

Ricerca di Sistema elettrico



Analisi sperimentale di un prototipo di “Tetto *Blue-Green*” - parte 2

Latini A., De Rossi P., Colasuonno L.

Titolo del report: Analisi sperimentale di un prototipo di "Tetto *Blue-Green*" - parte 2

Autori: A. Latini, P. De Rossi, L. Colasuonno

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti

Progetto: 1.5

Linea di attività: 2.4

Responsabile del Progetto: G. Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: G. Puglisi, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: luglio 2023

Mese inizio effettivo: luglio 2023

Mese fine previsto: dicembre 2024

Mese fine effettivo: dicembre 2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte

Indice

1	Risultati attesi	6
2	Risultati ottenuti.....	7
3	Prodotti attesi	9
4	Prodotti sviluppati	10
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	11
6	Sintesi delle attività svolte	12
7	Dettaglio delle attività svolte.....	13
7.1	Monitoraggio del microclima, dei flussi termici e dell'acqua in entrata e in uscita attraverso la stratigrafia del Tetto <i>Blue-Green</i>	13
7.2	Valutazione della crescita della vegetazione di copertura	14
7.3	Analisi dei parametri termici attraverso il lastrico solare in presenza e in assenza di sistema <i>Blue-Green</i>	20
7.3.1	Analisi dei flussi termici	21
7.3.2	Analisi delle temperature superficiali.....	23
7.4	Comparazione degli effetti termici del Tetto <i>Blue-Green</i> (Ed. F64) rispetto al Tetto Verde (Ed. F92) in ENEA.....	25
7.4.1	Andamento della temperatura dell'aria e della radiazione solare nei due edifici (F64 e F92)	26
7.4.2	Confronto tra Tetto <i>Blue-Green</i> e Tetto Verde sull'isolamento termico	27
7.5	Valutazione della performance idraulica del sistema	30
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	32
9	Pubblicazioni scientifiche.....	33
10	Eventi di disseminazione	34

Indice delle figure

Figura 1 – Andamenti dei dati microclimatici registrati dalla centralina esterna connessa alla stazione meteorologica e visualizzati attraverso la piattaforma online Protolabiot. Dall'alto verso il basso: RH, T, RG, GR, Wind_Dir e Wind_Speed	13
Figura 2- A) Composizione delle quattro parcelle a livello di substrato e di vegetazione. In P1 e P2 al substrato è stato aggiunto biochar; per quanto riguarda la copertura vegetale, P1 e P4 sono a prato fiorito mentre P2 e P3 sono a <i>Sedum</i> . B) Rappresentazione schematica del posizionamento dei sensori di temperatura (T) ed umidità (RH) per ciascuna delle quattro parcelle. Partendo dall'alto, i sensori sono stati installati nelle seguenti posizioni: a 20 cm e a 2 cm soprasuolo (posizioni 1 e 2) e a 3-4 cm e a 6-8 cm sottosuolo (posizioni 3 e 4), a seconda della vegetazione e dello spessore del substrato (8 cm per il <i>Sedum</i> e 13 cm per il prato fiorito)	15
Figura 3 - A) Specie vegetali utilizzate per il prato fiorito. B) Fotografia della P1 a prato fiorito alla fine del trapianto delle piantine in data 15 marzo 2024. C) Prima irrigazione abbondante del campo prova, dall'alto con tubo, con P1 in primo piano	16
Figura 4 - Stima degli indici di copertura (<i>Cover Index</i>) da marzo ad ottobre 2024 a partire da immagini per la parcella 1, a sinistra, e per la parcella 2, a destra. Le immagini sono state acquisite il giorno 22 di ogni mese a mezzogiorno. A destra dell'immagine originale vi è la corrispondente estratta in bianco e nero	17
Figura 5 - Andamento orario delle temperature (°C) dal 24 aprile 2024 al 15 gennaio 2025 misurate nelle quattro parcelle (P1, P2, P3 e P4). Nel caso di P1, Air_T_P11: T dell'aria a 20 cm dal suolo P1-specifico; Air_T_P12: T dell'aria a 2 cm dal suolo P1-specifico; Soil_T_P13: T del suolo a 3-4 cm di profondità P1-specifico; Soil_T_P14: T del suolo a 6-18 cm di profondità P1-specifico	18
Figura 6 - Andamento orario delle temperature (°C) dal 1° al 7 luglio 2024 misurate nelle quattro parcelle (P1, P2, P3 e P4). Nel caso di P1, Air_T_P11: T dell'aria a 20 cm dal suolo P1-specifico; Air_T_P12: T dell'aria a 2 cm dal suolo P1-specifico; Soil_T_P13: T del suolo a 3-4 cm di profondità (superficiale) P1-specifico; Soil_T_P14: T del suolo a 6-18 cm di profondità (profondo) P1-specifico	19
Figura 7 - Risultati dell'analisi di dissimilarità condotta sui dati di temperatura misurate nelle quattro parcelle (P1, P2, P3 e P4) nella settimana estiva dal 1° al 7 luglio 2024. Matrice di prossimità elaborata con <i>SPSS Statistics</i> . Nel caso di P1, Air_T_P11: T dell'aria a 20 cm dal suolo P1-specifico; Air_T_P12: T dell'aria a 2 cm dal suolo P1-specifico; Soil_T_P13: T del suolo a 3-4 cm di profondità P1-specifico; Soil_T_P14: T del suolo a 6-18 cm di profondità P1-specifico. I valori di distanza euclidea considerati più significativi sono cerchiati in rosso	20
Figura 8 - Posizionamento dei sensori per l'analisi termica. A) Schema del posizionamento dei sensori di temperatura superficiale (TS) sul tetto e sul soffitto delle stanze sottostanti, a livello di P4, C ₋₁ e C ₋₂ . B) Fotografia del soffitto della stanza C ₋₂ , che mostra il posizionamento della piastra di flusso e dei sensori per la temperatura superficiale (TS) sul soffitto e la temperatura ambiente della stanza	21
Figura 9 - Andamento orario dei flussi termici relativi alla Parcella 4 (piastra di flusso HFP01-P4) e alle due stanze di controllo prive di sistema <i>Blue-Green</i> (piastre di flusso HFP01-C1 e HFP01-C2). A) Confronto dei flussi termici nelle tre posizioni oggetto di studio; B) confronto dei flussi termici nelle posizioni P4 e C1; C) confronto dei flussi termici nelle posizioni P4 e C2; D)	

flussi termici registrati in P4 attraverso il sistema <i>Blue-Green</i> . Periodo di monitoraggio: aprile 2024 – dicembre 2025.....	22
Figura 10 – Andamento orario dei flussi termici attraverso il soffitto delle stanze P4, C1 e C2 e la corrispondente superficie del lastrico solare. Periodo dal 10 al 16 agosto	23
Figura 11 –Andamento orario delle temperature superficiali (TS) relative al soffitto delle stanze (<i>ceiling</i>) P4, C ₋₁ e C ₋₂ e alla corrispondente superficie del lastrico solare (<i>roof</i>). Periodo dal 10 al 16 agosto 2024.....	24
Figura 12 – Andamento orario della temperatura dell’aria nella stanza P4 (arancio continuo), della temperatura dell’aria esterna rilevata dalla centralina meteo sul tetto (arancio puntini), dei flussi termici attraverso la stratigrafia in posizione P4 (blu tratteggiato).....	25
Figura 13 – Edificio F92 C.R. ENEA Casaccia, Roma. A) Rappresentazione dell’orientamento dell’edificio F92 rispetto ai punti cardinali. I lati a Sud Est e Sud Ovest, evidenziati in verde, sono quelli interessati dalla presenza della parete e del tetto verde. B) Vista dell’edificio F92 dal lato Sud, C) Particolare della porzione di Tetto Verde a <i>Sedum</i>	26
Figura 14 – Andamento orario della temperatura dell’aria (A) e della radiazione solare (B) rilevate dalla centralina meteo posizionata sul tetto dell’edificio F92. Periodo dal 1° gennaio al 31 dicembre 2024	26
Figura 15– Andamento orario della temperatura dell’aria rilevata dalle centraline meteo posizionate sui tetti degli edifici F92 e F64. A) Periodo estivo, dal 1 al 7 agosto 2024; B) periodo invernale, dal 1 al 7 dicembre 2024.....	27
Figura 16– Andamento orario della radiazione solare rilevata dalle centraline meteo posizionate sui tetti degli edifici F92 e F64. A) Periodo estivo, dal 1 al 7 agosto 2024; B) periodo invernale, dal 1 al 7 dicembre 2024	27
Figura 17. A) Andamento orario della temperatura dell’aria negli edifici F92 e F64 (sensori: AT01 e Meteo AirTH); B) andamento orario della radiazione solare globale negli edifici F92 e F64 (sensori: GR01 e Meteo GR); C) andamento orario del livello dell’acqua nel bacino primario del Tetto <i>Blue-Green</i> dell’edificio F64 (sensore: Level). Periodo dal 1° al 30 giugno 2024	28
Figura 18. In alto sono riportate le differenze tra gli andamenti giornalieri della temperatura superficiale tra il lastrico solare vegetato e non vegetato nei due edifici. In basso è illustrata la copertura a <i>Sedum</i> sul Tetto verde dell’edificio F92 (a sinistra) e sul Tetto <i>Blue-Green</i> dell’edificio F64 (a destra). Periodo dal 12 al 15 giugno 2024.....	29

Indice delle tabelle

Tabella 1. Letture degli input idrici in m³ di acqua fornita per l'irrigazione. I dati rappresentano i volumi di irrigazione nel bacino primario e a livello di ogni singola parcella. A livello di bacino primario sono rappresentati i volumi di acqua prelevati dall'acquedotto.....31

1 Risultati attesi

I risultati attesi dalla LA2.4 come descritti nella proposta progettuale sono riassunti nei seguenti punti:

- Analisi dei dati microclimatici rilevati sul Tetto *Blue-Green*;
- Analisi dei dati termici attraverso la stratigrafia del Tetto *Blue-Green* e confronto con la stratigrafia di controllo;
- Analisi dei dati correlati alla performance idraulica del Tetto *Blue-Green* e stima del risparmio idrico conseguito/conseguibile;
- Valutazione della *performance* termica del prototipo di Tetto *Blue-Green* rispetto al prototipo di Tetto Verde estensivo (Ed. 92 Area Capanna, C.R. Casaccia, Roma).

2 Risultati ottenuti

La LA2.4 ha avuto una durata di 12 mesi dal 1° gennaio al 31 dicembre 2024, rappresentando una diretta continuazione della LA2.3 che ha avuto durata di 36 mesi dal 1° gennaio 2022 al 31 dicembre 2024. Il Tetto *Blue-Green* è stato installato a fine dicembre 2023. I risultati ottenuti nella LA2.4 sono allineati con le previsioni esplicitate nella proposta progettuale, come riportati nella precedente Sezione 1 sui Risultati attesi, e di seguito commentati:

