Limite superiore	1.605	
Media ritagliata al 5%		1.208	
Mediana		1.060	
Deviazione std.		0.600	
Coefficiente variazione		0,464	
Minimo		0.720	
Massimo		3.010	

Tabella 2. Statistiche descrittive per la variabile LAI

Le analisi effettuate evidenziano la presenza di valori anomali nella serie in entrambi i casi corrispondenti alla misura effettuata il 31/10. Si tratta di valori molto bassi nella radiazione incidente solo in parte compatibili con uno scarso soleggiamento.

Per quanto riguarda il LAI i risultati delle statistiche sono riportati nella tabella 2.

Il dato della copertura della parete attuata dalla pianta, e misurabile tramite la sua superficie fogliare, presenta un andamento costante, fatta eccezione per i rilievi 1 e 4 effettuati in data 2/08 e 11/08, come è osservabile nella figura 16.

La cause di questa estrema variazione potrebbero essere attribuite oltre che ad errori nella misura, ad addensamenti della chioma per la superficie individuata. Questa ultima ipotesi, tuttavia non trova conferma nell'andamento della attenuazione della radiazione incidente, misurata come rapporto tra la differenza tra la radiazione incidente e la assorbita, riflessa e rifratta dalla superficie fogliare e la radiazione incidente.

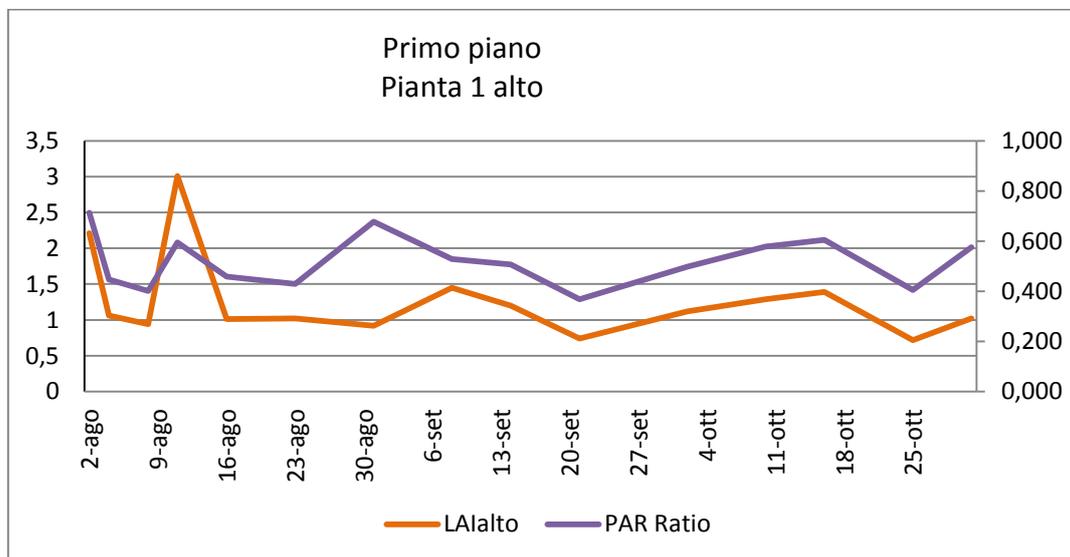


Figura 16. Andamento del LAI e dell'intercettazione della radiazione

I valori del LAI presentano una oscillazione molto elevata durante il periodo di misurazione, come si può desumere dai valori della Dev. St. (0,600) e del CV (0,471). L'analisi della distribuzione dei valori indica che i valori del primo rilievo e del quarto rilievo come outlier (Fig. 17); inoltre tali valori sono discordanti con i dati della radiazione attenuata.

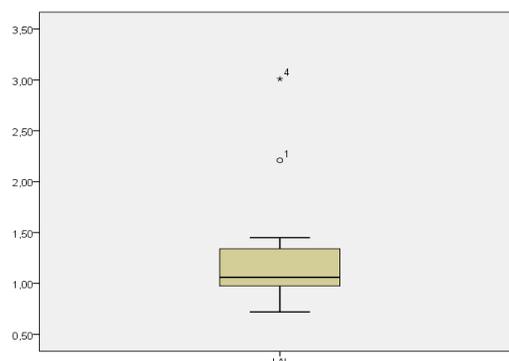


Figura 17 Box plot relativo alla variabile LAI

Per quanto riguarda la radiazione attenuata essa presenta un andamento significativamente costante come si evince dai bassi valori del coefficiente di variazione e dall'analisi della distribuzione dei valori. I risultati delle statistiche calcolate sono riportati nella tabella 3 e nella figura 18.

1-PAR int/PAR est	Statistica	Errore std
Media	0,519	0,0267
95% di intervallo di confidenza per la media	Limite inferiore	0,462
	Limite superiore	0,576
Media ritagliata al 5%	0,5176	
Mediana	0,507	
Varianza	0,011	
Deviazione std.	0,103	
Coefficiente variazione	0,201	
Minimo	0,370	
Massimo	0,710	

Tabella 3. Statistiche descrittive per la variabile 1- PAR est/Par int

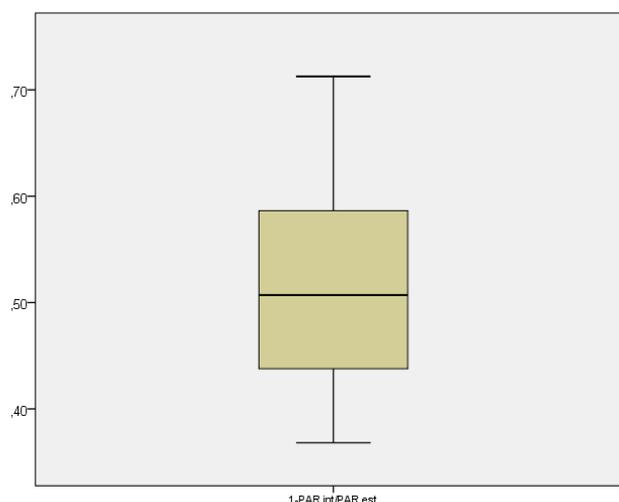


Figura 18. Box plot della Radiazione attenuata relativa (1-PAR est/Par int)

1.3 Valutazione dell'accrescimento delle piante

L'accrescimento delle piante è stato valutato sia attraverso lo studio dello sviluppo della superficie occupata progressivamente sulla struttura sperimentale mediante riprese fotografiche, sia attraverso misure dirette della lunghezza degli steli e misure di Leaf Area Index (LAI) eseguite sulle piante situate nella parete sud-est.

1.3.1 Valutazione dell'accrescimento delle piante mediante riprese fotografiche

Lo sviluppo delle piante è stato valutato attraverso interpretazione di foto scattate nel periodo marzo novembre 2017 relativamente alla parete esposta a sud-ovest.

Le foto sono state scattate con una camera standard non fotogrammetrica. Trattandosi di immagini riprese con tecniche non professionali, presentano errori di parallelismo del piano del sensore rispetto al piano di riferimento (facciata del fabbricato); inoltre non sono centrali rispetto al piano di riferimento. Per rendere planari le immagini e trasformarle in rappresentazioni metriche, utilizzabili cioè per estrarre misure e distanze è stata utilizzata una procedura di raddrizzamento di tipo analitico, utilizzando punti e distanze noti. La procedura di raddrizzamento è stata eseguita utilizzando un software GIS usualmente impiegato per la georeferenziazione e l'ortorettifica di immagini fotogrammetriche ma che in questo tipo di applicazione ha fornito risultati soddisfacenti. L'algoritmo di proiezione utilizzato è di tipo proiettivo, il metodo di interpolazione di tipo lineare ed il metodo di ricampionamento di tipo "nearest neighbour". I punti di controllo utilizzati sono stati in misura variabile a seconda della qualità di partenza della foto. La superficie di riferimento utilizzata per il raddrizzamento è rappresentata dal prospetto del fabbricato (Fig. 19).

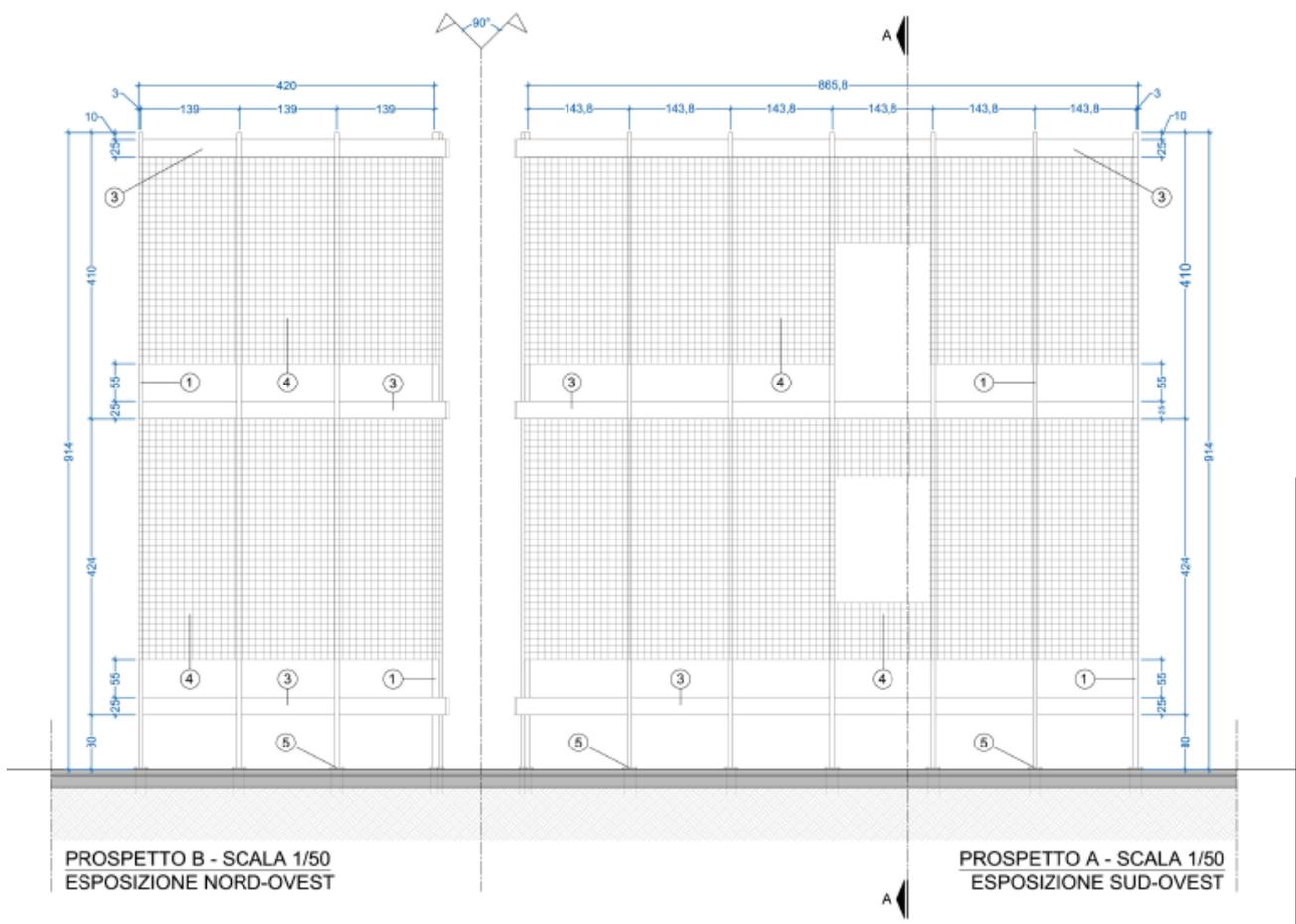


Figura 19 Prospetto del fabbricato e della parete sperimentale

I risultati del raddrizzamento sono stati soddisfacenti nella maggior parte dei casi presentando errori al di sotto dei 20 pixel. Nella figura 20 sono mostrati i risultati delle elaborazioni effettuate sulle immagini riprese nel periodo marzo-novembre 2017.



