



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE

A.A. 2023-2024

SPERIMENTAZIONE SU UNA SCHERMATURA METALLICA A LAMELLE

1

EXPERIMENTATION ON A METAL LOUVRE SHADING

RELATORE:

Dott. Ing. Francesca Stazi

TESI DI LAUREA DI:

Fabio Mancini

CORRELATORI:

Dott. Ing. Costanzo Di Perna

Abstract

La presente tesi consiste in uno studio sperimentale sulla prestazione termica di una schermatura a lamelle orizzontali in un clima temperato in fase invernale ed in una stagione intermedia.

In letteratura sono numerosi gli studi su questo tipo di schermatura ma generalmente riguardano lamelle di dimensioni elevate (del tipo a brise-soleil) e sono principalmente studi analitici. Sono rari gli studi sperimentali sul tipo di lamella metallica selezionata, con passo ridotto tra lamelle e scarsa profondità dei profilati.

La tesi ha riguardato una campagna sperimentale effettuata per una durata di 6 mesi, di cui sono analizzati nel dettaglio i periodi più rappresentativi.

I risultati hanno permesso di dimostrare l'efficienza della schermatura, che permette di ridurre le temperature superficiali del vetro nel periodo autunnale di 12-14°C mentre nel periodo invernale di circa 7-8°C.

1. Stato dell'arte

La presente tesi nasce con l'obiettivo di quantificare sperimentalmente le prestazioni di dispositivi di schermatura solare, quali sistemi utili per ridurre i consumi energetici.

Oggi l'architettura dei grandi edifici sta diventando sempre più vetrata [1] come conseguenza del rapido sviluppo economico e tecnologico, oltre che per motivi di ordine architettonico, di ricerca della massima luce naturale e di collegamento visivo con l'esterno, ma anche per la massimizzazione della trasparenza dal punto di vista architettonico.

L'involucro esterno, ed in particolar modo la sua porzione trasparente, influenza fortemente il consumo energetico e la percezione del comfort degli occupanti (Fig.1). Infatti, il guadagno solare influisce direttamente sulla temperatura interna, e di conseguenza sul consumo energetico e sul comfort termico degli occupanti; la combinazione di luce diurna e illuminazione artificiale determinano il consumo di energia elettrica; la vista dell'esterno influisce sulla percezione dell'ambiente da parte degli occupanti.

La sfida più ambiziosa per i progettisti è la definizione di facciate in grado di individuare un rapporto bilanciato tra luce naturale, massimizzazione della vista esterna, comfort termico e risparmio energetico annuale.

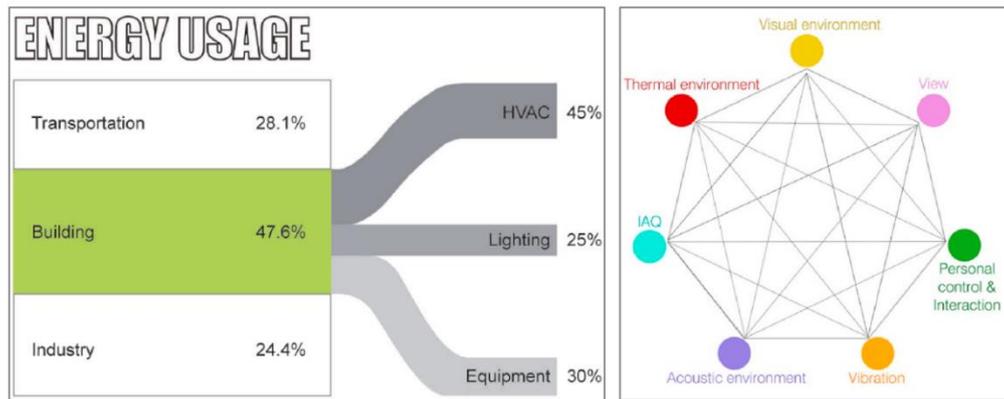


Figura 1. Grande incidenza degli edifici sul risparmio energetico; aspetti coinvolti nel progetto di una facciata: da [1]

Inoltre, dato che le nuove normative sul risparmio energetico hanno determinato il super isolamento degli involucri opachi e l'adozione di infissi a tenuta, gli scambi termici tra interno ed esterno sono stati delegati completamente alla superficie vetrata. Ciò determina la crescente importanza della progettazione di sistemi di schermatura esterni, che devono soddisfare esigenze talvolta contrastanti. Infatti, l'ombreggiamento estivo influisce sull'illuminazione artificiale; il guadagno solare invernale ha come controparte problematiche di surriscaldamento estivo; la luce naturale se in eccesso determina problematiche di abbagliamento.

In questo contesto gli elementi ombreggianti devono essere attentamente integrati e considerati in una fase iniziale del processo di progettazione. L'ombreggiamento degli edifici è fondamentale soprattutto nei climi con estate calda. È importante proteggere la finestra dalle radiazioni solari in estate e consentire il massimo irraggiamento solare in inverno.