- Analisi dei dati microclimatici rilevati sul Tetto *Blue-Green*. La registrazione dei dati inizia a partire da metà dicembre 2023. Dopo una fase iniziale di collaudo, la corretta registrazione da parte della stazione meteorologica e della sensoristica microclimatica sul tetto si fa partire dal 21 dicembre 2023. Le misure, ancora in corso, vengono acquisite continuamente ogni 30 minuti (ad ogni hh:00 e hh:30). Unica eccezione riguarda i sensori di temperatura (T) e umidità (RH) posizionati nel substrato, specifici per le quattro parcelle. Infatti, riguardo il substrato, questo può essere trattato come un sistema naturale multifase complesso che tende ad "auto-organizzarsi" nel tempo; inoltre, diversi fattori incluso la profondità di inserimento possono influenzare notevolmente il dato rilevato a livello del suolo. Per questo motivo, dopo un certo periodo di tempo ritenuto necessario per la compattazione del substrato sulla superficie della stratigrafia, i sensori di T e RH, Soil_H3 e Soil_H4, sono stati correttamente riposizionati il 23 aprile 2024 e da quella data si fanno partire le registrazioni utili all'analisi dei dati di suolo nelle quattro parcelle. È importante sottolineare che la vegetazione sul Tetto *Blue-Green* è stata fatta sviluppare a partire da marzo 2024; per il prato fiorito è stato eseguito il trapianto delle piantine il 15 marzo 2024, mentre per il *Sedum* la copertura è stata indotta da un primo spargimento tramite talee il 15 dicembre 2023 ed uno seguente il 15 marzo 2024. Come atteso, la vegetazione ha richiesto del tempo per crescere ed inverdire ad un buon livello le quattro parcelle del Tetto *Blue-Green*. L'inverdimento è stato valutato tramite un indice di copertura basato sulla codifica di immagini digitali che, in buona parte, è risultato consistente con l'inverdimento apprezzato durante le osservazioni dei campi prova.
- Analisi dei dati termici attraverso la stratigrafia del Tetto *Blue-Green* e confronto con la stratigrafia di controllo. Il set di dati termici misurati ai fini della valutazione termica ed energetica delle prestazioni del sistema *Blue-Green* viene acquisito da sensori posizionati all'esterno sul tetto dell'edificio F64 e nelle stanze sottostanti. Esternamente, sono stati predisposti dei sensori di temperatura superficiale (TS), collocati a contatto con la superficie del massetto originale del tetto, al di sotto della stratigrafia al centro della parcella 4 (TS_roof_P4) e a livello delle posizioni controllo prive di stratigrafia *Blue-Green*, C1 e C2 (TS_roof_C1 e TS_roof_C2). Internamente, nelle stanze sottostanti le posizioni monitorate (sotto la parcella 4, in C1 e in C2), sono stati registrati i valori di temperatura dell'aria (T air) delle stanze e di temperatura di contatto sul soffitto (TS_ceiling). Inoltre, attraverso le piastre di flusso termico, installate sul soffitto delle stanze oggetto d'indagine, in prossimità dei sensori TS interni, sono stati acquisiti i valori dei flussi termici. Le misure, ancora in corso, sono sincronizzate ai dati microclimatici. Anche i dati di temperatura per l'analisi termica partono dal 21 dicembre 2023, con un unico "gap" nei dati acquisiti da TS_roof_C2, dal 15 marzo al 5 aprile 2024, dovuto a un guasto del sensore. Diversamente, i dati di flussimetria utili all'analisi sono stati registrati a partire dal 27 marzo 2024 attraverso la piattaforma DeltaLINK-Cloud (www.deltalink-cloud.com). I dati delle piastre HFP01 registrati ogni 30 minuti sono il risultato del valore medio di 6 acquisizioni, una ogni 5 minuti.

Dai risultati emerge chiaramente l'effetto vantaggioso rilevante del sistema *Blue-Green*: nella stagione estiva (aprile-settembre) i flussi termici attraverso P4 sono meno negativi che nelle stanze prive di stratigrafia (C₋₁ e C₋₂); nella stagione invernale (ottobre-gennaio) la situazione è invertita. Ciò si traduce, in estate, con una riduzione dell'ingresso di calore nella stanza P4 rispetto a C₋₁ e C₋₂. In inverno, la stratigrafia *Blue-Green* mostra una notevole riduzione di dispersione termica rispetto alle stanze C₋₁ e C₋₂. In termini di comfort estivo questo è un dato di particolare rilievo, in quanto impattante sul carico termico della stanza e indicatore di un equilibrio termico con un ridotto gradiente di temperatura. Si osserva inoltre una significativa riduzione dell'ampiezza di oscillazione dell'entità dei flussi termici scambiati. L'analisi delle temperature misurate a contatto del lastrico sono anch'essi fortemente indicativi di un beneficio significativo della stratigrafia *Blue-Green* soprattutto in estate, con TS_{roof_C4} praticamente costante e con oscillazioni minime, sempre al di sotto dei 30 °C, diversamente da TS_{roof_C1} e C2.

- Analisi dei dati correlati alla performance idraulica del Tetto *Blue-Green* e stima del risparmio idrico conseguito/conseguibile. Il sistema di monitoraggio ha rilevato i livelli d'acqua nel bacino primario e la quantità di pioggia, analizzando i consumi idrici per il bacino comune e per le singole parcelle. I risultati mostrano differenze nel consumo di acqua tra le varie parcelle, influenzate dalla presenza di biochar e dal tipo di copertura vegetale. Le parcelle con prato fiorito evidenziano un consumo idrico inferiore in quelle che contengono biochar, suggerendo che il materiale potrebbe migliorare la ritenzione dell'acqua. Le parcelle con *Sedum*, pur avendo un consumo complessivo più basso, mostrano differenze minori tra quelle con e senza biochar. Questi risultati suggeriscono che il biochar possa avere un effetto positivo sulla ritenzione idrica, in particolare nelle parcelle con prato fiorito. È importante considerare che i dati analizzati si riferiscono a un periodo di crescita delle piante, durante il quale il loro apparato radicale e la capacità di ritenzione idrica del suolo potrebbero non essere ancora completamente stabilizzati. Pertanto, per una valutazione più accurata e rappresentativa, sarà necessario monitorare i consumi idrici nel prossimo triennio, quando le piante saranno a regime e le condizioni del sistema si saranno stabilizzate. Questo permetterà di confermare o rivedere le attuali tendenze e di comprendere meglio l'interazione tra biochar, vegetazione e gestione dell'irrigazione nel lungo periodo.

- Valutazione della performance termica del prototipo di Tetto *Blue-Green* rispetto al prototipo di Tetto Verde estensivo (Ed. 92 Area Capanna, C.R. Casaccia, Roma).

I risultati dello studio evidenziano che il prototipo di Tetto *Blue-Green* dell'edificio F64 ha una maggiore capacità di mitigare il riscaldamento superficiale rispetto al prototipo di tetto verde estensivo dell'edificio F92, nonostante quest'ultimo abbia una copertura vegetale più estesa. Il confronto, effettuato nel periodo dal 12 al 15 giugno 2024, ha mostrato che durante il giorno il Tetto *Blue-Green* riduce in modo significativo la temperatura superficiale rispetto al tetto verde, grazie presumibilmente alla presenza dell'acqua nel bacino primario che accelera il raffreddamento. Sebbene il tetto verde offra una maggiore stabilità termica, riducendo le fluttuazioni di temperatura, il Tetto *Blue-Green* ha dimostrato una maggiore efficienza nel contenere il riscaldamento superficiale, anche quando la vegetazione è ancora in una fase iniziale di sviluppo.

3 Prodotti attesi

Il prodotto atteso (*deliverable*) come da proposta progettuale per la LA2.4 è:

- Rapporto tecnico di sintesi delle attività e dei risultati attesi sopra descritti.

4 Prodotti sviluppati

Il prodotto ottenuto (*deliverable*) è il Rapporto tecnico di sintesi delle attività e dei risultati attesi.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

La LA2.4 non presenta nessuno scostamento, avendo svolto le attività e raggiunto i risultati previsti da capitolato.

6 Sintesi delle attività svolte

In sintesi, le attività svolte hanno riguardato:

- La registrazione di dati per il monitoraggio del microclima e dei flussi termici attraverso la stratigrafia del Tetto *Blue-Green* e per il monitoraggio dell'acqua in entrata e in uscita dal sistema prototipale.
- Il controllo della crescita della vegetazione sulle quattro parcelle del Tetto *Blue-Green*, incluso le opportune operazioni di fertilizzazione e manutenzione, e la valutazione quali-quantitativa della copertura vegetale, anche in relazione ai parametri microclimatici misurati.
- L'analisi dei flussi termici attraverso il lastrico solare in presenza e in assenza di sistema *Blue-Green*, anche in relazione alle temperature misurate a contatto del solaio e all'interno delle stanze sottostanti il tetto.
- La comparazione degli effetti termici del Tetto *Blue-Green* rispetto al Tetto Verde sviluppato in ENEA (Ed. 92 Area Capanna, C.R. Casaccia, Roma).
- La valutazione della *performance* idraulica del sistema del risparmio idrico conseguibile nelle specifiche condizioni sperimentali e microclimatiche.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Monitoraggio del microclima, dei flussi termici e dell'acqua in entrata e in uscita attraverso la stratigrafia del Tetto *Blue-Green*

La registrazione dei dati da parte della stazione meteorologica e della sensoristica microclimatica sul tetto parte dal 21 dicembre 2023. Per i sensori di temperatura (T) e umidità (RH) del suolo, specifici per le quattro parcelle, i dati utili all'analisi iniziano dal 23 aprile 2024 dopo il loro riposizionamento in seguito alla compattazione del substrato. Gli andamenti dei principali parametri microclimatici rilevati sul Tetto *Blue-Green*, quali T, RH, radiazione globale (RG), pioggia (RG), direzione e velocità del vento (Wind_Dir e Wind_Speed), così come vengono visualizzati attraverso la piattaforma relativa alla centralina esterna, sono riportati in Figura 1, da dicembre 2023 a gennaio 2025.

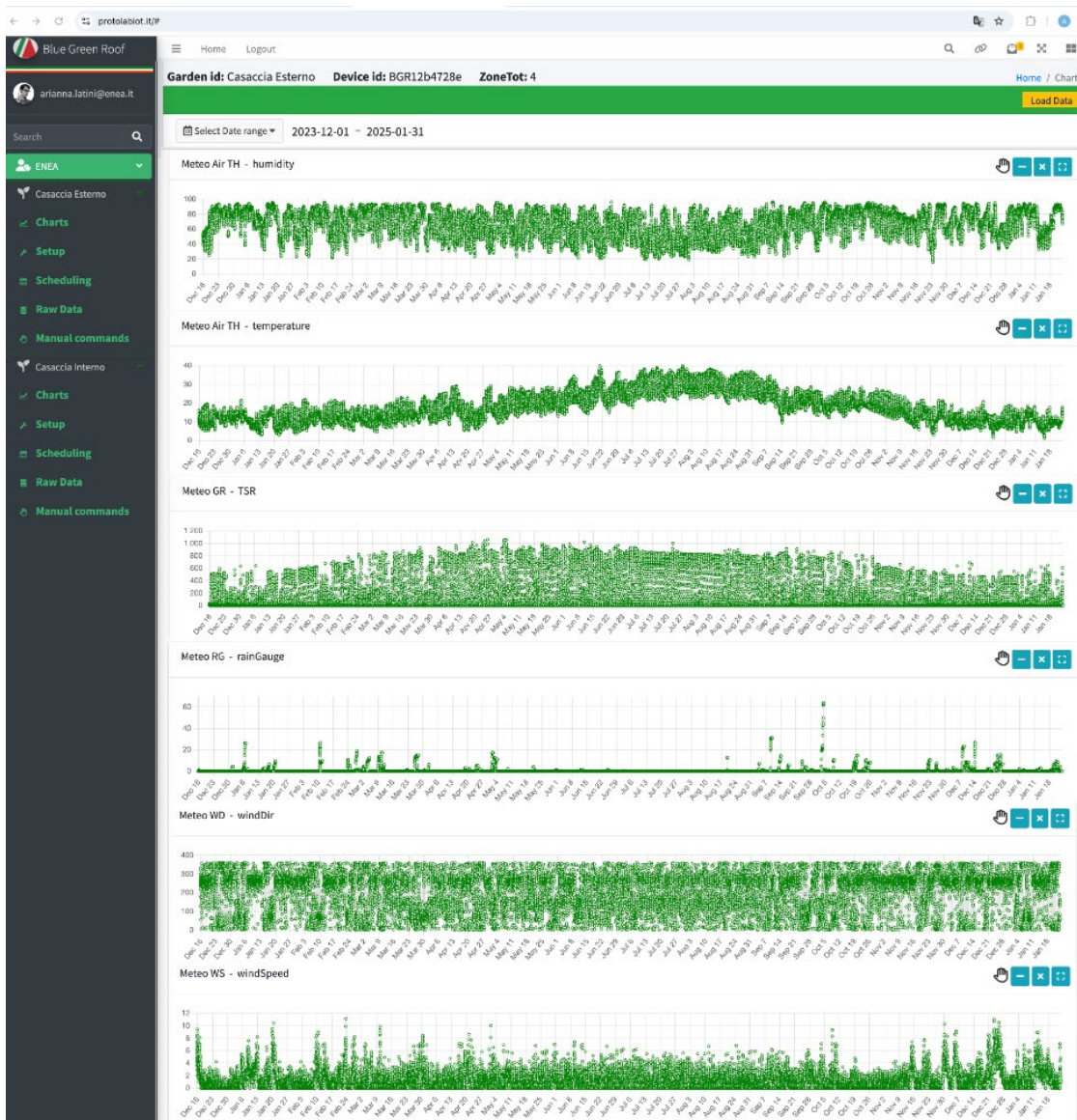


Figura 1 – Andamenti dei dati microclimatici registrati dalla centralina esterna connessa alla stazione meteorologica e visualizzati attraverso la piattaforma online Protolabiot. Dall'alto verso il basso: RH, T, RG, GR, Wind_Dir e Wind_Speed

Le misure dei dati termici attraverso la stratigrafia del Tetto *Blue-Green*, a livello delle 3 localizzazioni selezionate (P4, C₋₁ e C₋₂), sono sincronizzate ai dati microclimatici; i rilievi delle temperature di contatto (temperature di superficie, TS) partono dal 21 dicembre 2023 ed i dati di flussimetria dal 27 marzo 2024.