31 marzo 2017



21 aprile 2017





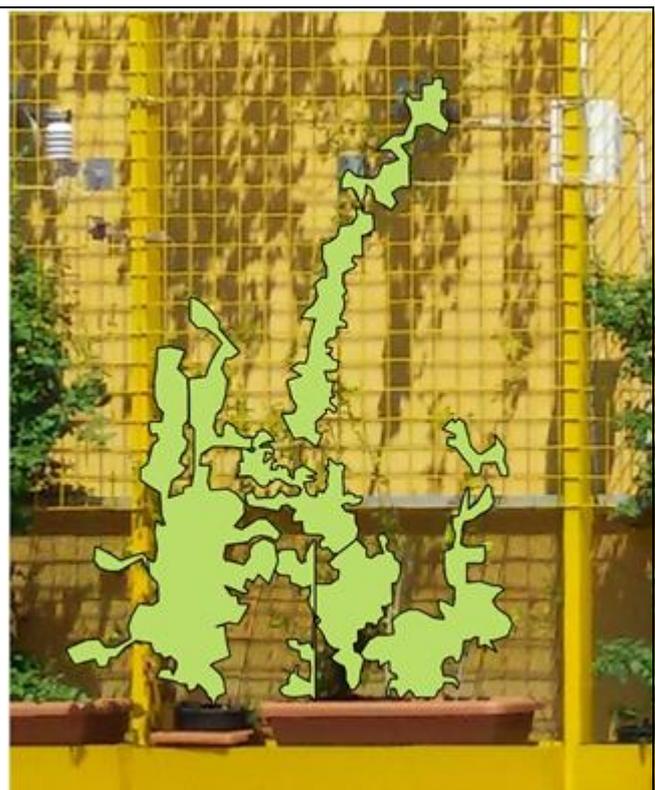
Figura 20 Immagini fotografiche della parete sud-ovest “raddrizzate”

Dalle immagini così trasformate è stato possibile ottenere la misura della superficie progressivamente occupata dalla pianta. Le piante ad oggi considerate appartengono alla specie *Trachelospermum jasminoides* e sono situate nella parte bassa a destra della parete sperimentale. La serie di dati a disposizione è ancora piuttosto limitata, tuttavia le immagini analizzate a cadenza mensile forniscono un buon quadro complessivo dell’andamento dello sviluppo delle piante e delle superfici via via occupate. I risultati di queste misurazioni sono riportati nella figura 21 e nella successiva tabella 4.

Nel mese di maggio una della piante è stata rimossa e sostituita con altra appartenente alla specie *Parthenocissus tricuspidata*. A seguito di ciò si evidenzia un rallentamento dell’accrescimento della pianta adiacente (pianta 1) evidenziato nelle immagini, ma di più facile lettura attraverso i grafici seguenti.



31 marzo 2017



21 aprile 2017



11 maggio 2017



6 giugno 2017

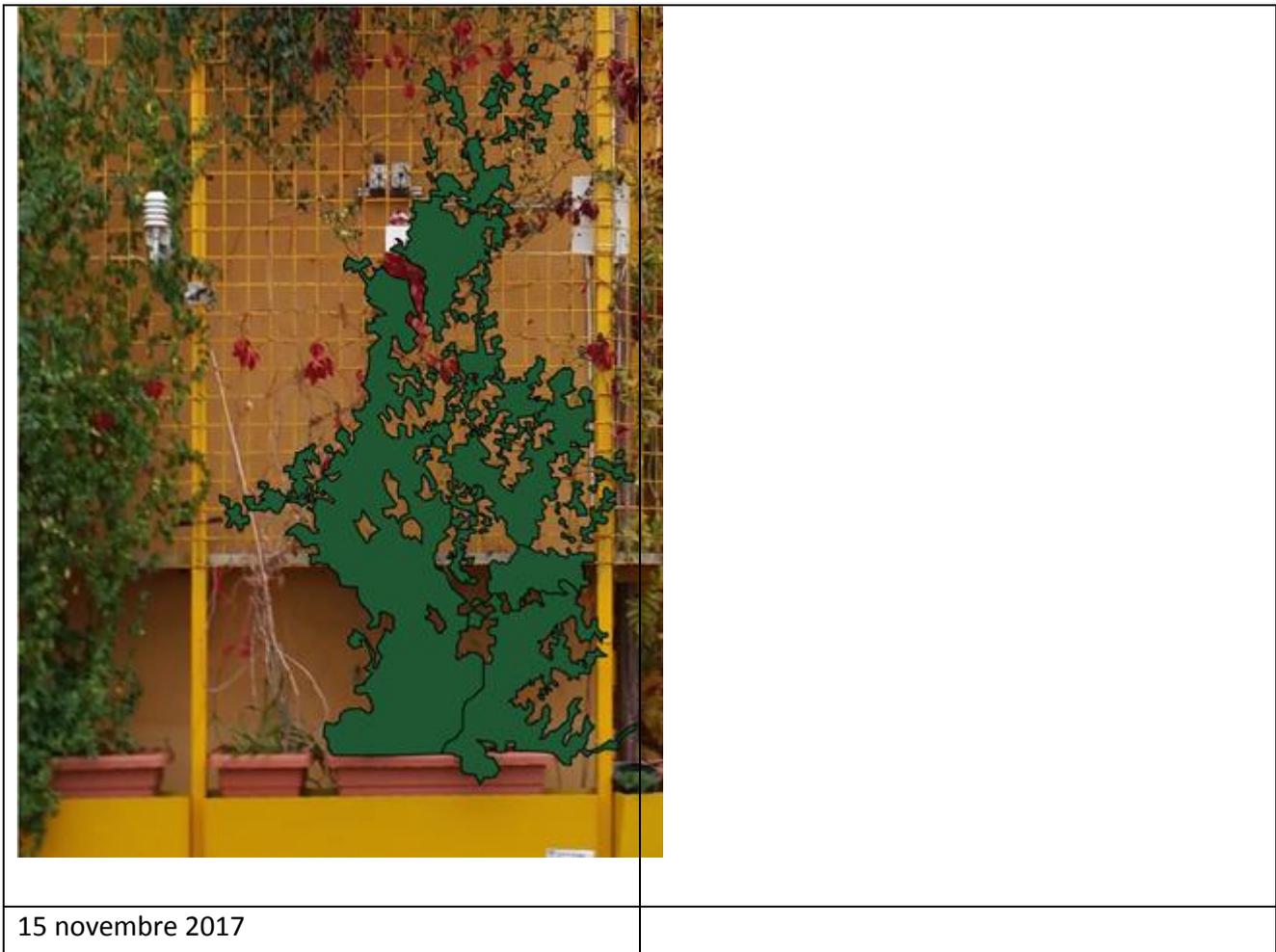


Figura 21: Sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* situate nella parete sud-ovest

DATA	gg	Pianta 1			Pianta 2			area toale
		area porzione compatta	area porzione ramificata	area pianta 1	area porzione compatta	area porzione ramificata	area pianta 2	
31/03/2017	0	0,053	0,038	0,091	0,029	0,018	0,047	0,138
21/04/2017	21	0,158	0,114	0,272	0,113	0,015	0,128	0,400
11/05/2017	41	0,338	0,102	0,440	0,124	0,021	0,145	0,585
09/06/2017	69	0,309	0,138	0,447	0,146	0,017	0,163	0,610
15/11/2017	225	0,468	0,173	0,641	0,318	0,100	0,418	1,059

Tabella 4: Sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* situate nella parete sud-ovest

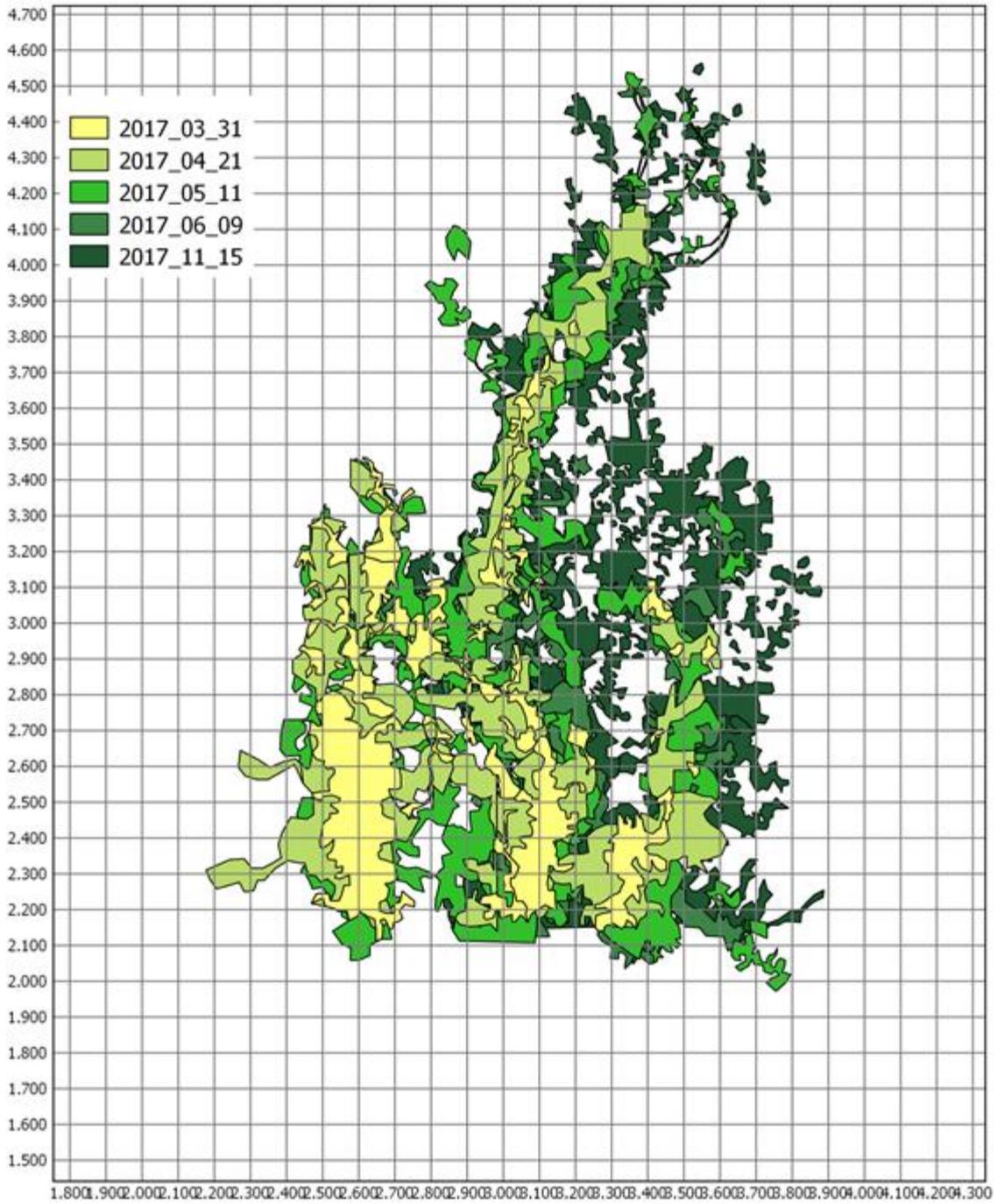


Figura 22: Sviluppo comparato delle piante di *Trachelospermum jasminoides* situate nella parete sud-ovest