In letteratura sono numerosi gli studi che sono stati condotti per valutare la prestazione energetica dei dispositivi di ombreggiatura negli edifici utilizzando strumenti di simulazione. Sono invece molto più rari gli studi sperimentali.

Per quanto riguarda i dispositivi di ombreggiamento a lamelle esterne, sono stati condotti alcuni studi con lo scopo di studiarne le prestazioni al variare di alcuni parametri di progetto, ma sono prevalentemente di tipo analitico e generalmente focalizzati su ombreggiamenti con elevate distanze verticali tra le lastre (tra circa 0,2 m e 0,5 m). Questo tipo di configurazione è tipica delle applicazioni per uffici dove i frangisole hanno la funzione di schermare l'irraggiamento diretto evitando così abbagliamenti anziché oscurare (come

nel caso degli schermi adottati per usi residenziali). Dal Portogallo Palmero-Marrero e Oliveira (2010) [2] hanno condotto uno studio approfondito sulla disposizione delle lamelle orizzontali e verticali con una distanza tra le lamelle che varia tra 0,23 m e 0,26 m a seconda delle diverse latitudini.

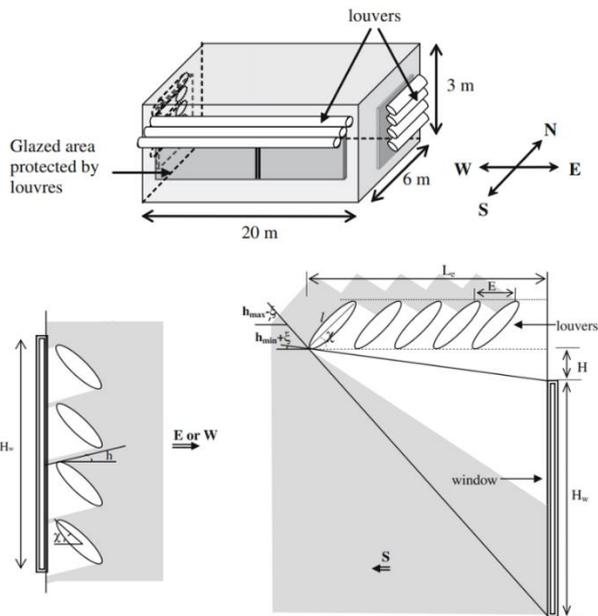


Figura 2. Caso di studio Palmero-Marrero e Oliveira

4

Gli autori hanno dimostrato che tale dispositivo può garantire comfort interno e risparmio energetico, ma hanno anche evidenziato la necessità di adottare un controllo automatico delle lamelle nei climi più freddi per evitare elevati consumi di riscaldamento. La stessa conclusione è stata tratta da un gruppo di ricercatori danesi, Nielsen et al. (2011) [3] su un modello di simulazione con una piccola distanza verticale tra le lamelle (circa 0,05 m).

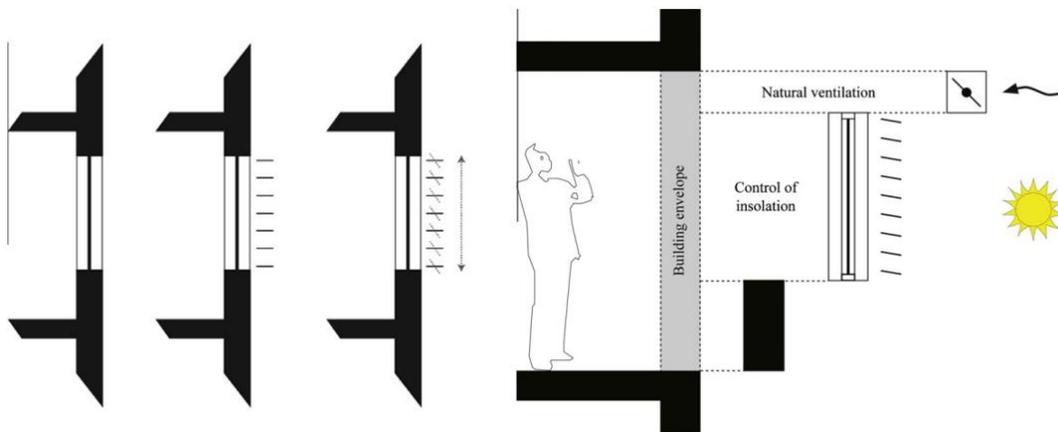


Figura 3. Caso di studio Martin Vraa Nielsen

Gli autori hanno sottolineato come aspetti conflittuali di fabbisogno energetico per il riscaldamento, il raffrescamento e l'illuminazione artificiale dovrebbero essere valutati contemporaneamente per individuare la facciata più performante. Hanno inoltre dimostrato che l'adozione di una schermatura solare dinamica costituisce la migliore alternativa progettuale.