L'acqua (INPUT e OUTPUT) viene monitorata con precisione all'interno del sistema attraverso la piattaforma Protolabiot. In particolare, l'acqua in ingresso (INPUT) viene valutata attraverso i seguenti dispositivi:

- pluviometro
- sensore di livello dell'acqua del bacino primario
- contatori dell'acqua per l'irrigazione in entrata, tra cui il contatore generico del bacino primario e quelli specifici per ciascuna delle quattro parcelle
- sensori di umidità del suolo, rilevata a due differenti profondità per ciascuna parcella.

L'acqua OUTPUT è monitorata tramite il sensore di livello che, oltre all'acqua in entrata (sia l'acqua di irrigazione che l'acqua che percola dal substrato in caso di pioggia superiore al quantitativo consentito dalla capacità di campo del suolo), registra gli scarichi del bacino attraverso i pluviali.

7.2 Valutazione della crescita della vegetazione di copertura

Ai fini dell'ottenimento di un livello di copertura vegetale adatto affinché le piante possano espletare la funzione di schermatura della radiazione solare e raffreddamento dell'aria per evapotraspirazione in estate e di isolamento termico dell'edificio in inverno, l'attività ha previsto l'osservazione nel tempo dell'avanzamento della crescita delle piante sul Tetto *Blue-Green*, anche in relazione alle condizioni microclimatiche locali. In particolare, è stata svolta un'analisi comparativa tra le quattro parcelle, analizzando i parametri temperatura e umidità in prossimità della vegetazione, ai fini di evidenziare eventuali effetti dovuti all'aggiunta di biochar come ammendante nel substrato e alla tipologia di specie vegetali (*Sedum* o prato fiorito).

7.2.1 Crescita della vegetazione di copertura

Il campo prova realizzato è costituito da 4 parcelle sperimentali, indipendenti l'una dall'altra. P1 e P2 contengono biochar nel substrato, a differenza di P3 e P4 che ne sono prive; P1 e P3 sono a prato fiorito mentre P2 e P4 sono a mix di *Sedum* (Figura 2A). Ciascuna parcella è dotata di quattro sensori di temperatura e umidità, due aerei soprasuolo e due nel sottosuolo, posizionati a diversi livelli di altezza fuori terra o di profondità nel suolo (Figura 2B). Per i dettagli sulla progettazione della copertura vegetale e del substrato nel campo prova si rimanda ai rapporti tecnici sintetico e completo relativi alla LA2.3 condotta nei due anni precedenti.

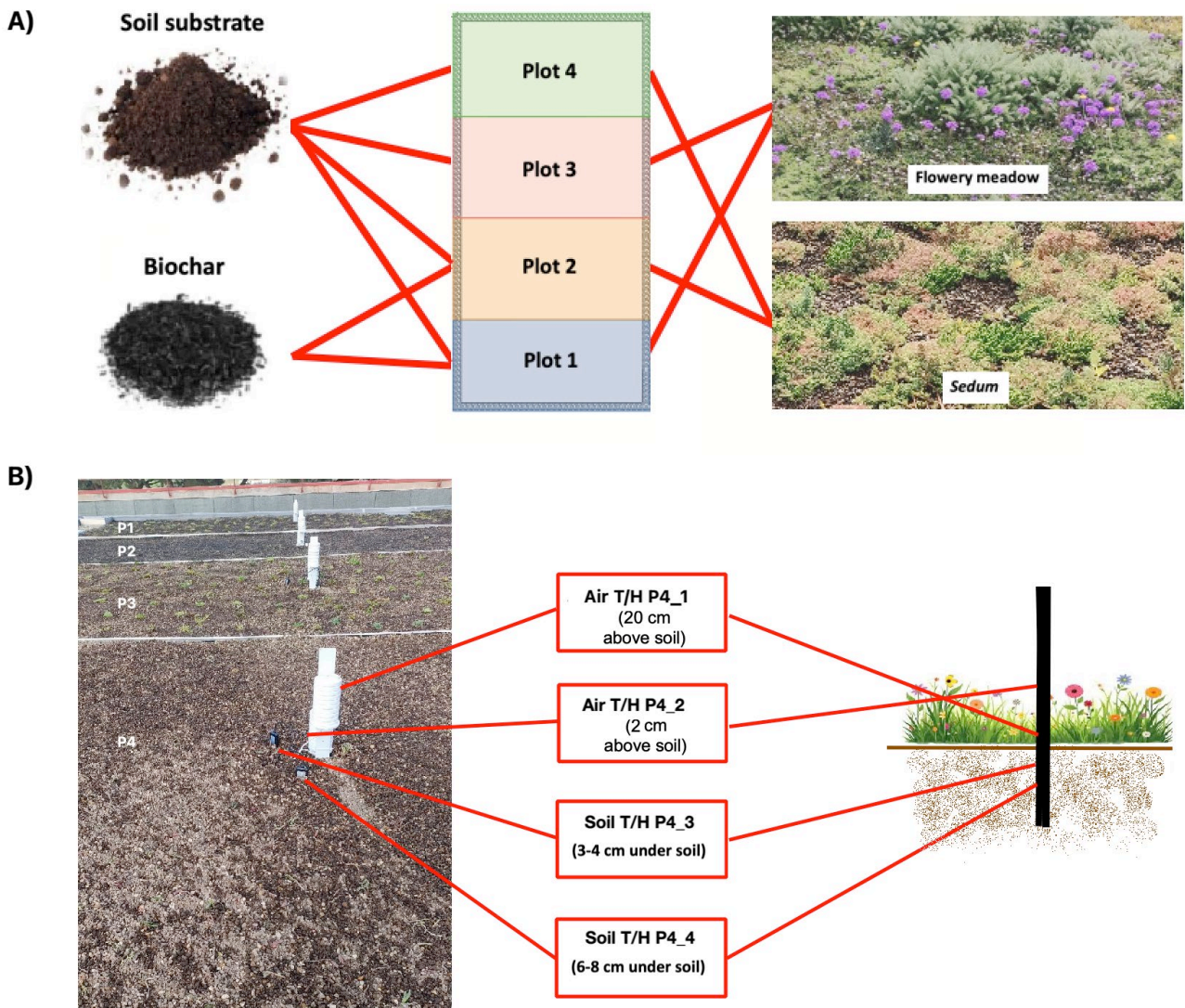


Figura 2- A) Composizione delle quattro parcelle a livello di substrato e di vegetazione. In P1 e P2 al substrato è stato aggiunto biochar; per quanto riguarda la copertura vegetale, P1 e P4 sono a prato fiorito mentre P2 e P3 sono a *Sedum*. B) Rappresentazione schematica del posizionamento dei sensori di temperatura (T) ed umidità (RH) per ciascuna delle quattro parcelle. Partendo dall'alto, i sensori sono stati installati nelle seguenti posizioni: a 20 cm e a 2 cm soprassuolo (posizioni 1 e 2) e a 3-4 cm e a 6-8 cm sottosuolo (posizioni 3 e 4), a seconda della vegetazione e dello spessore del substrato (8 cm per il *Sedum* e 13 cm per il prato fiorito)

Le specie selezionate per la vegetazione in copertura sono mediterranee perenni, a basso fabbisogno idrico e adatte al secco, con richiesta minima di manutenzione. Il miscuglio di specie per il prato fiorito ha tenuto conto degli abbinamenti che hanno mostrato successo, avvalendosi del suggerimento di vivaisti specializzati in "dry garden" (Figura 3A). Le piantine sono state trapiantate il 15 marzo 2024, interrando completamente nel substrato, con una densità di circa 5 piantine per mq di superficie (Figura 3B). Dopo una prima irrigazione molto abbondante (Figura 3C) durante il periodo iniziale, per le ulteriori aggiunte di acqua sono state valutate l'umidità del terreno e la condizione delle piantine. Molta attenzione è stata posta alla fertilizzazione, con l'obiettivo di minimizzare l'apporto chimico e di pesticidi, che è stata somministrata solo in una fase successiva, per stimolare la crescita delle piante e lo sviluppo della copertura verde ai fini delle analisi termiche da eseguire nella stagione estiva.



Figura 3 - A) Specie vegetali utilizzate per il prato fiorito. B) Fotografia della P1 a prato fiorito alla fine del trapianto delle piantine in data 15 marzo 2024. C) Prima irrigazione abbondante del campo prova, dall'alto con tubo, con P1 in primo piano

Nelle parcelle a *Sedum* è stato utilizzato un mix di specie che include: *S. hybridum* "Immergrünchen", *S. album murale* "Coral carpet" e "Athoum", *S. anopetalum montanum*, *S. acre* e *delosperma*, *S. sexangulare*, *S. lydium*, *S. spurium*. Il *Sedum* è stato messo a dimora mediante lo spaglio di talee in quantità di 80-100 g/mq, di seguito interrate tramite un rastrello frangizolle. Sono stati effettuati due spargimenti di talee, il 15 dicembre 2023 e, a distanza di 3 mesi, il 15 marzo 2024.

La crescita della vegetazione è stata monitorata settimanalmente per via "occhiometrica". La copertura vegetale ha iniziato ad estendersi significativamente dalla seconda metà di maggio e si è iniziato ad ottenere un buon livello di inverdimento delle quattro parcelle a partire dalla fine del mese di agosto.

7.2.2 Valutazione dell'inverdimento tramite un indice di copertura

Tramite le due videocamere opportunamente posizionate, sono stati effettuati degli scatti quotidiani a livello delle parcelle P1-P2 e P3-P4, rispettivamente, che hanno reso possibile la realizzazione di *time-lapse* per visualizzare in pochi secondi l'inverdimento delle parcelle

durante i mesi di sviluppo della vegetazione e di valutare l'indice di copertura in momenti stabiliti. Allo scopo è stato utilizzato l'applicativo "Foliage" (<https://andres-patrignani.github.io/foliage/>) per l'elaborazione di immagini *in batch* della copertura vegetale. In Figura 4, a titolo di esempio, si mostrano i valori del *Cover Index* calcolati sulle immagini acquisite il giorno 22 di ogni mese da marzo ad ottobre 2024, alle ore 12:00, per P1 e P2.












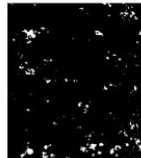

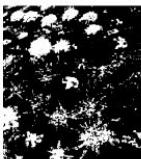

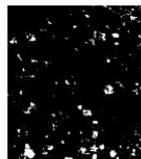


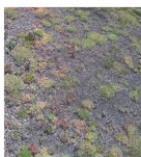
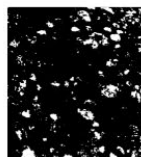



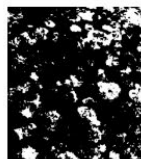



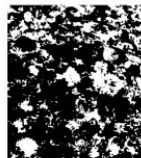

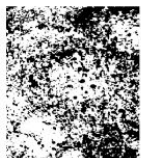

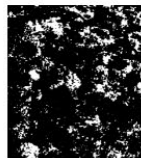
Parcel 1				Parcel 2			
Original	Classified	Filename	Cover	Original	Classified	Filename	Cover
		P1_March	1.9			P2_March	0.8
		P1_April	4.1			P2_April	0.3
		P1_May	19.5			P2_May	3
		P1_June	19.4			P2_June	4.3
		P1_July	14.1			P2_July	10.1
		P1_Agoust	47.4			P2_August	18.2
		P1_September	70.6			P2_September	30.6
		P1_October	58.9			P2_October	15.8

Figura 4 – Stima degli indici di copertura (*Cover Index*) da marzo ad ottobre 2024 a partire da immagini per la parcella 1, a sinistra, e per la parcella 2, a destra. Le immagini sono state acquisite il giorno 22 di ogni mese a mezzogiorno. A destra dell'immagine originale vi è la corrispondente estratta in bianco e nero

7.2.3 Analisi comparativa dei valori di temperatura e umidità a livello delle quattro parcelle

Analisi annuale delle temperature

In Figura 5 si mostrano gli andamenti dei dati di T, acquisiti in tempo reale ogni 30 minuti, dai quattro sensori (Figura 2B) per ciascuna parcella, dal 20 aprile 2024 al 15 gennaio 2025. Si nota che le oscillazioni di T nel periodo invernale sono inferiori rispetto al periodo estivo, soprattutto per il suolo, ove si osservano ampiezze picco-picco inferiori.