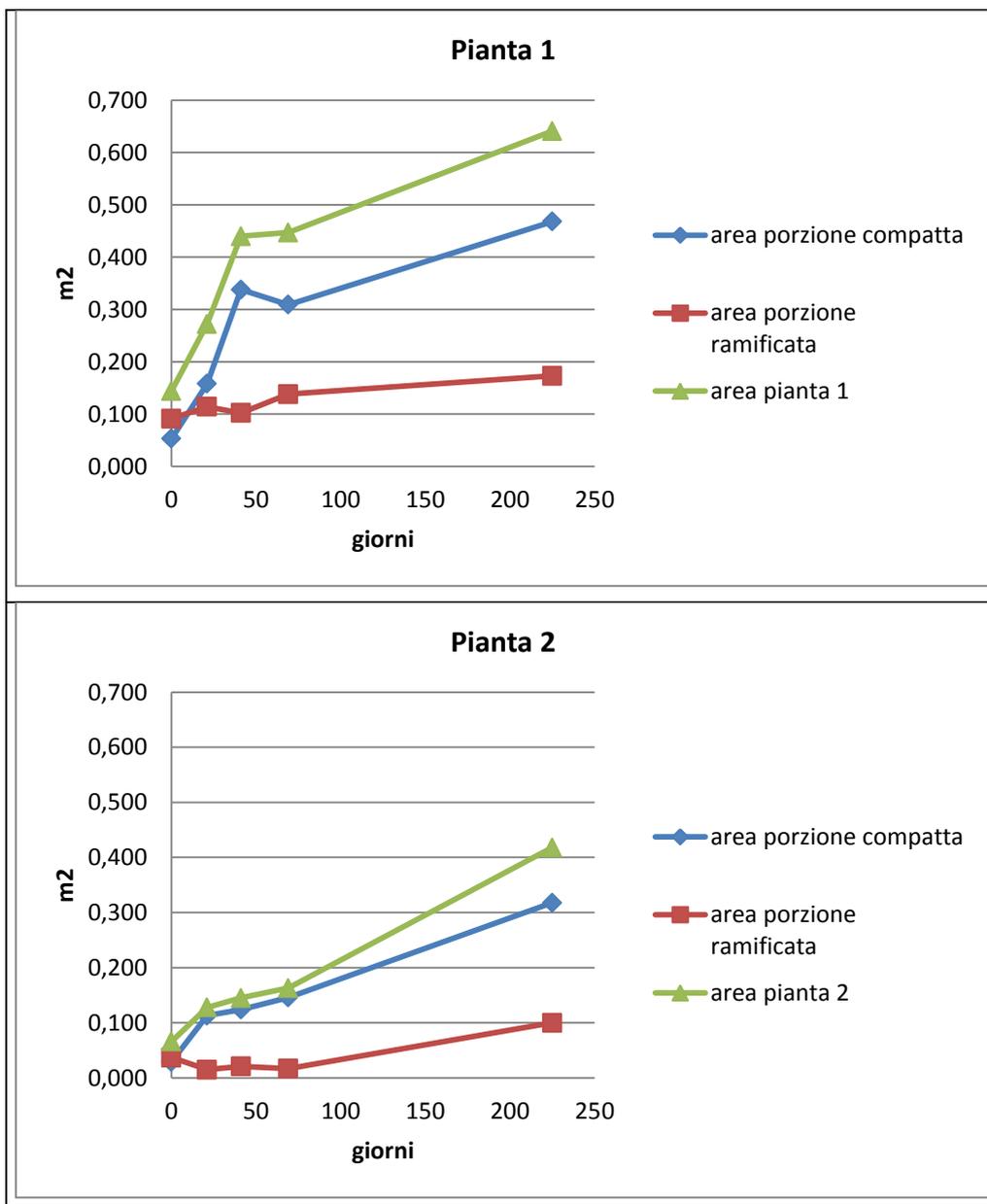


Figura 23: Sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* situate nella parete sud-ovest

Nei grafici di figura 23 è rappresentato l'andamento dell'accrescimento delle piante considerate. La pianta 1 già nelle fasi iniziali di impianto aveva uno sviluppo maggiore e mostra un accrescimento più rapido della pianta 2 sia nella porzione basale più compatta sia nello sviluppo ed allungamento degli steli. Nel grafico seguente di figura 24 è invece mostrato l'accrescimento delle piante in funzione dei flussi di radiazione giornalieri cumulati. Come è da aspettarsi i due andamenti sono sostanzialmente simili.

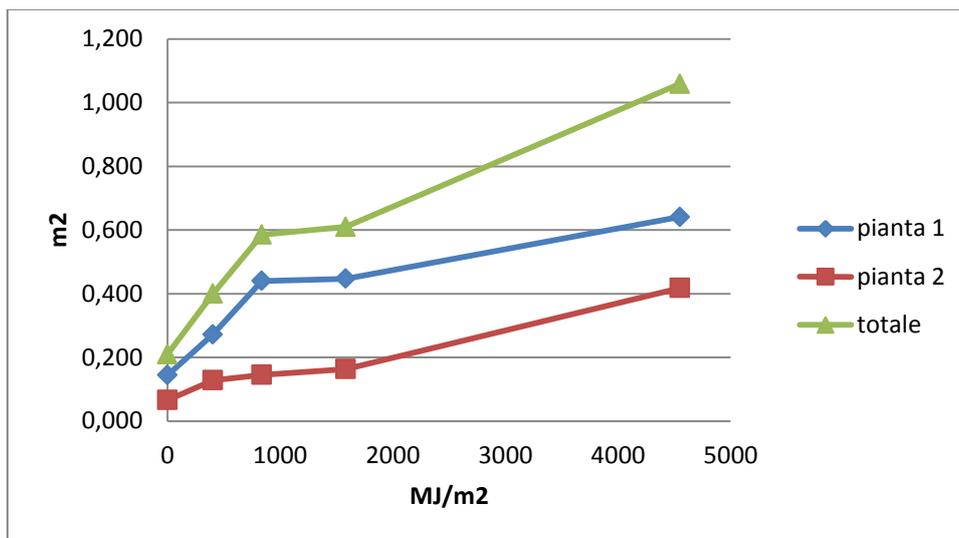


Figura 24: Sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* situate nella parete sud-ovest in funzione della radiazione globale cumulata

Sebbene i dati siano ancora limitati si è tentato di evidenziare l'esistenza di una correlazione tra lo sviluppo delle piante e l'Indice di attenuazione della radiazione in precedenza descritto. L'indice altro non è che la frazione di radiazione incidente che raggiunge la superficie della parete dopo aver attraversato le piante presenti e tende a diminuire man mano che la pianta si sviluppa e fornisce un maggiore grado di ombreggiamento. Il grafico di figura 25 mostra l'andamento dell'indice in funzione dello sviluppo della superficie delle piante.

Una modellizzazione semplificata della capacità di intercettazione della radiazione può essere rappresentata dalla formula di Monsi e Saeki.

$$I = I_0 e^{-kL}$$

Si tratta di una esponenziale negativa dove I_0 rappresenta la quantità di radiazione disponibile al di sopra della copertura vegetale, I la radiazione disponibile alla superficie del terreno.

Un adattamento della formula precedente al caso in esame può essere rappresentato dalla formula seguente:

$$\frac{GR_{int}}{GR_{est}} = e^{-kA}$$

Dove GR_{int}/GR_{est} rappresenta l'indice di attenuazione mentre A rappresenta l'area totale sviluppata dalle piante. La stima del fattore K ha dato i seguenti risultati e la curva interpolante ottenuta è rappresentata in figura 25 ed ha equazione;