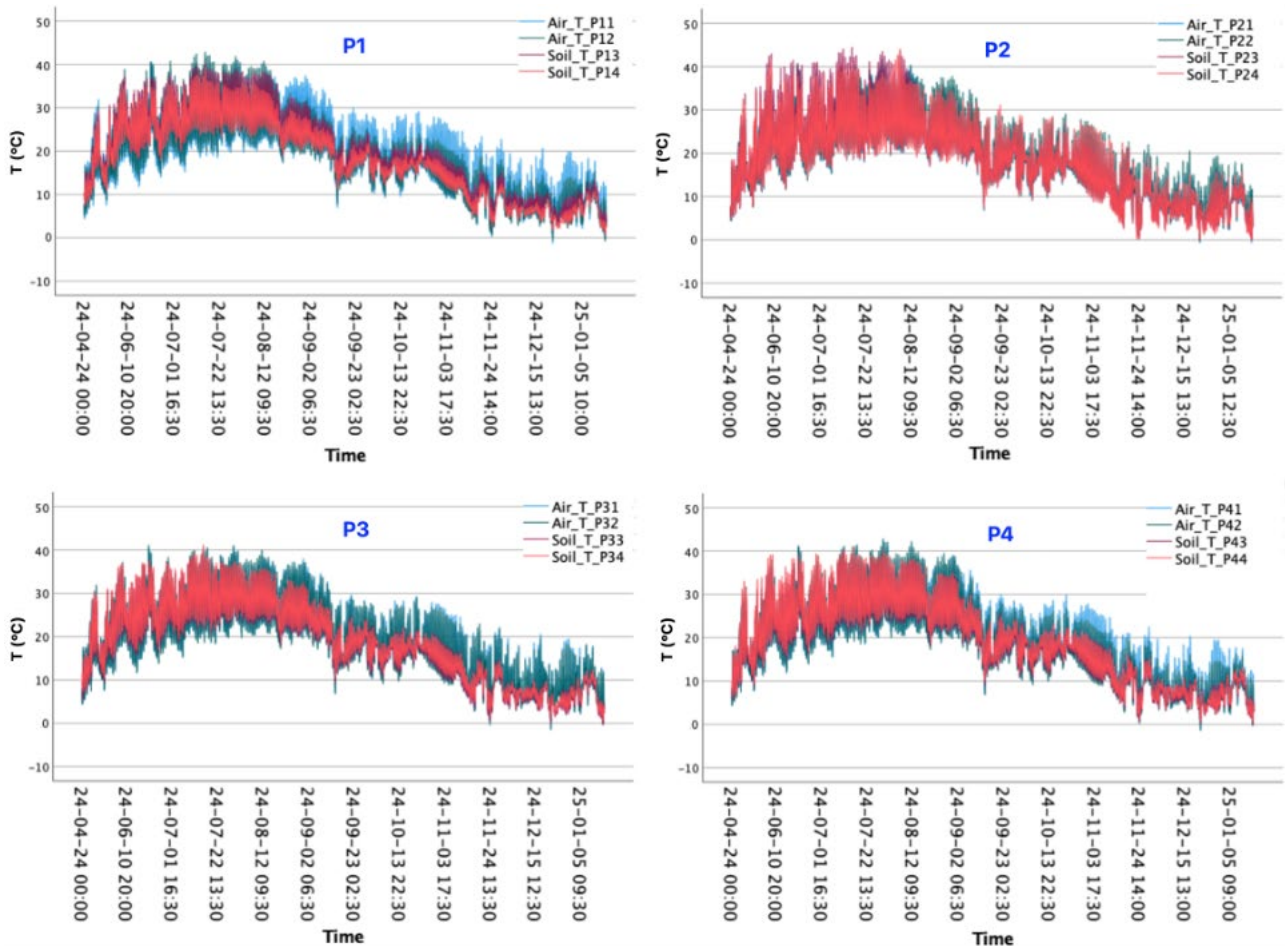


Figura 5 – Andamento orario delle temperature (°C) dal 24 aprile 2024 al 15 gennaio 2025 misurate nelle quattro parcelle (P1, P2, P3 e P4). Nel caso di P1, Air_T_P11: T dell'aria a 20 cm dal suolo P1-specifico; Air_T_P12: T dell'aria a 2 cm dal suolo P1-specifico; Soil_T_P13: T del suolo a 3-4 cm di profondità P1-specifico; Soil_T_P14: T del suolo a 6-18 cm di profondità P1-specifico

Analisi settimanale delle temperature in estate

Come periodo esemplificativo si mostra l'andamento di T nella prima settimana di luglio (1-7 luglio 2024), scelta sulla base dei dati di T dell'aria, radiazione solare e piovosità registrati dalla stazione meteo. Dalla Figura 6 si evince una maggiore variazione tra le parcelle di T nel suolo rispetto a T nell'aria. Fuori suolo, le maggiori differenze tra parcelle si riscontrano a livello del sensore posizionato a 2 cm di altezza dal piano del substrato (Air_T_Pn2).

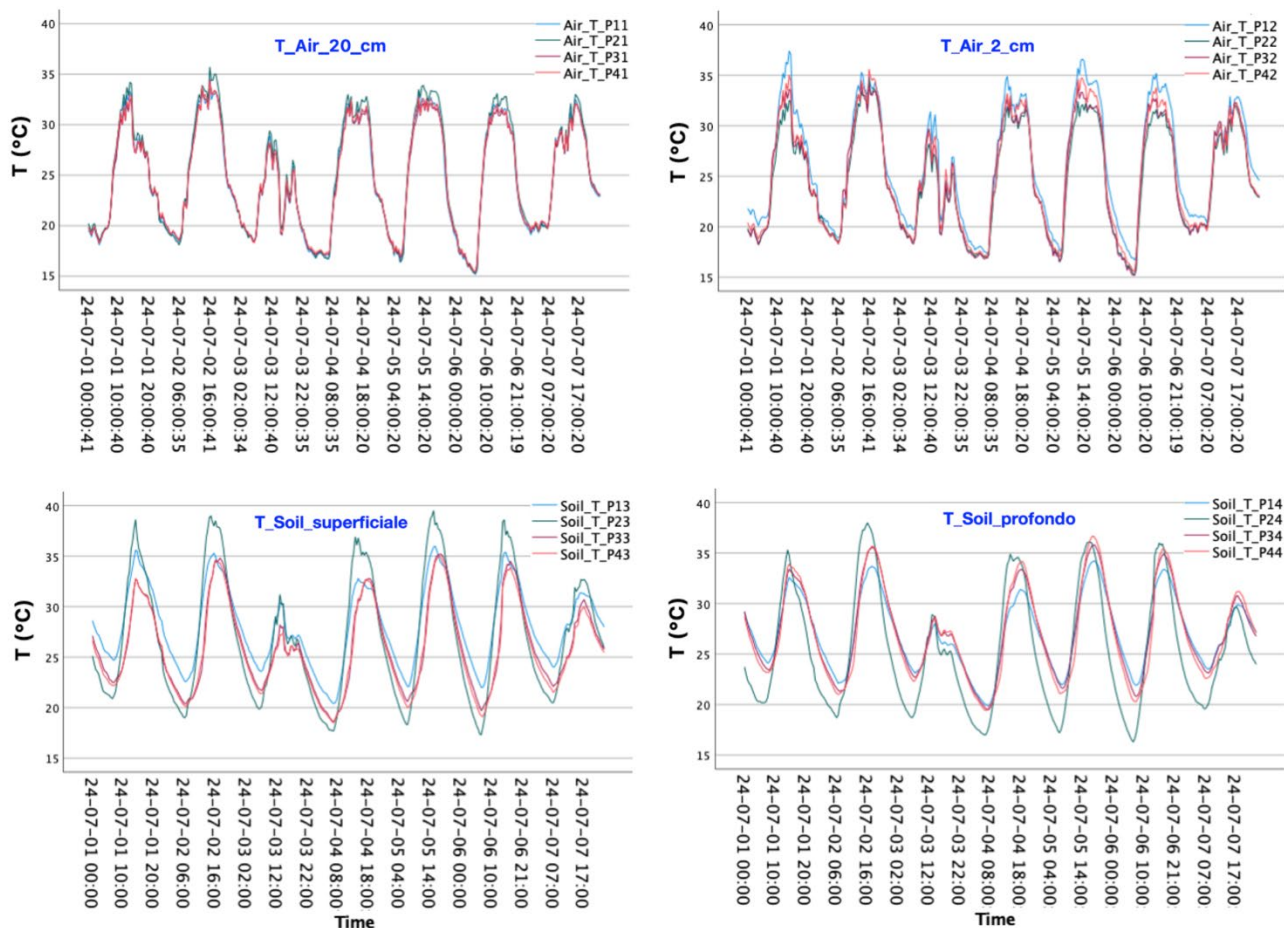


Figura 6 – Andamento orario delle temperature (°C) dal 1° al 7 luglio 2024 misurate nelle quattro parcelle (P1, P2, P3 e P4). Nel caso di P1, Air_T_P11: T dell'aria a 20 cm dal suolo P1-specifico; Air_T_P12: T dell'aria a 2 cm dal suolo P1-specifico; Soil_T_P13: T del suolo a 3-4 cm di profondità (superficiale) P1-specifico; Soil_T_P14: T del suolo a 6-18 cm di profondità (profondo) P1-specifico

Per valutare eventuali effetti del biochar o della tipologia di vegetazione sulla variabile T è stata effettuata un'analisi della distanza euclidea tra la T misurata nelle quattro parcelle attraverso una matrice di dissimilarità. Le matrici di prossimità per il caso specifico della prima settimana di luglio sono riportate in Figura 7. Si può verificare come i valori più elevati di distanza euclidea siano a carico delle temperature del suolo. In particolare, in P2, il sensore più superficiale misura valori di T sensibilmente diversi rispetto alle altre parcelle, differenziandosi maggiormente rispetto a P3, seguito da P4 ed infine da P1. Anche nel caso della misura di T del suolo in maggior profondità, il sensore più profondo in P2 legge valori che si discostano maggiormente da quelli delle altre parcelle. Questi primi risultati evidenziano un effetto della composizione di P2, e quindi biochar + prato fiorito, sulle più ampie variazioni di T osservate nel suolo rispetto alle altre parcelle (cfr. Figura 6, specificamente per i sensori di T nel suolo).

Riepilogo elaborazione casi

Valido		Casi Mancante		Totale	
N	Percentuale	N	Percentuale	N	Percentuale
334	99,7%	1	0,3%	335	100,0%

Matrici di prossimità (matrici di dissimilarità)

Distanza euclidea					
	Meteo_Air_T	Air_T_P11	Air_T_P21	Air_T_P31	Air_T_P41
Meteo_Air_T	,000	2,591	2,834	2,367	2,393
Air_T_P11	2,591	,000	1,238	1,060	1,093
Air_T_P21	2,834	1,238	,000	1,159	1,268
Air_T_P31	2,367	1,060	1,159	,000	,654
Air_T_P41	2,393	1,093	1,268	,654	,000

Distanza euclidea					
	Meteo_Air_T	Air_T_P12	Air_T_P22	Air_T_P32	Air_T_P42
Meteo_Air_T	,000	4,038	2,457	2,640	3,041
Air_T_P12	4,038	,000	2,997	3,400	2,291
Air_T_P22	2,457	2,997	,000	2,033	1,648
Air_T_P32	2,640	3,400	2,033	,000	2,125
Air_T_P42	3,041	2,291	1,648	2,125	,000

Distanza euclidea					
	Meteo_Air_T	Soil_T_P13	Soil_T_P23	Soil_T_P33	Soil_T_P43
Meteo_Air_T	,000	12,205	9,694	15,120	14,653
Soil_T_P13	12,205	,000	4,346	5,885	5,333
Soil_T_P23	9,694	4,346	,000	8,030	7,396
Soil_T_P33	15,120	5,885	8,030	,000	1,577
Soil_T_P43	14,653	5,333	7,396	1,577	,000

Distanza euclidea					
	Meteo_Air_T	Soil_T_P14	Soil_T_P24	Soil_T_P34	Soil_T_P44
Meteo_Air_T	,000	16,478	10,919	16,151	16,713
Soil_T_P14	16,478	,000	8,503	2,119	3,287
Soil_T_P24	10,919	8,503	,000	7,704	8,416
Soil_T_P34	16,151	2,119	7,704	,000	2,078
Soil_T_P44	16,713	3,287	8,416	2,078	,000

Figura 7 - Risultati dell'analisi di dissimilarità condotta sui dati di temperatura misurate nelle quattro parcelle (P1, P2, P3 e P4) nella settimana estiva dal 1° al 7 luglio 2024. Matrice di prossimità elaborata con SPSS Statistics. Nel caso di P1, Air_T_P11: T dell'aria a 20 cm dal suolo P1-specifico; Air_T_P12: T dell'aria a 2 cm dal suolo P1-specifico; Soil_T_P13: T del suolo a 3-4 cm di profondità P1-specifico; Soil_T_P14: T del suolo a 6-18 cm di profondità P1-specifico. I valori di distanza euclidea considerati più significativi sono cerchiati in rosso

7.3 Analisi dei parametri termici attraverso il lastrico solare in presenza e in assenza di sistema *Blue-Green*

La Figura 8 mostra il posizionamento dei sensori per l'analisi termica. Per ulteriori informazioni si rimanda ai rapporti tecnici sintetico e completo relativi alla LA2.3 dei due anni precedenti.