$$\frac{GR_{int}}{GR_{est}} = e^{-1,788A}$$

Chi ²	0,00579
R ²	0.92237
K	1,78833

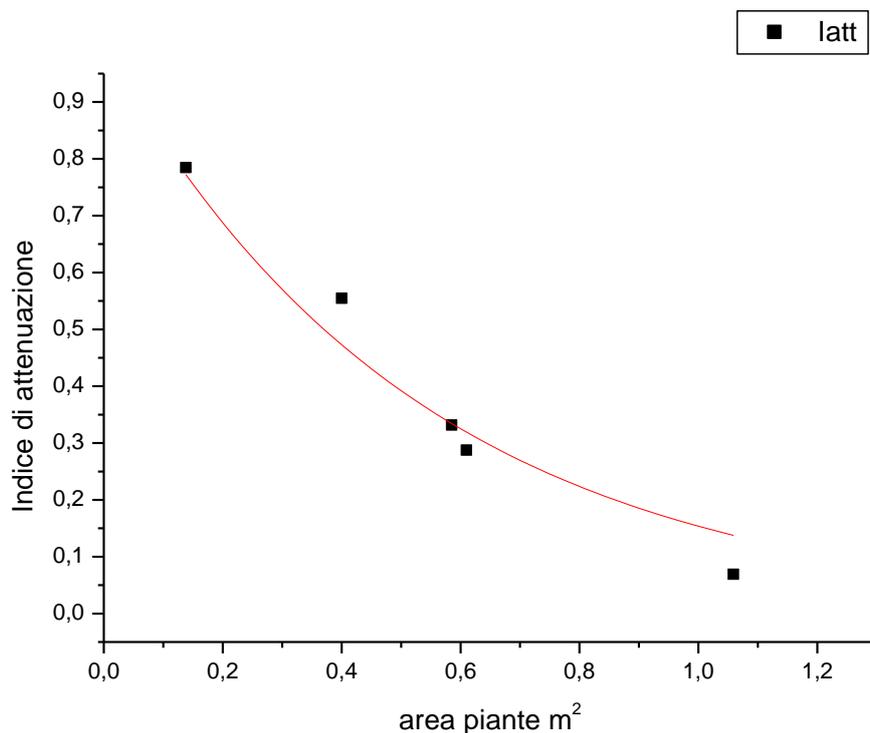


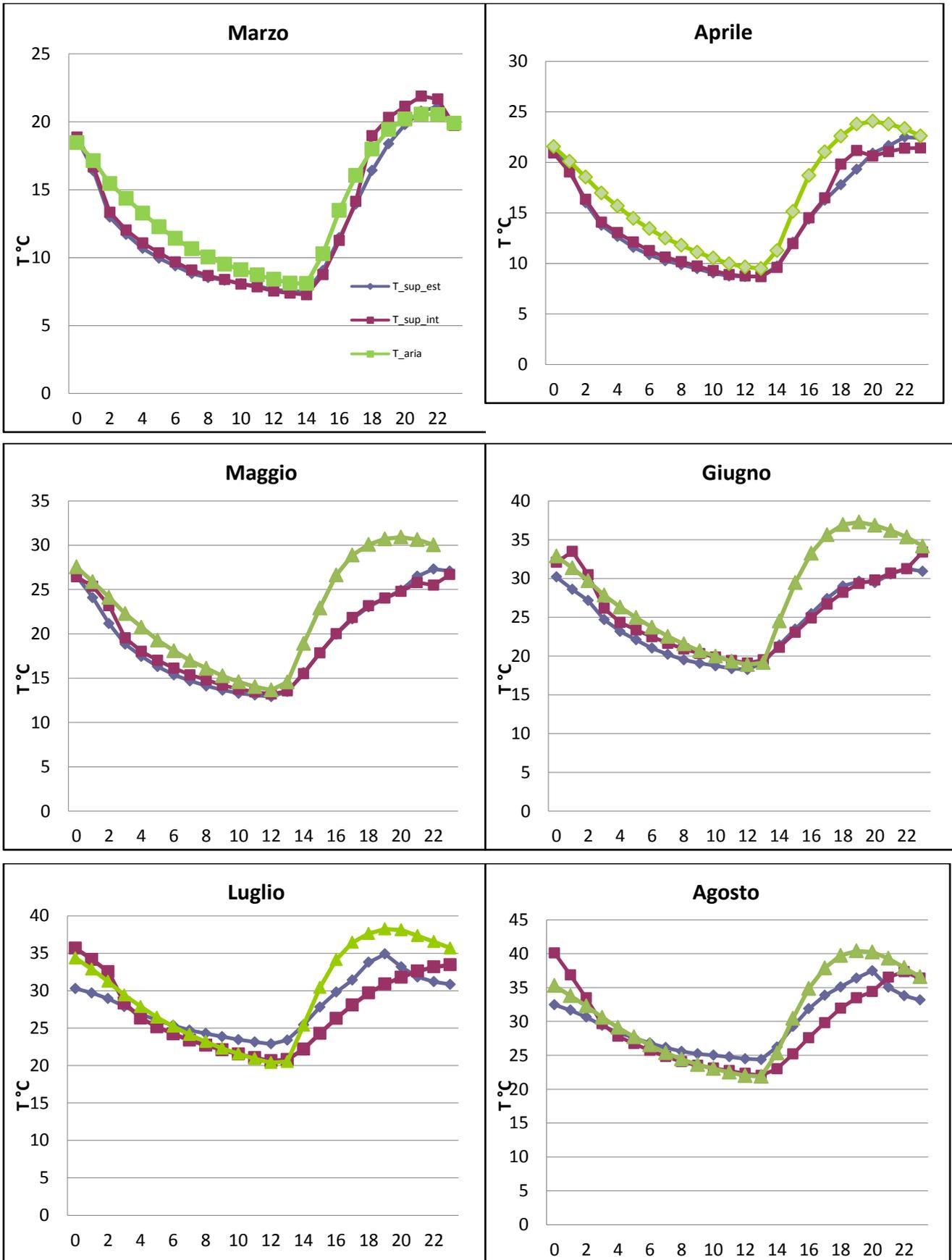
Figura 25: Intercettazione della radiazione globale in funzione dello sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* situate nella parete sud-ovest

L'ombreggiamento della superficie da parte delle piante e la conseguente attenuazione della radiazione incidente, produce un minore riscaldamento della superficie stessa e contribuisce al miglioramento del confort all'interno dell'edificio.

Sono quindi stati valutati gli andamenti della temperatura della superficie all'esterno ed all'interno della parete verde nel periodo marzo-novembre 2017 con riferimento alla temperatura dell'aria.

I risultati di queste valutazioni sono riportati nei grafici seguenti di figura 26.

I dati ottenuti mostrano come nella stagione intermedia (marzo, aprile, maggio) le temperature raggiunte dalle due superfici sono sostanzialmente simili. Questo è dovuto in parte alla durata dell'irraggiamento, ma soprattutto allo sviluppo della parete ombreggiante che in questo periodo ancora piuttosto ridotto. Nei mesi estivi (luglio agosto) si evidenzia invece una significativa riduzione della temperatura della parete situata all'interno dell'intercapedine con differenze che raggiungono i 4°C e che testimoniano l'efficacia della struttura verde nel ruolo di migliorare il confort abitativo all'interno dell'edificio.



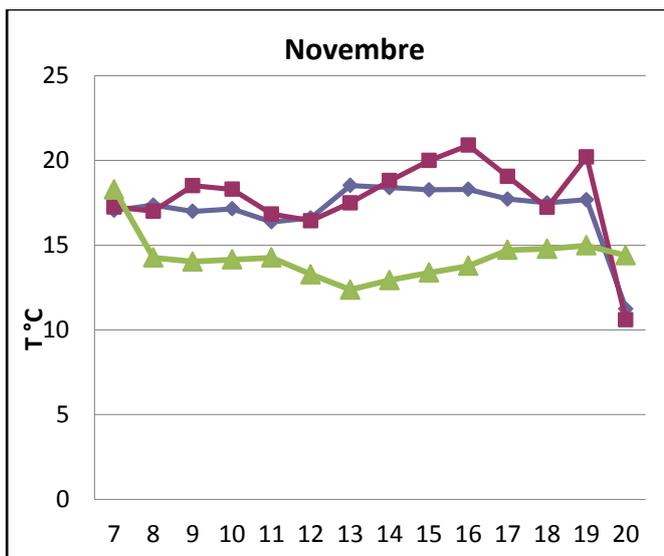
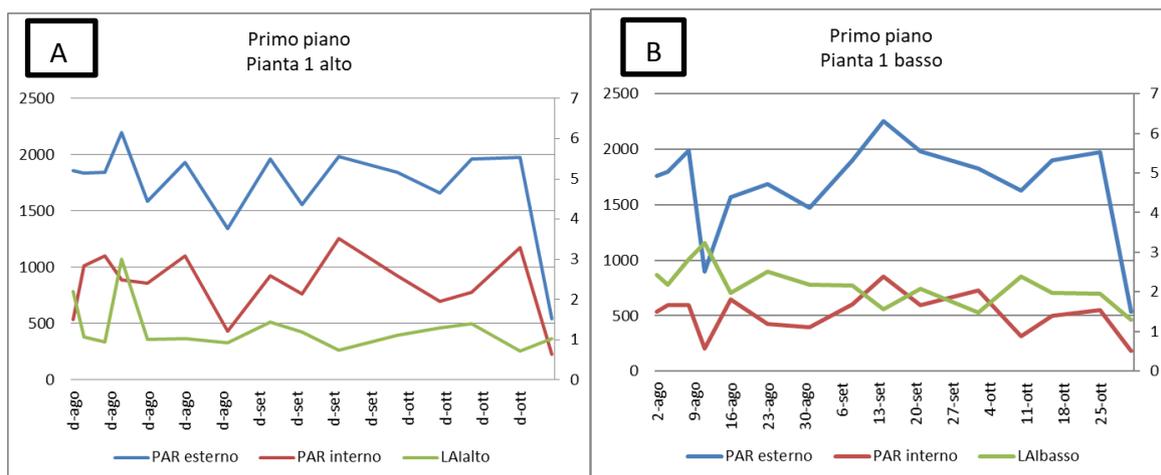


Figura 26: Temperature della parete all'interno e all'esterno dell'intercapedine verde

1.3.2 Valutazione dell'accrescimento delle piante mediante misure dirette a. Primo piano dell'edificio.

La copertura della parete attuata dalle piante è stata misurata anche come sviluppo dell'indice della superficie fogliare (LAI), che ha mostrato un andamento costante per ambedue le piante di riferimento, nella zona alta di misurazione del primo piano della parete. Questo potrebbe essere imputabile alla crescita delle due piante, la quale per il periodo di riferimento agosto – ottobre 2018, raggiunge una stabilità di spessore della massa vegetale, come è deducibile dall'andamento dei valori del LAI osservabili in figura 27A e C (linea verde), per le piante poste a livello alto del primo piano della parete dell'edificio.



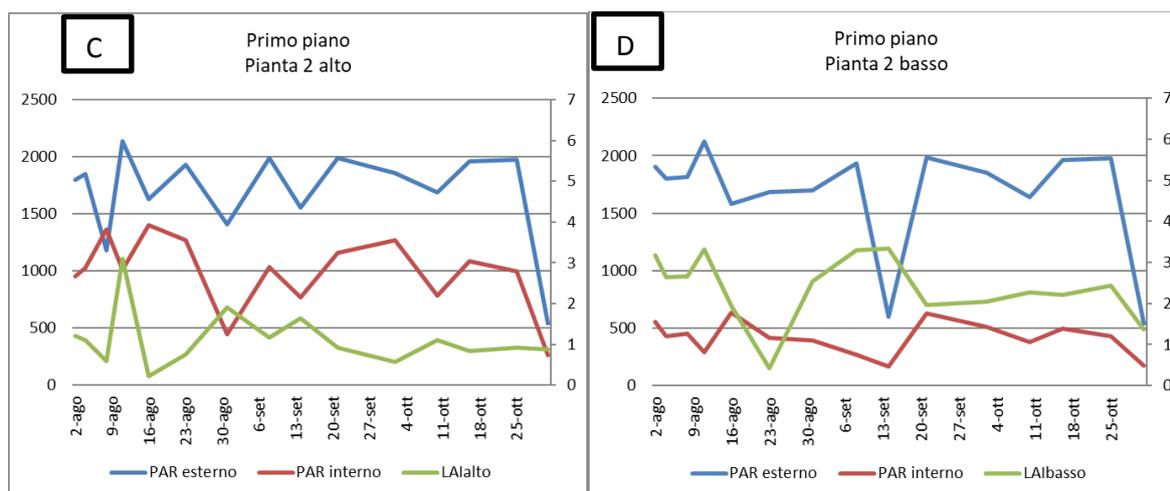


Figura 27 Radiazione solare incidente determinata sopra e sotto la coltra vegetale, cresciuta a ridosso del primo piano della parete dell’edificio. Copertura della coltre vegetativa è riportata come superficie fogliare specifica (LAI).