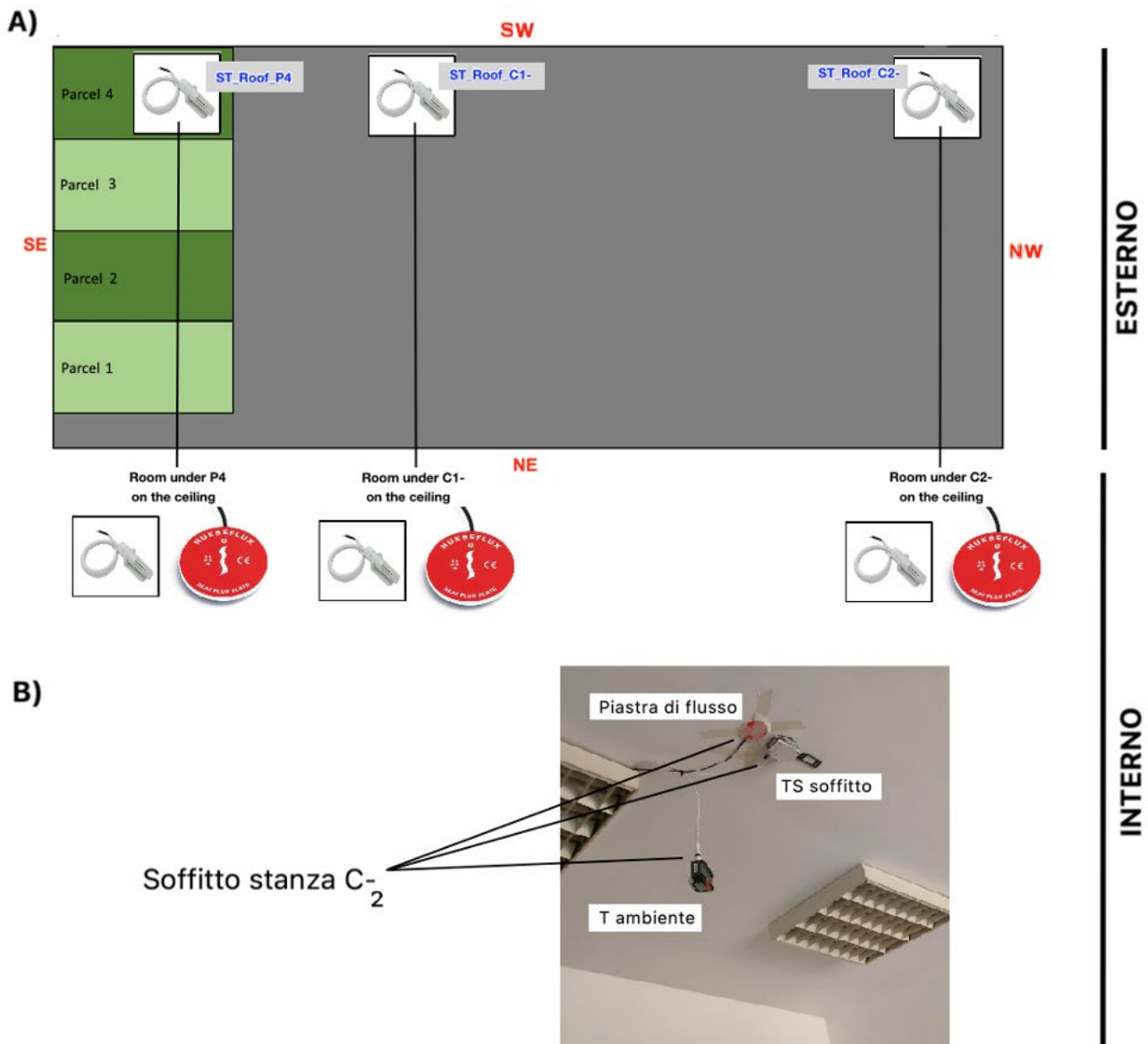


Figura 8 - Posizionamento dei sensori per l'analisi termica. A) Schema del posizionamento dei sensori di temperatura superficiale (TS) sul tetto e sul soffitto delle stanze sottostanti, a livello di P4, C-1 e C-2. B) Fotografia del soffitto della stanza C-2, che mostra il posizionamento della piastra di flusso e dei sensori per la temperatura superficiale (TS) sul soffitto e la temperatura ambiente della stanza

Le stanze dotate dei sensori di controllo sono utilizzate quotidianamente e climatizzate con un impianto ad aria primaria e *fan-coil*. La regolazione degli ambienti viene fatta con selettori di velocità del ventilatore a bordo *fan coil* e con termostati ambiente a parete per la selezione della T desiderata. La T di *set point* è, in genere, impostata a 20 °C d'inverno e 26 °C d'estate, ma l'azione degli utenti piuttosto che la loro presenza/assenza incide sull'effettiva temperatura mantenuta nei singoli ambienti.

7.3.1 Analisi dei flussi termici

L'effetto principale del Tetto *Blue-Green* è facilmente rilevabile dall'andamento dei flussi termici verso l'ambiente. I grafici in Figura 9 mostrano come i flussi termici misurati a livello della Parcella 4 (HFP01-P4) presentino differenze qualitative significative rispetto alle due stanze di controllo (piastre di flusso HFP01-C1 e HFP01-C2).

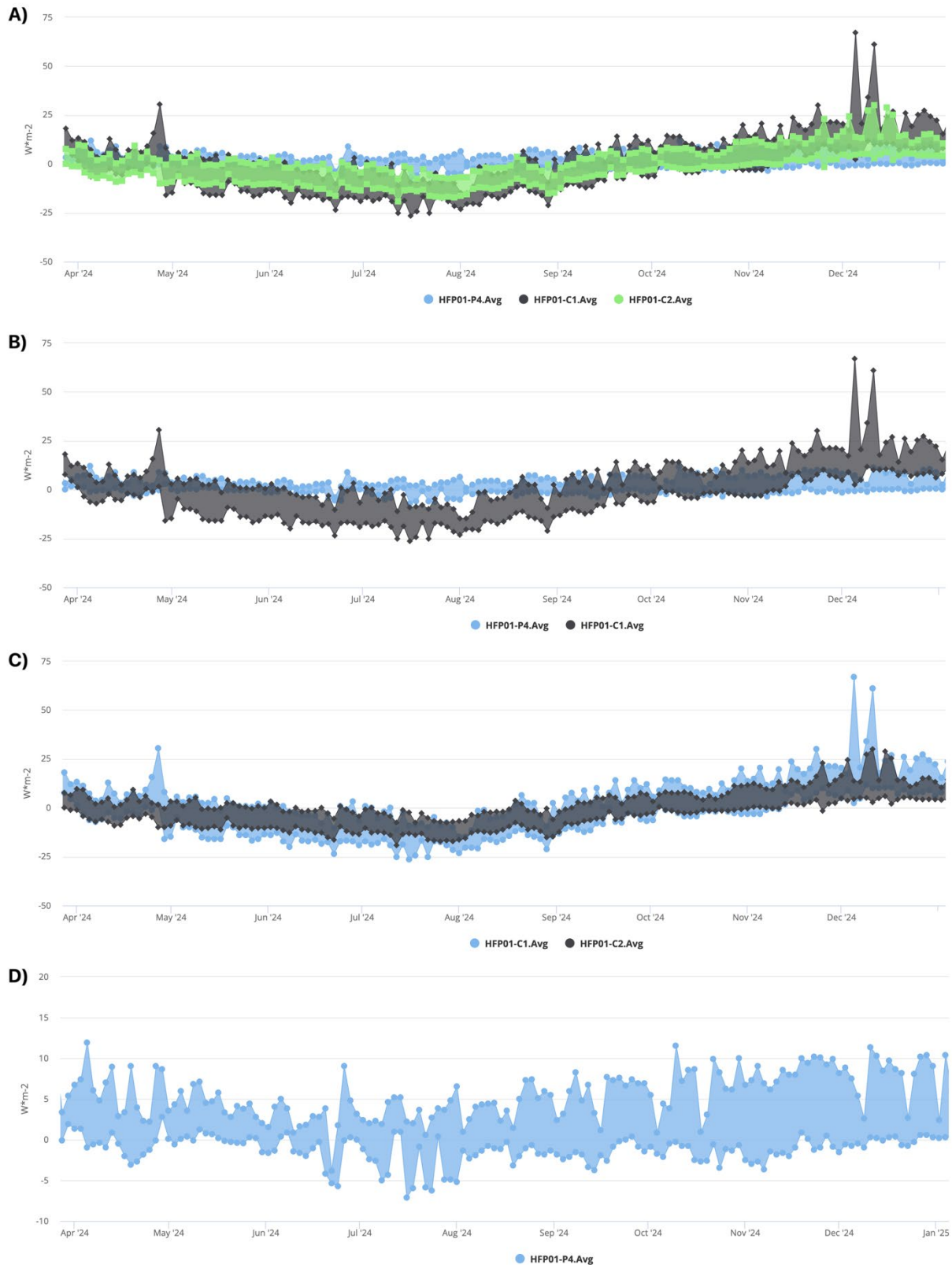


Figura 9 - Andamento orario dei flussi termici relativi alla Parcella 4 (piastra di flusso HFP01-P4) e alle due stanze di controllo prive di sistema *Blue-Green* (piastre di flusso HFP01-C1 e HFP01-C2). A) Confronto dei flussi termici nelle tre posizioni oggetto di studio; B) confronto dei flussi termici nelle posizioni P4 e C1; C) confronto dei flussi termici nelle posizioni P4 e C2; D) flussi termici registrati in P4 attraverso il sistema *Blue-Green*. Periodo di monitoraggio: aprile 2024 - dicembre 2025

Dalla Figura 9A emerge il beneficio termico rilevante del sistema *Blue-Green*: in estate i flussi termici attraverso P4 sono meno negativi che nelle stanze C₋₁ e C₋₂; in inverno la situazione è invertita. Inoltre, in P4 si osserva una significativa riduzione dell'ampiezza di oscillazione dell'entità dei flussi termici scambiati, che vede il range di scambio termico a livello di P4 compreso tra -7 e +12 [W/m²], a dispetto dei controlli C₋₁ e C₋₂ in cui si registrano oscillazioni comprese tra circa -25 e +30 [W/m²].

Un'analisi di maggior dettaglio dei flussi termici è riportata a titolo d'esempio sulla settimana estiva dal 10 al 16 agosto 2024, periodo di chiusura centro (Figura 10). Due i principali effetti positivi del Tetto *Blue-Green*:

- una notevole riduzione dell'intensità del flusso termico, mostrato dalla ridotta oscillazione della curva relativa a P4. Per di più, l'oscillazione avviene intorno al valore 0;
- la direzione del flusso termico, che presenta valori positivi (calore uscente dalla stanza) nelle ore diurne, mentre nelle ore notturne il flusso risulta entrante, a differenza dei controlli che vedono flussi costantemente entranti nelle stanze anche nelle ore diurne.

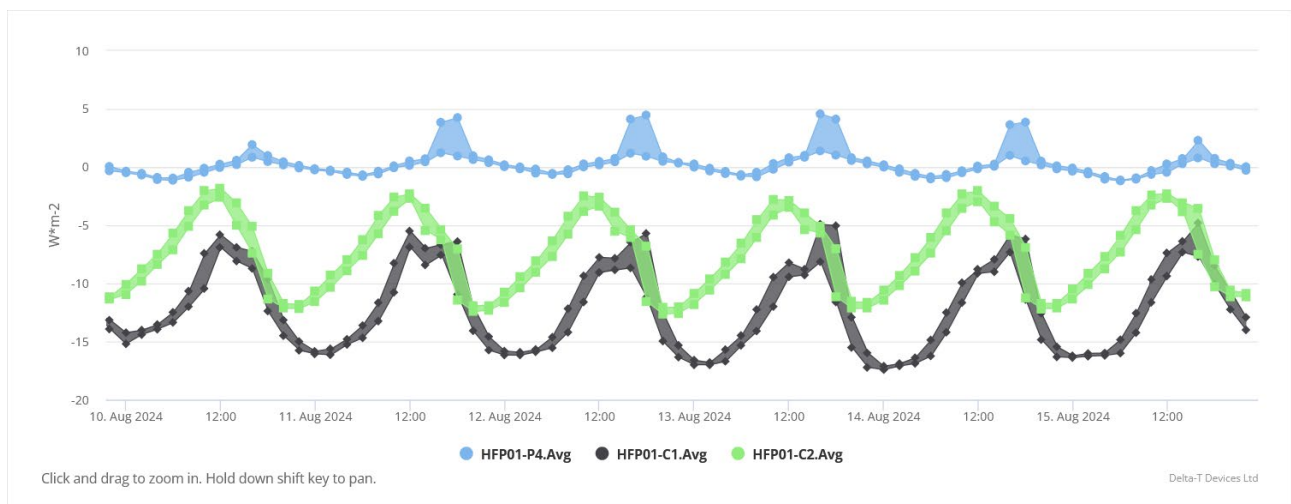


Figura 10 -10 Andamento orario dei flussi termici attraverso il soffitto delle stanze P4, C1 e C2 e la corrispondente superficie del lastrico solare. Periodo dal 10 al 16 agosto

7.3.2 Analisi delle temperature superficiali

Si riporta l'analisi durante il periodo estivo già considerato (10-16 agosto). La Figura 11 mostra per le tre stanze l'andamento di TS del soffitto della stanza (*ceiling*) e del lastrico solare corrispondente (*roof*).