Rispetto alla zona alta della parete, in quella bassa è stato osservato un valore maggiore del LAI (Figura 27B e D), questo potrebbe essere attribuibile all’andamento storico della crescita delle piante, in quanto, ancor più che nella parte alta, in questa parte bassa si ha uno sviluppo sia di germogli laterali, con conseguente sviluppo di nuove foglie, sia di foglie con superficie maggiori. Nella figura 27, infatti, gli andamenti dei valori del LAI, per il periodo agosto-ottobre del 2017, indicano una crescita stabile e costante delle piante, che avviene essenzialmente per allungamento degli steli (apice dello stelo in crescita continua), e solo in parte, per ispessimento della massa fogliare sottostante l’apice, il quale è relegato nella parte bassa della chioma della pianta, ossia distante dall’apice ove si attenua la dominanza dello stesso che impedisce o sviluppo di germogli laterali e di conseguenza di foglie. L’ispessimento della massa fogliare, che è indice dell’ispessimento della chioma della pianta, avviene per schiusura delle gemme laterali, poste nei nodi all’ascella delle foglie, dalle quali si sviluppano germogli laterali, quindi, nuovi steli recanti nodi e foglie. Durante i primi anni della crescita della pianta la crescita avviene maggiormente per allungamento, pertanto l’andamento costante del LAI, rilevato nei punti di misurazione della radiazione solare, risulta tendenzialmente costante per ciascun punto (basso ed alto) della pianta, che risulta maggiore nella parte basse della chioma (punto di maggiore distanza dall’apice vegetativo, con ridotta dominanza apicale), e minore nella parte alta. Gli andamenti anomali dei valori del LAI, così come quelli della Radiazione incidente, esterna sopra chioma e sotto di essa, potrebbero essere attribuiti, oltre che ad errori nella misurazione, ad addensamenti della chioma momentanei, per ciascuna pianta per ciascuna zona di essa, ascrivibili a movimenti delle fronde indotte dalle condizioni climatiche avvenute nei giorni di misurazione, come ad esempio alla direzione ed intensità del vento, a nuvolosità temporanee ed intermittenti, che, almeno per quest’ultimo evento, potrebbero aver portato ad una maggiore presenza di radiazione diffusa.

L’ipotesi dell’errore strumentale, tuttavia non trova conferma se analizziamo l’andamento della attenuazione della radiazione incidente (Rad. At.), riportato in figura 28, il cui valore esprime una quantità relativa misurato come valore della radiazione incidente (Rad. In.), che nella figura 27 è rappresentata dalla PAR esterna (linea celeste), a cui è sottratto il valore della radiazione sotto la copertura vegetale (Rad. Par.), che nella figura 27 è rappresentata dalla PAR interna (linea rossa), il tutto diviso il valore della Radiazione incidente (Rad. In.). Il valore relativo della radiazione attenuata (Rad. At.), è bene ricordare che è la sommatoria della radiazione assorbita, da quella riflessa e da quella rifratta dalla superficie fogliare. In figura 28, come già detto, è riportato l’andamento della radiazione attenuata nel periodo di riferimento, da cui emerge, per le due piante e per i pur di rilievo di ciascuna di esse, come il valore della Rad. At. è significativamente costante lungo tutto il periodo di

misurazione, come è testimoniato dai bassi valori della deviazione standard della Rad. At. e dal coefficiente di variazione (Figura 28A, B e D), eccetto che per il punto di rilievo alto della pianta 2 (Figura 29C). La quantità di radiazione solare incidente presente sotto la chioma, che potrebbe raggiungere la parete, appare sostanzialmente ridotta del 52% circa, nella parte alta della chioma della Pianta 1, e maggiore appare il valore della radiazione attenuata nella parte bassa della stessa pianta (Tabella 5). La quantità di radiazione solare incidente attenuata nella parte alta della Pianta 2 è del 43% (Figura 28C e Tabella 5), mentre quella attenuata nella parte bassa è circa il 75% (Figura 28D e tabella 1). Questo andamento anomalo non può essere imputato né allo sviluppo del LAI, né tantomeno all'andamento della radiazione incidente, poiché pur presentando, l'indice di attenuazione, il valore del Coefficiente di Variazione più alto (Tabella 5) ad esso non corrisponde

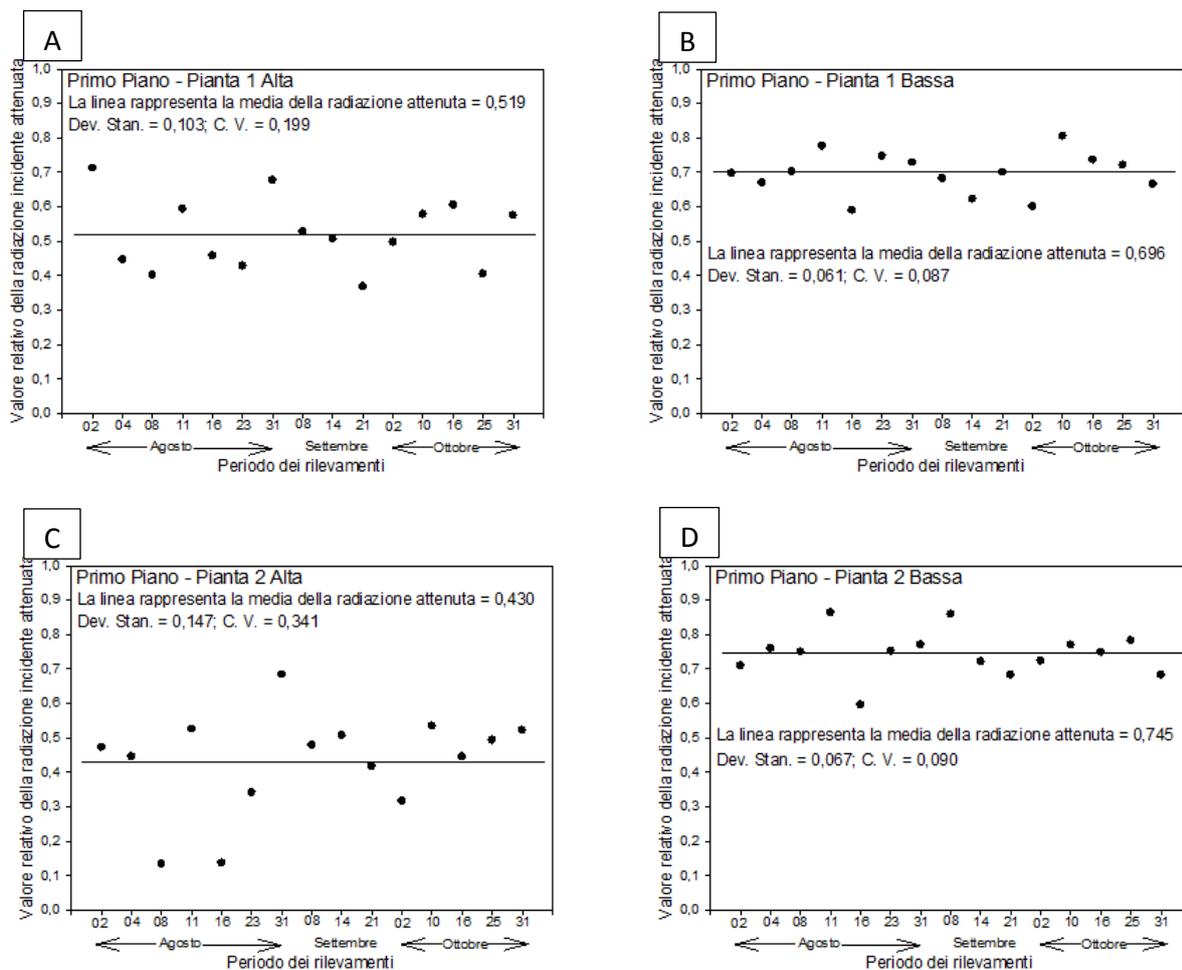


Figura 28: Andamento della radiazione attenuata (Rad. At.), determinata nel periodo agosto – ottobre 2018. Le misurazioni hanno riguardato il primo piano dell'edificio. La linea nel grafico indica il valore medio della Rad. At., dovuto alla massa vegetale sviluppata.

un Coefficiente di Variazione del LAI altrettanto alto. Infatti, il valore più alto del Coefficiente di Variazione del LAI è osservabile per la parte alta della Pianta 1 del secondo piano. Questo aspetto dovrà essere oggetto di ulteriori studi, per comprendere quanto sia avvenuto.

b. Secondo piano della parete dell'edificio.

La copertura della parete del secondo piano della parete dell'edificio da parte delle piante, misurata come sviluppo dell'indice della superficie fogliare (LAI), ha mostrato un andamento complessivamente

analogo a quello osservato al primo piano. Le due piante di riferimento, nella zona alta di misurazione del secondo piano della parete, hanno sviluppato nel tempo un LAI tendenzialmente costante nel tempo. Analogamente per le due piante del primo piano, anche in queste del secondo piano è osservabile una crescita che, nel periodo di riferimento agosto – ottobre 2018, raggiunge una stabilità di spessore della massa vegetale della chioma, come è deducibile dall’andamento dei valori del LAI osservabili in figura 29A e C (linea verde), per le piante poste a livello alto del primo piano della parete dell’edificio.

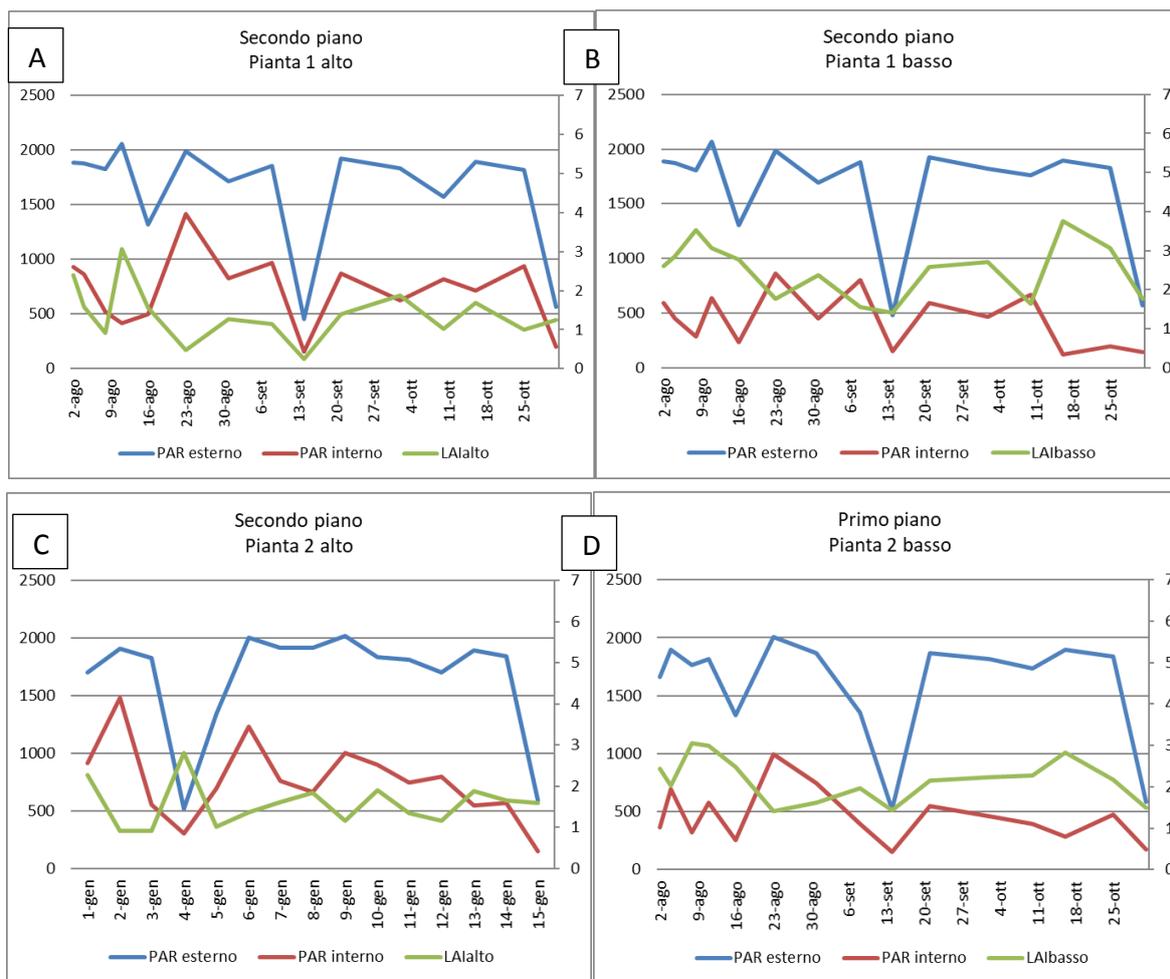


Figura 29. Radiazione solare incidente determinata sopra e sotto la coltre vegetale, cresciuta a ridosso del secondo piano della parete dell’edificio. Copertura della coltre vegetativa è riportata come superficie fogliare specifica (LAI).

Nella posizione bassa delle piante del secondo piano il LAI osservato per la Pianta 1 è maggiore a quello misurato nella posizione bassa (Figura 29B). Un analogo andamento è stato osservato per le piante poste al primo piano, ma a differenza di queste ultime, la Pianta 2 del secondo piano ha presenta una differenza sostanziale del valore del LAI tra il piano alto e quello basso (Figura 29C e D). Questo potrebbe essere riconducibile ad una crescita differente della Pianta 2 del secondo piano rispetto alla crescita avvenuta nelle altre piante. Le considerazioni fatte per lo sviluppo del LAI delle piante del primo piano, pertanto, sono complessivamente valide per quelle del secondo piano. Nella figura 30 sono rappresentate le elaborazioni dell’indice di attenuazione della radiazione solare incidente calcolate per il LAI del secondo piano della parete dell’edificio.

I singoli grafici della figura 4 evidenziano una attenuazione costante della radiazione solare incidente che è avvenuta per lo sviluppo del LAI sia della pianta 1 sia della pianta 2. I valori dell'indice di attenuazione sono maggiori per la posizione bassa della chioma delle piante (Figura 30B e D), ed i valori sono tra loro simili, mentre i valori dell'indice sono minori per la posizione inferiore delle chiome (Figura 30A e C). Rispetto alle misurazioni fatte nel primo piano della parete, in quelle fatte al secondo piano la variabilità dello sviluppo del LAI e la

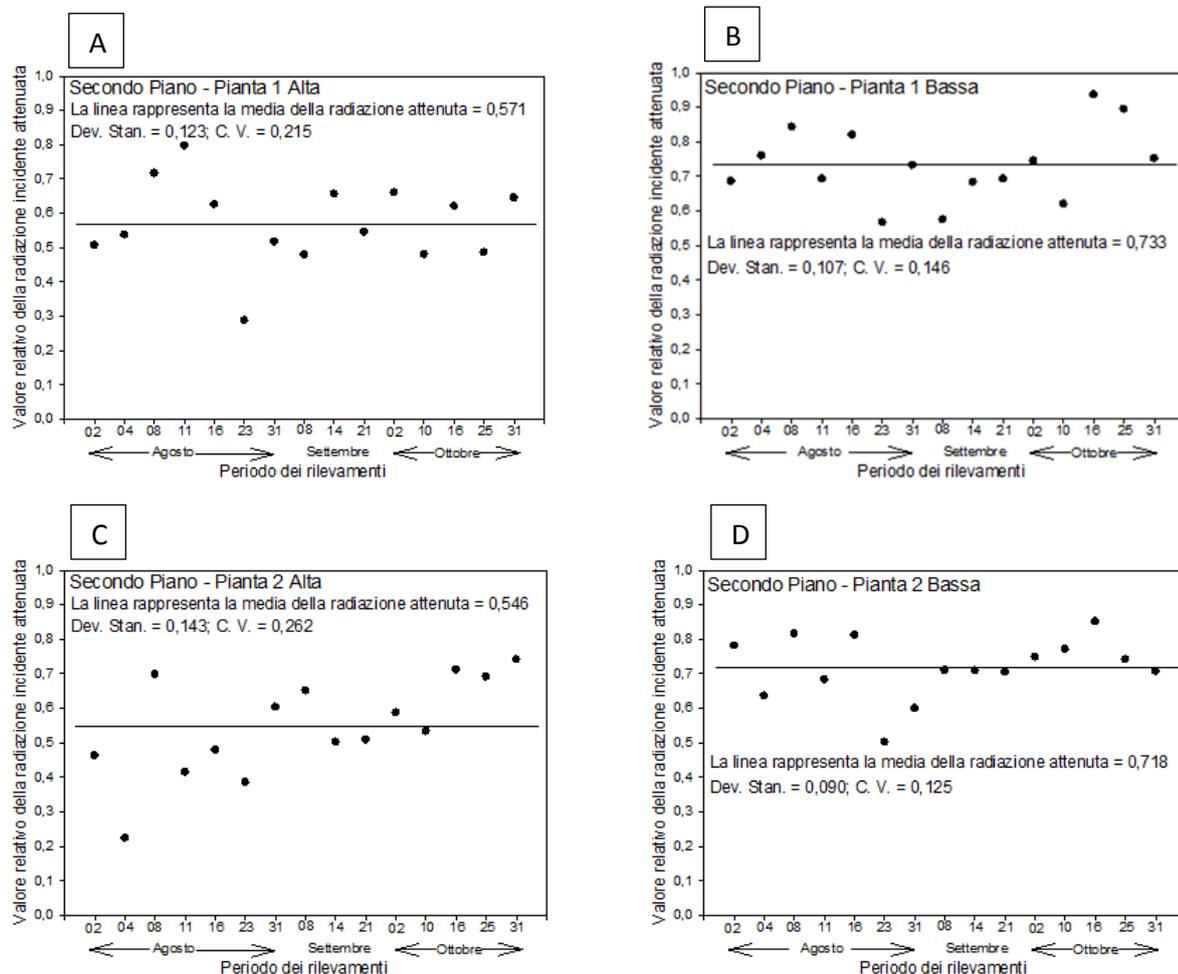


Figura 30. Andamento della radiazione attenuata (Rad. At.), determinata nel periodo agosto – ottobre 2018. Le misurazioni hanno riguardato il secondo piano dell'edificio. La linea nel grafico indica il valore medio della Rad. At., dovuto alla massa vegetale sviluppata.

variabilità dell'indice di attenuazione della radiazione è ridotta come risulta dai valori del coefficiente di variazione dei due parametri (Figura 30 e Tabella 6).

Piano	Pianta	Posizione	Indice di attenuazione	C. V.	LAI	C. V.
Primo	1	Alta	0,519 ± 0,103	0,199	1,273 ± 0,600	0,471
	1	Bassa	0,696 ± 0,061	0,087	2,151 ± 0,502	0,233
	2	Alta	0,430 ± 0,147	0,341	1,565 ± 0,529	0,338
	2	Bassa	0,745 ± 0,067	0,090	2,375 ± 0,793	0,334

Secondo	1	Alta	0,571 ± 0,123	0,215	1,392 ± 0,705	0,506
	1	Bassa	0,733 ± 0,107	0,146	2,494 ± 0,731	0,293
	2	Alta	0,546 ± 0,143	0,262	1,565 ± 0,529	0,338
	2	Bassa	0,718 ± 0,090	0,125	2,171 ± 0,535	0,246

Tabella 6. Valori dell'indice di attenuazione della radiazione solare incidente e valori del LAI calcolato per ciascuna delle due posizioni per ogni pianta e per ogni piano.

I risultati descritti evidenziano che l'attenuazione della radiazione solare incidente dipende dalla crescita e dallo sviluppo delle piante poste a ridosso delle pareti di un edificio. Infatti, per una copertura veloce ed intensa della parete non è sufficiente considerare solamente la crescita in altezza della pianta, poiché deve essere considerato anche lo sviluppo della chioma, che per la copertura delle pareti corrisponde allo spessore della colta vegetale ricoprente la parete. In questa prova sperimentale pur osservando una apparente crescita stabile e costante delle piante, lo sviluppo del LAI non è risultato simultaneo sia per la posizione, bassa ed alta, sia per il piano dell'edificio, primo piano e secondo piano, sia per le piante. Condizioni micro-climatiche non ben individuate possono dar credito delle differenze osservate, pertanto ulteriori studi devono essere indirizzati per identificare le possibili variazioni micro-climatiche che incidono sullo sviluppo del LAI.

I valori misurati della radiazione solare incidente, tuttavia, sono quelli della regione del visibile dello spettro luminoso incidente, come è evidente dalla definizione stessa dell'acronimo PAR (Photosynthetically Active Radiation), pertanto, non è da escludere che il valore assoluto della radiazione solare, che è presente nell'intercapedine tra massa vegetale e parete dell'edificio, sia in realtà determinato da lunghezze d'onda della radiazione differenti da quelli della regione del visibile. Questa ipotesi, andrebbe indagata con strumentazioni che siano in grado di misurare le radiazioni dell'infrarosso vicino e lontano, ossia lunghezze d'onda della radiazione superiore ai 710 nm.

Le piante di *Trachelospermum jasminoides* prese in considerazione per la valutazione della crescita rappresentano un paradigma compartimentale tipico della specie: pianta cespugliosa determinata da una crescita poli-caule, per cui lo sviluppo della massa fogliare nel primo anno è dato essenzialmente dall'accrescimento di più cauli, che si allungano, non solo per la distensione degli internodi, ma soprattutto per lo sviluppo di nuovi fitomeri su ciascuno dei cauli in crescita (si potrebbe indicare un delle foto della tua relazione ove si vede il *Trachelospermum jasminoides*). Le gemme laterali del fitomero, che si sviluppano all'ascella di ogni foglia, rimangono nella gran parte dei casi quiescenti per la forte relazione inibitiva a cui sono soggette dovuta al fenomeno della dominanza apicale esercitata dall'apice di ciascun caule, che impedisce lo sviluppo in germoglio da una gemma laterale. Tuttavia, gli assi caulinari che si generano da ciascuna pianta, mantengono una relazione tra loro, come è evidente nelle Figura 31, ove emerge chiaramente che per ciascuna pianta di ciascun piano, uno solo dei tre cauli considerati per pianta ha una crescita maggiore rispetto a quella registrata per gli altri due cauli, come emerge dai dati dell'incremento della crescita, per cui con chiarezza emerge che per ciascuna pianta solamente un caule funge da leader della pianta e pertanto prende il sopravvento con un forte sviluppo rispetto agli altri cauli.