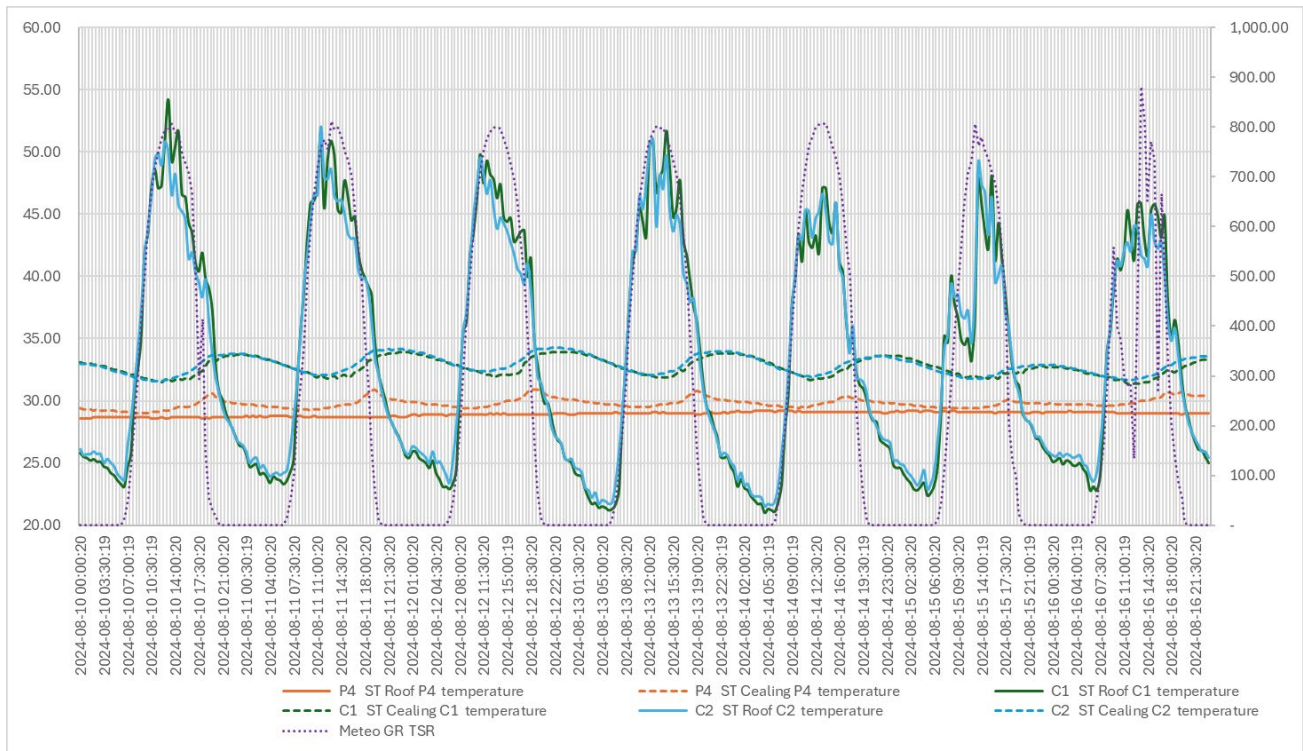


Figura 11 -Andamento orario delle temperature superficiali (TS) relative al soffitto delle stanze (ceiling) P4, C-1 e C-2 e alla corrispondente superficie del lastrico solare (roof). Periodo dal 10 al 16 agosto 2024

Nel caso di Tetto *Blue-Green*, l'aggiunta del carico termico dovuto alla stratigrafia garantisce un equilibrio termico tra lastrico e soffitto, mantenendo una differenza di temperatura inferiore ai 3 °C. Dalla Figura 11 risulta anche evidente come le superfici di controllo C-1 e C-2 siano completamente alla mercè delle condizioni climatiche, con le curve di TS-roof coerenti con quelle della radiazione solare (TSR).

In termini di comfort termico, si osserva come i flussi negativi (corrispondenti a calore entrante nell'edificio) che contraddistinguono entrambe le stanze di controllo, caratterizzandole con una condizione di *discomfort* estivo, siano attutiti in maniera molto consistente in P4. Ma non solo, l'effetto della massa termica e il conseguente effetto di sfasamento dei carichi termici ambientali mostra come i flussi termici entranti nell'edificio siano presenti nelle sole ore "notturne", tra le 22:00 e le 10 :00 circa (Figura 12).

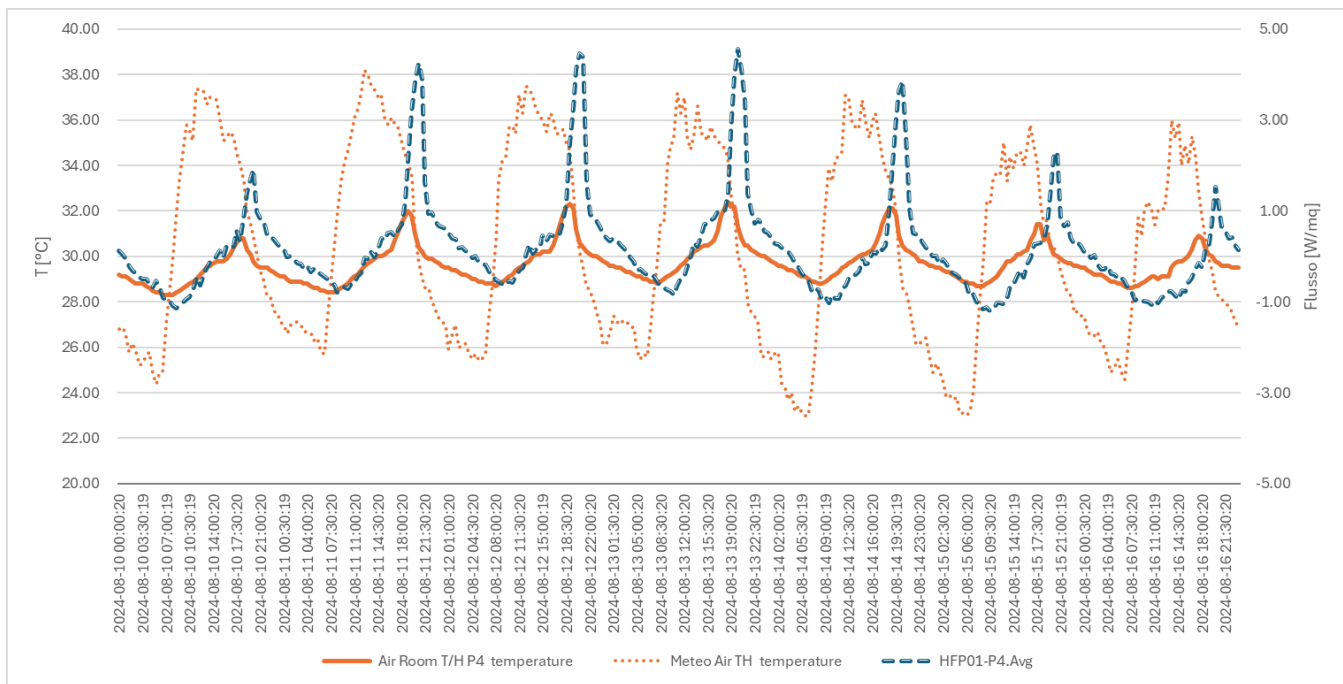


Figura 12 - Andamento orario della temperatura dell'aria nella stanza P4 (arancio continuo), della temperatura dell'aria esterna rilevata dalla centralina meteo sul tetto (arancio puntini), dei flussi termici attraverso la stratigrafia in posizione P4 (blu tratteggiato)

Dal confronto delle temperature in Figura 12 si può osservare l'effetto di sfasamento dell'onda termica, attraverso il confronto dei picchi: il picco di temperatura dell'aria esterna (Meteo Air) si verifica tra le 12:30 e le 13:30, mentre nella stanza P4 (Air Room P4) si osserva tra le 18:00 e le 18:30. I picchi di scambio termico (HFP01-P4) sono traslati di ulteriori due ore circa, intorno alle ore 20:00, in ragione dell'effetto combinato dell'innalzamento della temperatura interna e, a tramonto avvenuto, della riduzione della temperatura esterna.

7.4 Comparazione degli effetti termici del Tetto *Blue-Green* (Ed. F64) rispetto al Tetto Verde (Ed. F92) in ENEA

In questo paragrafo viene analizzata la *performance* termica del prototipo di Tetto *Blue-Green* dell'edificio F64 rispetto al prototipo di Tetto Verde estensivo presente nell'edificio F92 (Figura 13), già oggetto di studio nei precedenti trienni di RDS, attualmente sottoposto a monitoraggio permanente per i parametri microclimatici e termici. L'analisi si concentra sul confronto tra l'andamento delle temperature superficiali (TS) rilevate sul lastrico solare coperto dai prototipi e sul lastrico solare non vegetato.



Figura 13 – Edificio F92 C.R. ENEA Casaccia, Roma. A) Rappresentazione dell'orientamento dell'edificio F92 rispetto ai punti cardinali. I lati a Sud Est e Sud Ovest, evidenziati in verde, sono quelli interessati dalla presenza della parete e del tetto verde. B) Vista dell'edificio F92 dal lato Sud, C) Particolare della porzione di Tetto Verde a Sedum

7.4.1 Andamento della temperatura dell'aria e della radiazione solare nei due edifici (F64 e F92)

Entrambi i siti sperimentali sono dotati di una stazione meteorologica installata a livello del tetto. Nei grafici seguenti sono riportati gli andamenti orari della temperatura dell'aria e della radiazione solare per l'anno 2024, monitorati sul tetto dell'edificio F92 (Figura 14). °C in inverno e oltre 35 °C in estate, con evidenti fluttuazioni giornaliere. I picchi di radiazione solare raggiungono circa 900 W/m² nei mesi estivi.

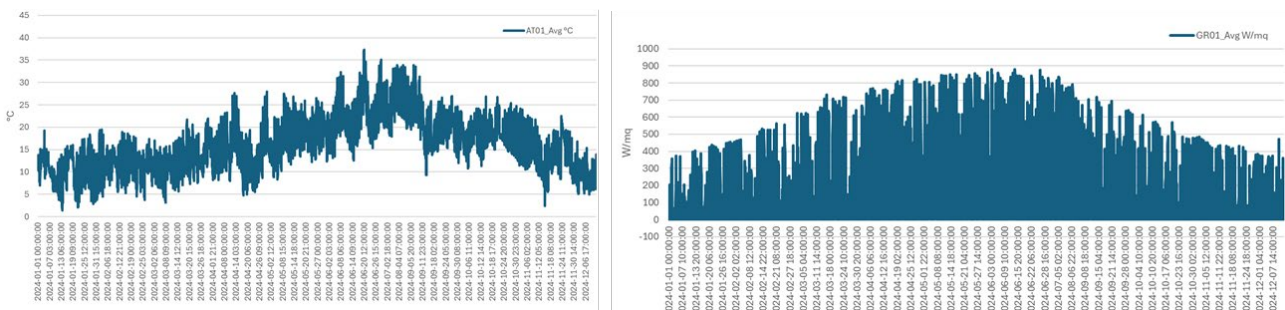


Figura 14 – Andamento orario della temperatura dell'aria (A) e della radiazione solare (B) rilevate dalla centralina meteo posizionata sul tetto dell'edificio F92. Periodo dal 1° gennaio al 31 dicembre 2024

Nelle Figure 15 e 16 sono confrontati gli andamenti orari della temperatura dell'aria e della radiazione solare in agosto (estate) e dicembre (inverno) su una settimana. Si evidenzia che la temperatura dell'aria sull'edificio F64 è costantemente superiore rispetto a F92, con la differenza più marcata nelle ore più calde e ridotta durante la notte. Questo potrebbe essere dovuto a fattori ambientali specifici: F64 è influenzato da edifici e pavimentazioni circostanti che accumulano calore, mentre F92 beneficia di aree verdi che facilitano la dispersione del calore. Per quanto riguarda la radiazione solare, i picchi si verificano a mezzogiorno, con valori massimi tra 800-900 W/m² in estate e 500-600 W/m² in inverno. Le differenze tra i due edifici, come i picchi del 3 agosto, potrebbero dipendere da variazioni atmosferiche locali, ma complessivamente entrambe le configurazioni ricevono una simile esposizione solare.