Figura 31: Sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* al 31 marzo 2017 piano primo (in basso) e secondo (in alto).



Figura 32: Sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides* al 2 ottobre 2017 piano primo (in basso) e secondo (in alto).

Questo sistema di relazioni, che si instaura tra i cauli di una stessa pianta, condiziona lo spessore della massa fogliare che corrisponde alla chioma della pianta ed è la struttura vegetativa intercettante la radiazione solare incidente, ed, inoltre, influenza l'estensione della superficie della pianta che si

estende parallelamente alla superficie della parete dell'edificio. Questi due aspetti della crescita dipendono dallo sviluppo delle gemme laterali in germogli, che, durante il loro sviluppo, formano nuovi fitomeri ed incrementano la massa fogliare sia nella direzione incidente la parete dell'edificio (spessore della superficie assorbente la radiazione) sia nella direzione parallela alla superficie della parete dell'edificio (estensione della superficie assorbente la radiazione). Questo comportamento ha una notevole rilevanza e deve essere preso in considerazione nella fase iniziale della progettazione poiché incide sulla velocità di copertura della parete e sullo spessore della chioma e quindi degli effetti fisici (attenuazione della radiazione incidente) della vegetazione stessa.

La crescita delle piante poste a dimora nel Secondo Piano della struttura è stata, almeno per il caule leader, maggiore rispetto a quella registrata nelle piante del Primo Piano (Figura 31 e 32). Complessivamente è riconoscibile un tempo critico nella crescita delle piante che corrisponde all'incirca tra la fine di agosto e la prima decade di settembre. Infatti, dopo tale periodo la crescita dei cauli, specialmente dei cauli leader, è avvenuta con tassi sostenuti. L'andamento della crescita rilevato indica che: a) il primo periodo, dal primo di agosto a primi giorni di settembre, è un periodo di adattamento delle piante, in cui si è assistito anche un danneggiamento dell'apice caulinare dello stelo; b) dopo il primo periodo, allorché si compiuto l'adattamento della pianta, essa è entrata in piena crescita, e durante questo periodo solamente un germoglio funge da caule leader della pianta. Questo indica che il *Trachelospermum jasminoides*, pianta tipicamente rampicante, ha una forte dominanza apicale e risente molto della sindrome di fuga dall'ombra e per attuare una crescita di copertura ha bisogno di molta luce, comportamento tipico delle piante eliofile. Se la pianta percepisce uno stato di competizione con altre piante o uno stato di competizione intra-pianta (tra steli della stessa pianta), allora, se non si è adattata bene alle condizioni di trapianto, rimane poco attiva e cerca di prepararsi alle condizioni di competizione. Questo comportamento è molto importante per definire la copertura delle pareti in quanto la pianta non solo ha un andamento della crescita "di attesa", ma non sviluppa un volume della chioma che aumenti il LAI e quindi l'intercettazione della radiazione solare incidente.

Un'analisi di dettaglio dello sviluppo delle piante di *Trachelospermum jasminoides*, è riportata nei grafici di figura 33. Per quanto riguarda le piante situate al piano primo, il tasso di crescita è stato calcolato come differenza relativa dell'allungamento tra il tempo T_n ed il tempo T_1 , per ciascuno dei tre assi caulinari. Nella pianta 1 (grafico superiore) il caule denominato H2 ha mostrato un allungamento maggiore rispetto a quello osservato negli altri cauli, anche se l'andamento del tasso di crescita (parte inferiore dello stesso grafico) è risultato costante nel tempo, confermando una lenta e costante crescita, tranne nei primi tempi ove è possibile evidenziare una stasi della crescita, con ogni probabilità, dovuta all'adattamento nei periodi iniziali della coltura della pianta. Nella pianta 2 (grafico inferiore) il caule denominato H3, ha avuto una crescita maggiore rispetto agli altri due cauli, dovuto soprattutto ad un aumento del tasso di crescita nel periodo compreso tra il 6 settembre ed il 4 ottobre, come è evidenziato dall'andamento dei tassi di crescita (parte inferiore dello stesso grafico). Il periodo di rilievo dei dati è compreso tra il 2 di agosto e il 18 agosto. Il rilievo della crescita degli steli è stato effettuato ogni sette giorni.

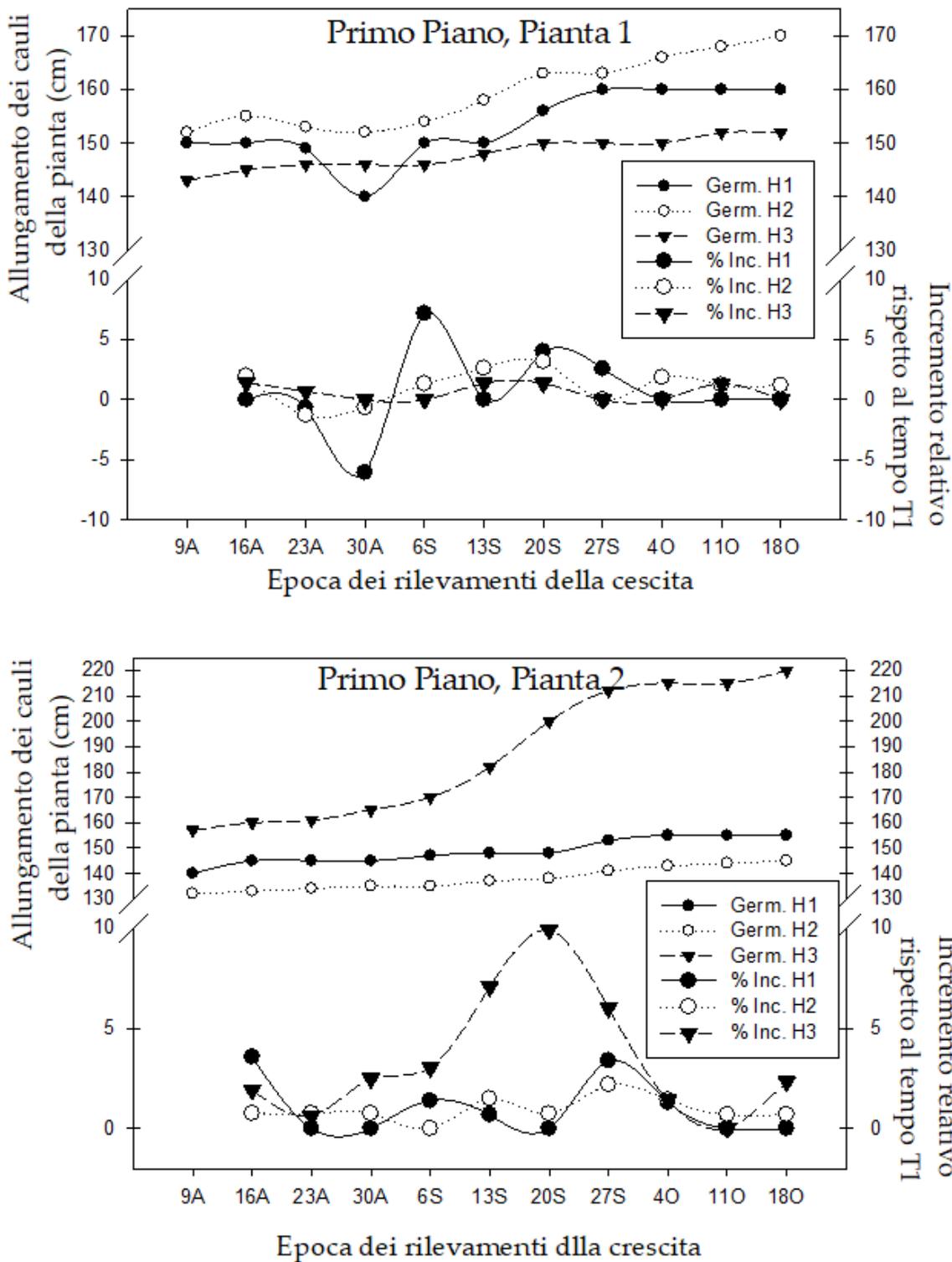


Figura 33. Allungamento dei cauli e tasso di crescita relativo determinati sulle piante poste al primo piano

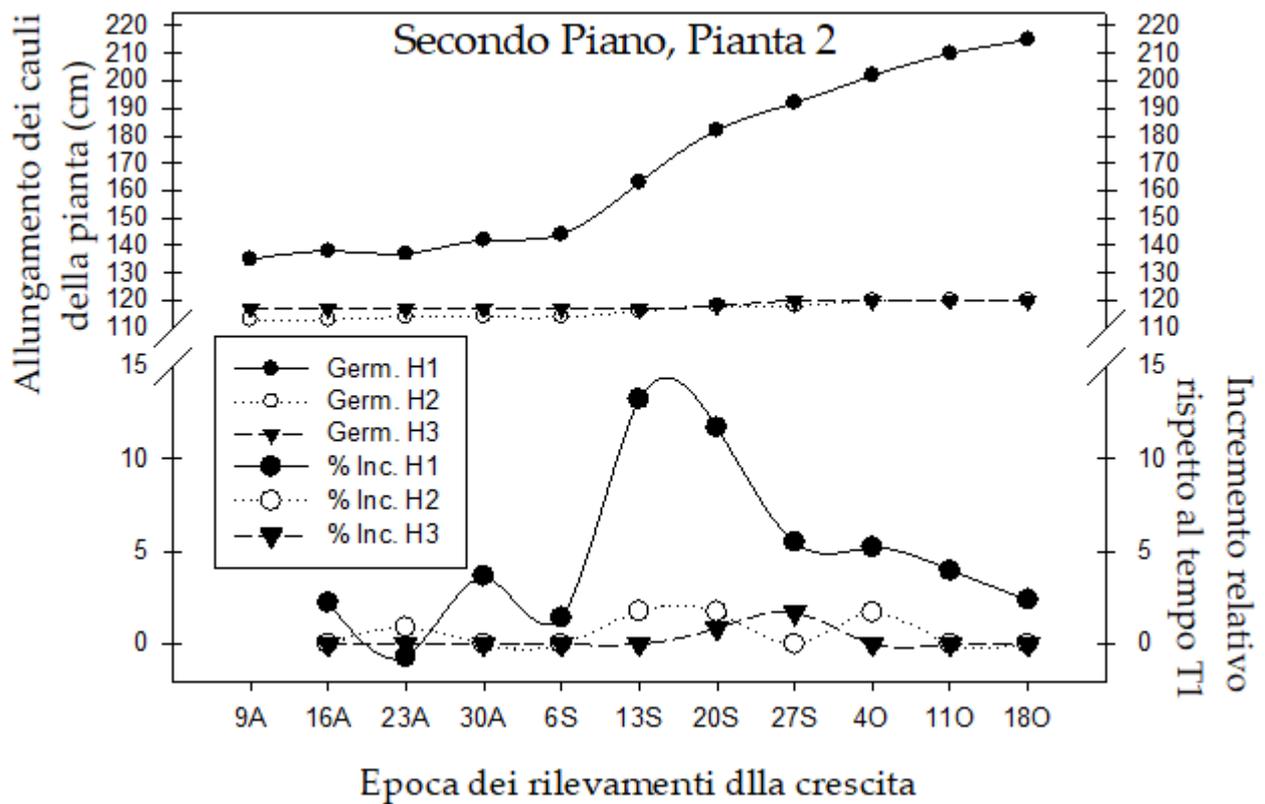
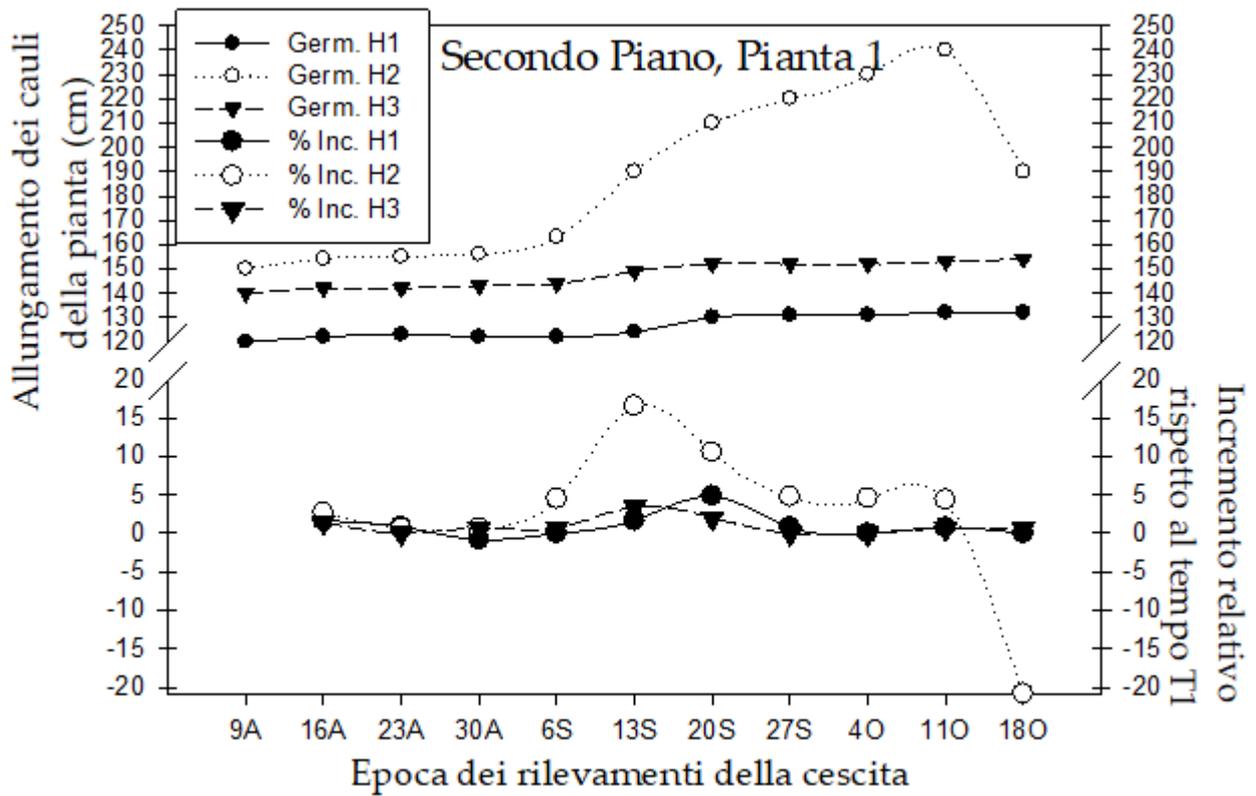


Figura 34: Allungamento dei cauli e tasso di crescita relativo determinati sulle piante poste al secondo piano

Per quanto riguarda le piante situate al secondo piano, il tasso di crescita è stato calcolato come differenza relativa dell'allungamento tra il tempo T_n ed il tempo T_1 , per ciascuno dei tre assi caulinari. Nella pianta 1 Fig. 34 (grafico superiore) il caule denominato H2 ha mostrato un allungamento maggiore rispetto a quello osservato negli altri cauli ed anche l'andamento del tasso di crescita (parte inferiore dello stesso grafico) è risultato crescente nel tempo, tranne nell'ultimo rilievo ove il caule è risultato danneggiato. Nel primo periodo è evidente una stasi della crescita dei cauli delle due piante, con ogni probabilità, dovuta ad un adattamento della pianta al nuovo ambiente. Nella pianta 2 (grafico inferiore) il caule denominato H1, ha avuto una crescita maggiore rispetto agli altri due cauli, dovuto soprattutto ad un aumento del tasso di crescita nel periodo compreso tra il 6 settembre ed il 4 ottobre, come è evidenziato dall'andamento dei tassi di crescita (parte inferiore dello stesso grafico). Il periodo di rilievo dei dati è compreso tra il 2 di agosto e il 18 agosto. Il rilievo della crescita degli steli è stato effettuato ogni sette giorni.

2 Conclusioni

L'attività di indagine fin qui svolta costituisce un primo passo per la valutazione dell'efficacia delle diverse specie vegetali nell'attenuare la radiazione solare, svolgendo quindi un ruolo di riduzione delle temperature delle superfici esposte al soleggiamento e, conseguentemente di incremento della resilienza al cambiamento climatico.

Lo studio dell'accrescimento attraverso le riprese fotografiche, ha dato risultati soddisfacenti; pur non consentendo una stima diretta del LAI, ha però fornito importanti indicazioni sullo sviluppo della chioma, non solo dal punto di vista del tasso di crescita e del grado di copertura della parete, ma anche dal punto di vista delle modalità di crescita. L'analisi delle immagini, evidenziando le direzioni e le configurazioni spaziali di sviluppo della chioma, consente infatti di individuare fenomeni di competizione tra le diverse specie già emerse in questa prima fase di indagini. Nel prosieguo del lavoro una maggiore disponibilità di riprese fotografiche e l'impiego di metodologie per il riconoscimento automatico delle immagini potrà permettere di estendere le valutazioni sin qui condotte alle diverse specie presenti nella parete sperimentale.

Le misure dei parametri meteorologici hanno evidenziato in una fase iniziale, alcuni valori anomali per alcuni dei parametri misurati, riducendo di fatto la disponibilità di dati utili per le necessarie elaborazioni. La continuità e la qualità dei dati raccolti sono condizioni essenziali per la prosecuzione degli studi fin qui condotti.

Sono infatti ancora preliminari le valutazioni sull'attenuazione della radiazione in funzione dello sviluppo delle parti delle piante presenti. I risultati fin qui ottenuti, tuttavia, mostrano una capacità di intercettazione della radiazione globale da parte delle piante presenti pari a circa il 75% nei mesi estivi. Questo conduce ad una riduzione della temperatura della superficie dell'edificio rispetto alla superficie esterna alla parete verde, pari a circa 4°C nel periodo e nelle ore più calde della giornata. La prosecuzione delle attività e della raccolta di dati sia meteorologici, sia relativi allo sviluppo delle piante, potrà consentire, attraverso ulteriori approfondimenti di perfezionare queste valutazioni.

La disponibilità di dati sperimentali relativi a diverse specie vegetali potrà consentirne una caratterizzazione dal punto di vista della rapidità di accrescimento, del portamento e quindi dell'efficacia nell'intercettazione della radiazione solare, della compatibilità/competitività tra diverse specie. La possibilità di ottenere una stima della capacità di attenuazione della radiazione in funzione

del grado di copertura delle chiome ottenuto dall'analisi di foto digitali è tuttora oggetto di valutazione.

3 Bibliografia

- Cameron R.W.F., Taylor J.E., Emmet M.R., 2014, What's 'cool' in the world of green façades How plant choice influences the cooling properties of green walls, *Building and Environment* 73: 198-207, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.005>
- Cameron R.W.F., Taylor J.E., Emmet M.R., 2015, A Hedera green façade - Energy performance and saving under different maritime-temperate winter weather conditions, *Building and Environment* 92: 111-121, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.011>
- Charoenkit S., Yiemwattana S., 2016, Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: a review, *Building and Environment* 106: 82-94, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.031>
- Charoenkit and Yiemwattana 2017, Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate, *Building and Environment* 115: 67-79, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.017>
- Coma J., Pérez G., Solé C., Castell A., Cabeza L.F., 2014, New green facades as passive systems for energy savings on buildings, *Energy Procedia* 57: 1851-1859, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>
- Coma J., Pérez G., deGracia A., Burs S., Urrestarazu M., Cabeza L.F., 2017, Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades, *Building and Environment*, 111: 228-237, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>
- Hoelscher M.T., Nehls T., Janicke B., Wessolek G., 2016, Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation, *Energy and Buildings*, 114: 283-290, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047>
- Hunter A.M., Williams N.S.G., Rayner J.P., Aye L., Hes D., Livesley S.J., 2014, Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review, *Ecological Engineering*, 63: 102-113, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>
- Kalani K.W.D., Dahanayake C., Chow L.C., 2017, Studying the potential of energy saving through vertical greenery systems using EnergyPlus simulation program, *Energy and Buildings*, 138: 47-59, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.002>
- Manso M., Castro Gomes J., 2015, Green wall systems: A review of their characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 863-871, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Othman A.R., Sahidin N., 2016, Vertical greening façade as passive approach in sustainable design, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 222: 845-854,
- Perez G., Rincón L., Vila A., González J.M., Cabeza L.F., 2011, Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings, *Applied Energy*, 88: 4854-4859, [doi:10.1016/j.apenergy.2011.06.032](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032)
- Perez G., Rincón L., Vila A., González J.M., Cabeza L.F., 2011, Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate, *Energy Conversion and Management*, 52: 1861-1867, [doi:10.1016/j.enconman.2010.11.008](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.11.008)
- Perez G., Coma J., Martorell I., Cabeza L.F., 2014, Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39: 139-165, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055>

- Perez-Urrestarazu L., Fernandez-Canero R., Franco A., Egea G., 2016, Influence of an active living wall on indoor temperature and humidity conditions, *Ecological Engineering*, 90: 120-124, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.050>
- Perini K., Ottel  M., Haas E.M., Raiteri R., 2013, Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls, *Urban Ecosystem*, 16: 256-277, DOI 10.1007/s11252-012-0262-3
- Riley B., 2017, The state of the art of living walls: Lessons learned, *Building and Environment*, 114: 219-232, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.016>
- Safikhani T., Abdullah A.M., Ossen D.R., Baharvand M., 2014, A review of energy characteristic of vertical greenery systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40: 450-462, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.166>
- Sheweka S.M., Mohamed N., 2012, Green Facades as a new sustainable approach towards climate change, *Energy Procedia*, 18: 507-520, doi: 10.1016/j.egypro.2012.05.062
- Wong N.H., Kwang Tan A.Y., Chen Y., Sekar K., Yok Tan P., Chan D., Chiang K., Wong N.C., Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and Environment*, 45: 663-672, doi:10.1016/j.buildenv.2009.08.005