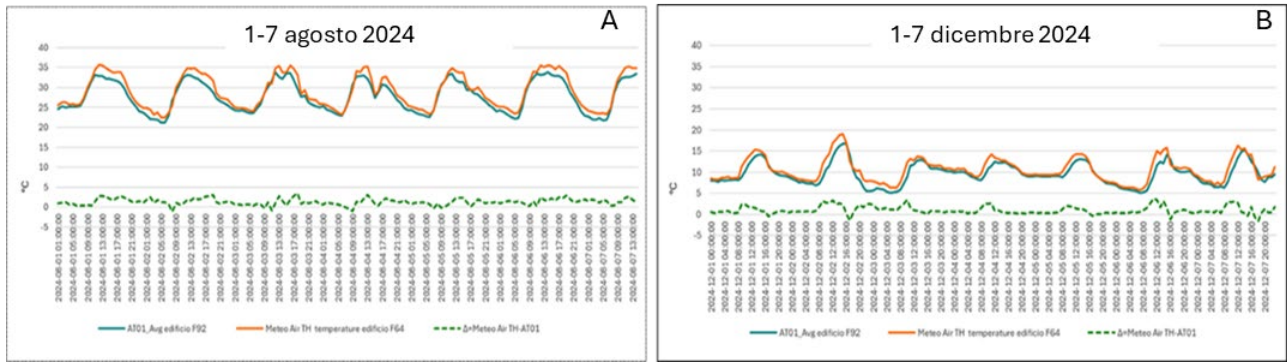


Figura 15- Andamento orario della temperatura dell'aria rilevata dalle centraline meteo posizionate sui tetti degli edifici F92 e F64. A) Periodo estivo, dal 1 al 7 agosto 2024; B) periodo invernale, dal 1 al 7 dicembre 2024

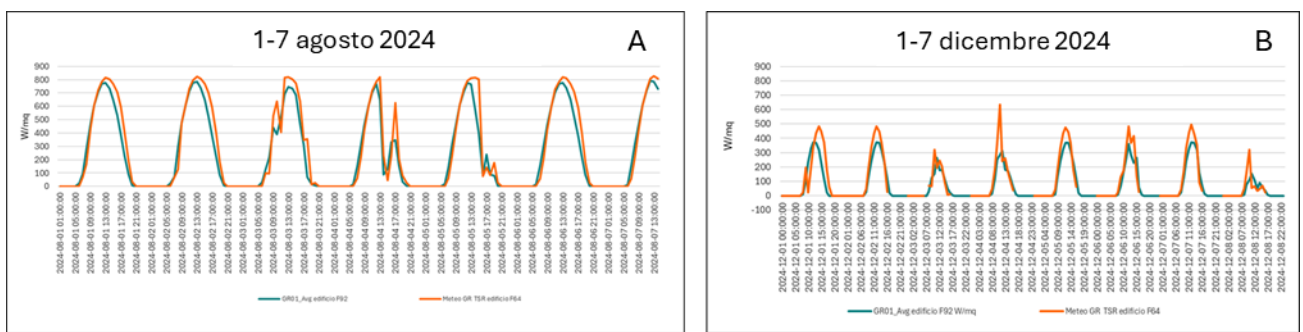


Figura 16- Andamento orario della radiazione solare rilevata dalle centraline meteo posizionate sui tetti degli edifici F92 e F64. A) Periodo estivo, dal 1 al 7 agosto 2024; B) periodo invernale, dal 1 al 7 dicembre 2024

7.4.2 Confronto tra Tetto Blue-Green e Tetto Verde sull'isolamento termico

Per analizzare le differenze nel potenziale di schermatura della radiazione termica tra il prototipo di Tetto *Blue-Green* (F64) e quello di Tetto Verde estensivo (F92), sono stati confrontati gli andamenti delle temperature superficiali registrate sia sui lastrici solari coperti dalle stratigrafie dei prototipi, sia sulle superfici non vegetate. Il confronto è stato condotto nel periodo dal 12 al 15 giugno 2024, selezionato in base alla stabilità delle condizioni atmosferiche e al livello massimo di riempimento del bacino primario del Tetto *Blue-Green*, così da valutarne il massimo effetto isolante. L'andamento della temperatura dell'aria e della radiazione solare in questo periodo è riportato in Figura 17, insieme ai livelli di riempimento del bacino primario. Durante il mese di giugno, le temperature giornaliere hanno oscillato tra un minimo di 12,0 °C e un massimo di 36,7 °C.

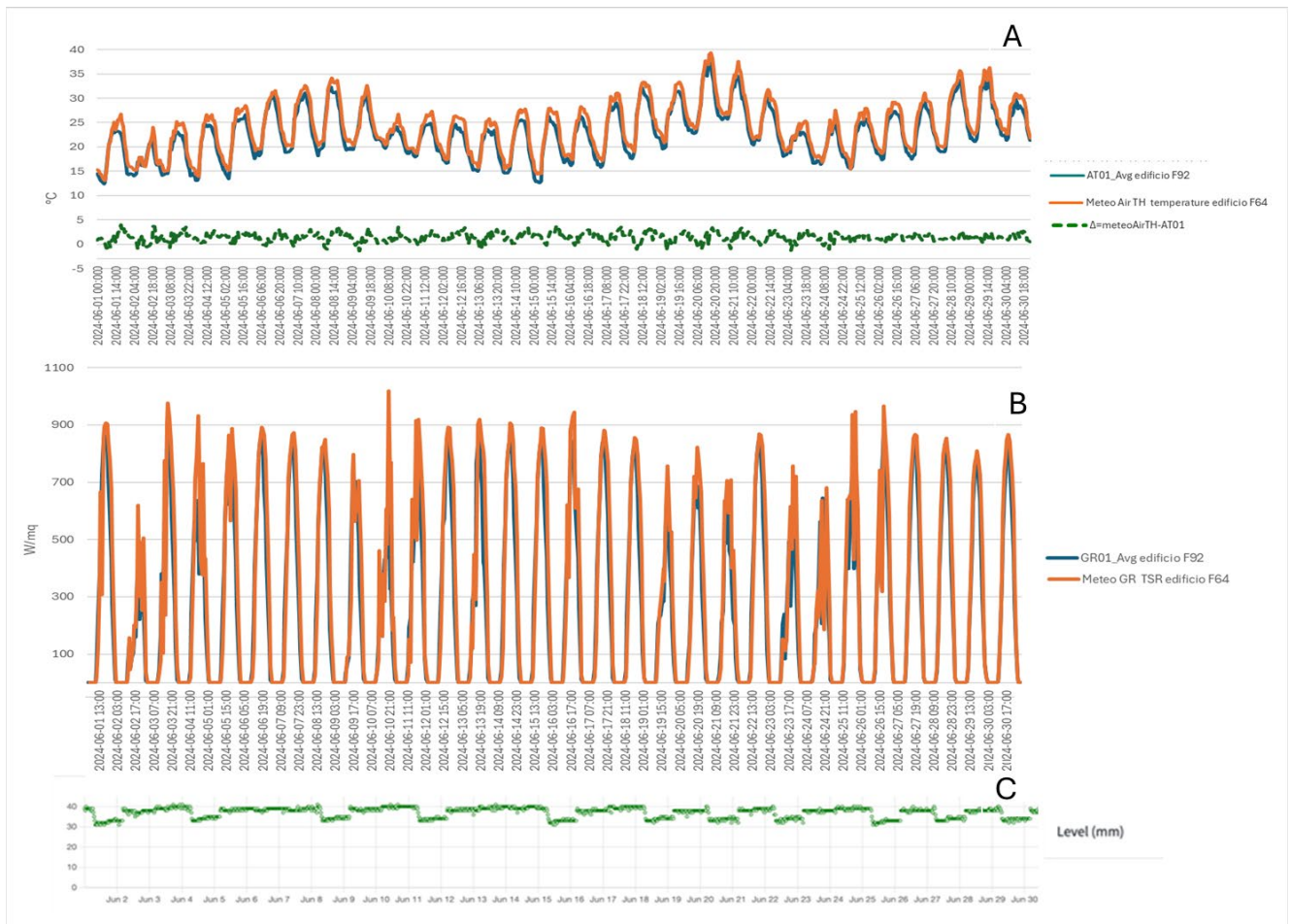


Figura 17. A) Andamento orario della temperatura dell'aria negli edifici F92 e F64 (sensori: AT01 e Meteo AirTH); B) andamento orario della radiazione solare globale negli edifici F92 e F64 (sensori: GR01 e Meteo GR); C) andamento orario del livello dell'acqua nel bacino primario del Tetto *Blue-Green* dell'edificio F64 (sensore: Level). Periodo dal 1° al 30 giugno 2024

In Figura 18 sono mostrate le differenze giornaliere tra le temperature superficiali sui lastrici solari vegetati e non vegetati:

- Edificio F92: differenza tra temperatura sotto il Tetto Verde a *Sedum* e lastrico non vegetato ($\Delta=TS14-TS11$).
- Edificio F64: differenza tra temperatura sotto il Tetto *Blue-Green* a *Sedum* (P4) e lastrico non vegetato ($\Delta=STRoofC2-ST Roof P4$).

I risultati mostrano che:

- Di giorno, il Tetto *Blue-Green* riduce la temperatura superficiale più del Tetto Verde.
- Di notte, il lastrico con Tetto *Blue-Green* si raffredda più rapidamente, probabilmente grazie alla presenza di acqua nel sistema.
- Il Tetto Verde a *Sedum* offre maggiore stabilità termica rispetto al lastrico non vegetato.

Nonostante il Tetto Verde presenti una copertura vegetale più estesa rispetto al Tetto *Blue-Green* (Figura 18, in basso), quest'ultimo dimostra una maggiore capacità di mitigare il

riscaldamento superficiale, evidenziando l'efficacia del sistema *Blue-Green* anche in una fase iniziale di sviluppo della vegetazione.

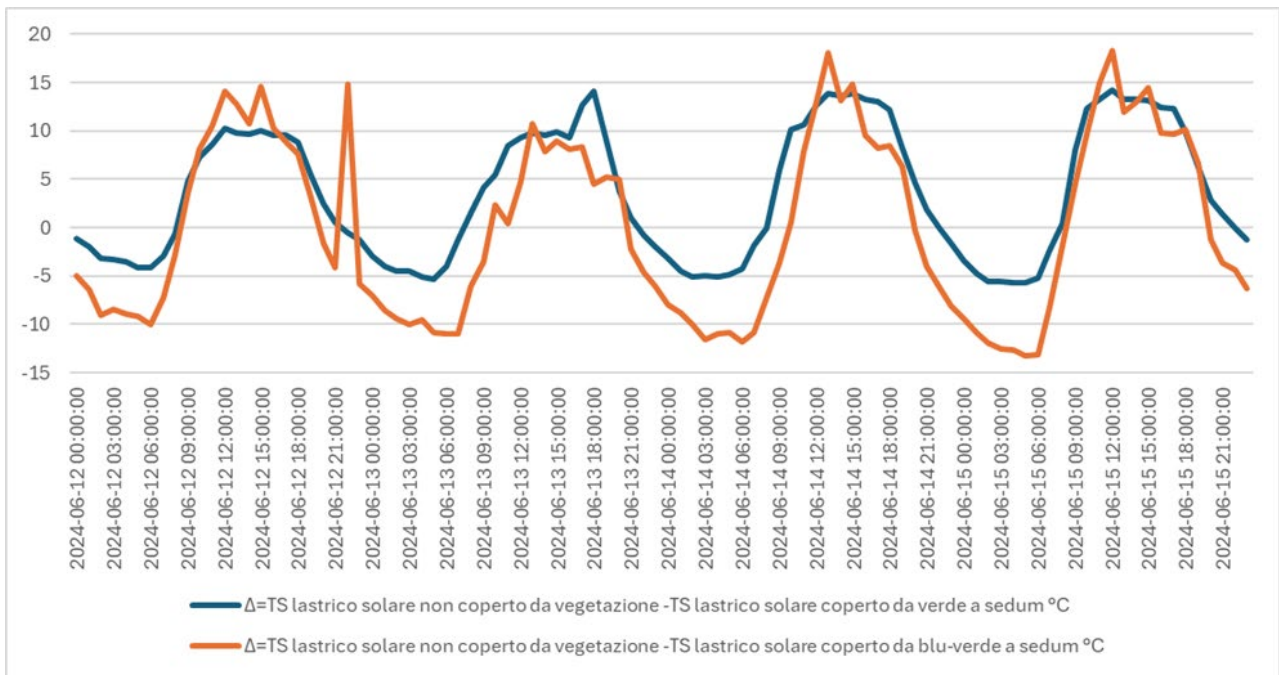


Figura 18. In alto sono riportate le differenze tra gli andamenti giornalieri della temperatura superficiale tra il lastrico solare vegetato e non vegetato nei due edifici. In basso è illustrata la copertura a *Sedum* sul Tetto verde dell'edificio F92 (a sinistra) e sul Tetto *Blue-Green* dell'edificio F64 (a destra). Periodo dal 12 al 15 giugno 2024

7.5 Valutazione della performance idraulica del sistema

Il sistema di monitoraggio registra il livello di acqua nel bacino primario, generale, che accumula acqua comune proveniente da tutte e quattro le parcelle e riutilizzabile per la loro irrigazione in modalità specifica, e la quantità di pioggia. Gli andamenti di questi parametri a partire dalle prime fasi di sviluppo della vegetazione sono riportati in Figura 19.

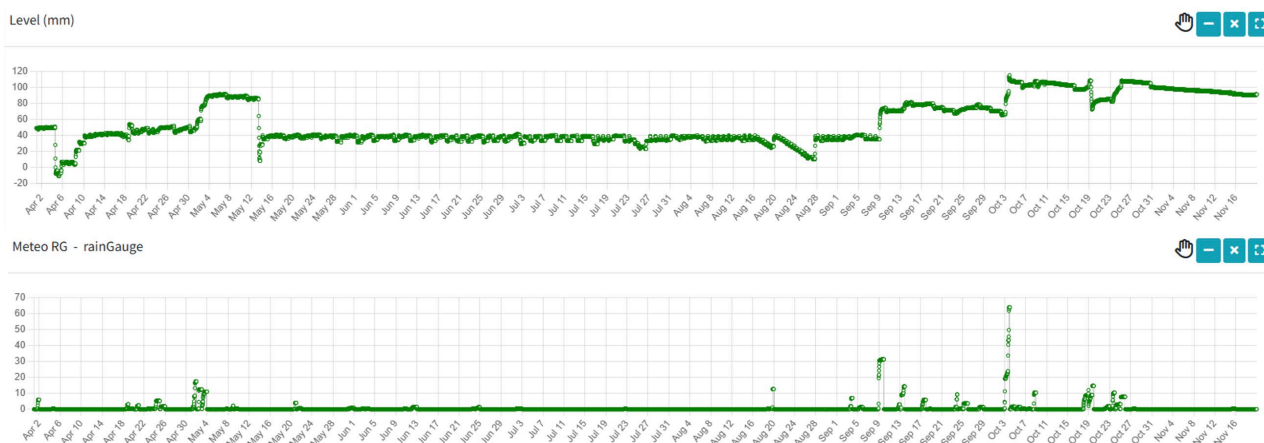


Figura 19 - Sopra, andamento dei dati del livello dell'acqua nel bacino primario (in mm); sotto, andamento della piovosità (Rain Gauge, RG, in mm) nel periodo da aprile a novembre 2024. I dati registrati vengono visualizzati attraverso la piattaforma online Protolabiot

La Tabella 1 riporta le letture degli input idrici, espresse in metri cubi (m^3). I dati mostrano i volumi di irrigazione sia a livello del bacino primario (acqua proveniente dall'acquedotto) sia per ciascuna delle quattro parcelle (acqua proveniente dal bacino primario), permettendo un confronto della distribuzione idrica nel sistema tra le diverse condizioni. Considerando i quantitativi totali di acqua utilizzata per l'irrigazione durante l'intero periodo qui esaminato (aprile-novembre 2024), emergono alcune differenze interessanti tra le parcelle legate alla presenza di biochar e alla tipologia di copertura vegetale:

- P1 ($12,327 m^3$) e P3 ($15,087 m^3$), entrambe con prato fiorito, mostrano un consumo idrico complessivo significativamente diverso, con P1 che riceve meno acqua. Questo potrebbe indicare che il biochar presente in P1 migliora la ritenzione idrica, riducendo il fabbisogno di irrigazione.
- P2 ($12,000 m^3$) e P4 ($11,523 m^3$), entrambe con *Sedum*, confermano un minor consumo idrico rispetto alle parcelle a prato fiorito, coerentemente con la natura più resistente del *Sedum* alla siccità. Tuttavia, P2 (che contiene biochar) ha un apporto idrico leggermente superiore rispetto a P4, suggerendo che altri fattori potrebbero influenzare i volumi d'acqua impiegati.

	Acqua irrigazione bacino primario (m³)	P1 (m³)	P2 (m³)	P3 (m³)	P4 (m³)
06-apr-24	5-6	0,680	0,680	0,630	0,440
18-apr-24	10	0,145	0,124	0,132	0,080
23-apr-24	12	0,819	0,809	0,842	0,830
06-mag-24	12-13	1,364	1,362	1,403	1,387
13-mag-24	22,5	1,545	2,989	3,222	1,453
15-mag-24	25	1,636	3,002	3,317	1,483
17-mag-24	-	1,636	3,002	3,317	1,483
23-mag-24	25	1,817	3,067	3,505	1,551
28-mag-24	25	1,998	3,284	3,692	1,767
31-mag-24	-	1,998	3,284	3,692	1,767
03-giu-24	26	2,088	3,467	3,785	1,951
10-giu-24	-	2,269	3,832	3,970	2,317
14-giu-24	28	2,360	4,015	4,064	2,501
18-giu-24	28	2,566	4,380	4,250	2,867
25-giu-24	29,5	2,925	4,837	4,618	3,326
02-lug-24	31	3,285	5,296	4,987	3,788
11-lug-24	33	3,762	5,909	5,479	4,407
18-lug-24	35	4,363	6,669	6,095	5,176
05-ago-24	-	5,886	7,647	8,644	7,184
08-ago-24	41	6,341	7,957	9,110	7,500
16-set-24	47,5	11,446	11,370	14,208	10,890
19-set-24	-	11,537	11,433	14,302	10,954
26-set-24	-	11,720	11,559	14,489	11,080
29-ott-24	48	12,327	12,000	15,087	11,523
19-nov-24	48	12,327	12,000	15,087	11,523

Tabella 1. Letture degli input idrici in m³ di acqua fornita per l'irrigazione. I dati rappresentano i volumi di irrigazione nel bacino primario e a livello di ogni singola parcella. A livello di bacino primario sono rappresentati i volumi di acqua prelevati dall'acquedotto

Le differenze osservate nei quantitativi totali di acqua utilizzata per l'irrigazione suggeriscono un possibile effetto del biochar sulla ritenzione idrica, in particolare nelle parcelle a prato fiorito.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Come già per la LA2.3 in cui è stata progettata e realizzata l'infrastruttura di Tetto *Blue-Green* sul lastrico solare dell'edificio F64, anche la LA2.4 è stata supportata dalla consulenza della ditta DAKU Italia. Il personale di DAKU coinvolto ha mostrato forte spirito collaborativo, ribadendo un imprinting fortemente collaborativo con ENEA nell'interesse delle attività di ricerca.

9 Pubblicazioni scientifiche

Tetto e Pareti Verdi per Edifici. Linee Guida per la Pubblica Amministrazione e gli Enti Territoriali. Edizioni ENEA 2024. Autori: P. De Rossi, F. Hugony, A. Latini, A. Mastrilli, S. Pace, P. Pistochini, T. Susca, F. Zanghirella. p 147. ISBN edizione digitale 978-88-8286-462-0; ISBN edizione cartacea 978-88-8286-461-3. <https://www.pubblicazioni.enea.it/le-pubblicazioni-enea/edizioni-enea/anno-2024/tetti-e-pareti-verdi-per-gli-edifici.html>

A. Latini, C.A. Campiotti, C. Bibbiani, P. De Rossi (2024). Influence of plant evapotranspiration process on the summer cooling of a solar bioclimatic greenhouse internal environment. Manoscritto accettato in fase di pubblicazione su IEEE Xplore.

Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica edizione dicembre 2024. Tetti e pareti verdi per gli edifici: linee guida per la Pubblica Amministrazione e gli Enti Territoriali. <https://www.energiaenergetica.enea.it/pubblicazioni/raee-rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica/rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica-2024.html>

10 Eventi di disseminazione

20-06-2024. Comunicato stampa ENEA sulle Linee Guida "Energia: da ENEA linee guida su tetti e pareti verdi per le PA" a cura di Patrizia De Rossi pubblicata sul sito ENEA media (<https://www.media.enea.it/comunicati-e-news/archivio-anni/anno-2024/energia-da-enea-linee-guida-su-tetti-e-pareti-verdi-per-le-pa.html>).

04-07-2024. Intervento al Webinar di Presentazione delle linee guida "Tetti e Pareti Verdi per edifici: Linee Guida ENEA per la Pubblica Amministrazione e gli Enti Territoriali" organizzato da Italia in Classe A, ENEA. Titolo delle presentazioni di Patrizia De Rossi "Linee guida Tetti e Pareti Verdi" e "Studi ENEA sul prototipo di Tetto e Parete Verde nel CR ENEA Casaccia - Roma" e di Arianna Latini "Promozione di Tetti e Pareti Verdi attraverso i PAESC

2024. Comunicato stampa ENEA sul Webinar ENEA dedicato alla presentazione delle Linee Guida ENEA edizione 2024. "Tetti e pareti verdi: il webinar sulla presentazione delle Linee guida redatte da ENEA. <https://www.eventi.enea.it/tutti-gli-eventi-enea/presentazione-delle-linee-guida-tetti-e-pareti-verdi-per-gli-edifici.html>

05-09-2024. Intervista al programma NOOS di Rai 1 sulla tematica "Infrastrutture verdi per l'isola di calore urbana" di Patrizia De Rossi.

19-09-2024. Intervista al programma "Si può fare" di Radio24 sulla tematica "Tetti e pareti verdi: le linee guida" di Patrizia De Rossi.

07-10-2024. Intervento alla Summer School per l'Efficienza energetica "Roberto Moneta" - PAESC edition, organizzato da ENEA, Italia in Classe A. Titolo della presentazione di A. Latini "Azioni di realizzazione di Tetti e Pareti Verdi su Edifici nei PAESC".

16-10-2024. Intervento al convegno "CAMBIAMENTI CLIMATICI E AREE URBANE" organizzato dalla Provincia di Treviso presso l'Auditorium, Sant'Artemio | Provincia di Treviso. Titolo della presentazione di Patrizia De Rossi "Tetti e pareti verdi per il contrasto alle isole di calore".

30-10-2024. Docenza di 1h, corso "Riqualificazione energetica e sostenibilità: impatto dei tetti verdi" erogato da ISNOVA, dal titolo "Tetti e pareti verdi per il contrasto alle isole di calore e per la riqualificazione energetica degli edifici" tenuta da Patrizia De Rossi.

03-12-2024. Formazione per la Sturtupper Tour Accademy 2023-24 della Regione Lazio presso il C.R. ENEA Casaccia Roma sulle infrastrutture verdi tenuta da A. Latini, P. De Rossi.

11-12-2024. Conferenza sui tetti verdi come soluzione naturale per migliorare la sostenibilità urbana. Bolzano (<https://www.efficienzaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/save-the-date-conferenza-sui-tetti-verdi-come-soluzione-naturale-per-migliorare-la-sostenibilita-urbana-bolzano-11-dicembre-2024.html>)

3ª puntata GigaWatt su La7, in onda il 07-10-2024 intervista di A. Latini.
<https://www.energiaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/e-dedicata-all-efficienza-energetica-la-terza-puntata-di-gigawatt-in-onda-su-la7.html>

Convegno Internazionale "Urban Transition 2024". Presentazione orale: "Evaluating the performance of a prototype Blue-Green Roof in terms of energy saving, urban drainage management and water reuse in Mediterranean area. Autori: P. De Rossi, L. Colasuonno, M. Possiedi, G. Puglisi, A. Latini*. 5-7 Novembre 2024, Sitges, Barcelona, Spagna