Una distanza elevata tra lamelle è stata adottata anche negli studi di due gruppi di ricerca in climi caldi: Hammad e Abu-Hijleh (2010) [4] dagli Emirati Arabi Uniti (distanza di 0,3 m) e Alzoubi e Al-Zoubi (2010) dalla Giordania (distanza di 0,5 m). Per entrambi gli studi il rapporto tra la spaziatura delle lamelle e la larghezza è vicino a 1 (per bloccare i raggi solari di 45°) ed entrambe le analisi si concentrano sulla variazione degli angoli delle lamelle.

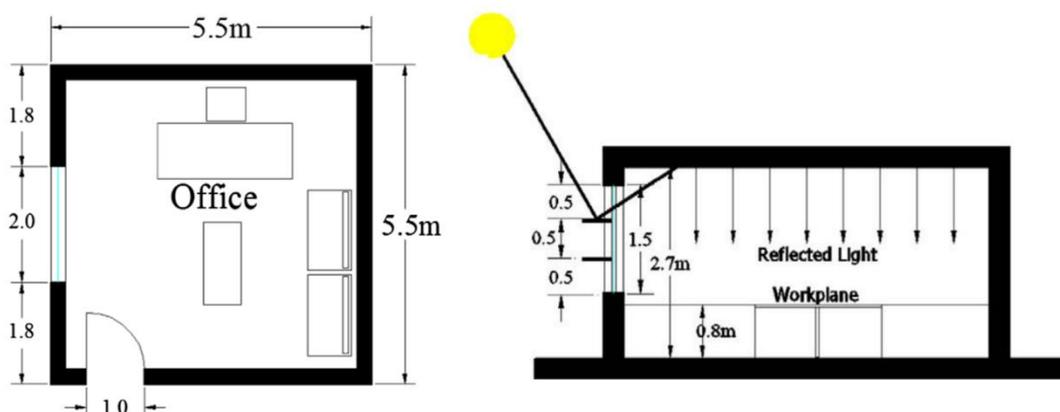


Figura 4. Caso di studio Hussain H. Alzoubi

Datta (2001) [5] ha effettuato uno studio analitico su schermature a lamelle con diverse geometrie e inclinazioni dimostrando che la progettazione ottimale dipende strettamente dalla posizione e dalle condizioni meteorologiche. Nei climi freddi dove i consumi per il riscaldamento sono più incidenti rispetto alla domanda per il raffrescamento è preferibile una finestra senza schermature mentre l'adozione di lamelle inclinate (circa 60°) è la soluzione migliore nei climi caldi.

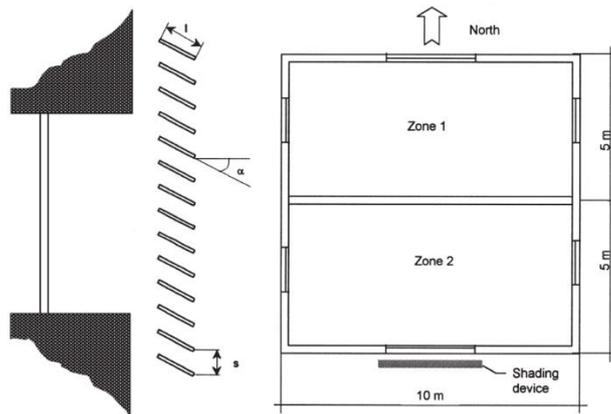


Figura 5. Caso di studio G. Datta

Il gruppo di ricerca, Evangelisti (2020) [6] ha effettuato uno studio su lamelle di grandi dimensioni (3,00 mx0,45 m) in lamiera forata a 45°, dimostrando una riduzione di circa il 38% sui consumi estivi.

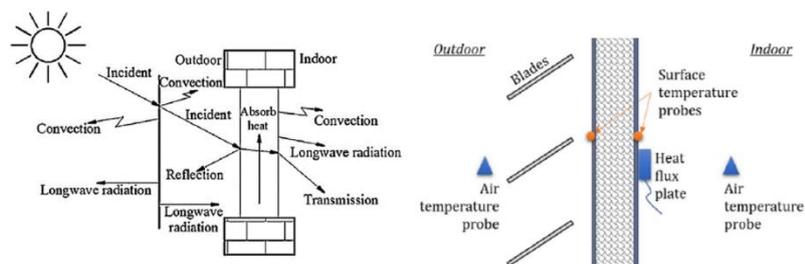


Figura 6. Caso di studio Evangelisti

L'analisi della letteratura esistente ha evidenziato la mancanza di studi sperimentali sui dispositivi frangisole installati all'esterno delle vetrate e con dimensioni ridotte, dal confronto con una finestra con le stesse dimensioni ma senza dispositivi di schermatura. Il presente studio si propone di contribuire al dibattito in letteratura, confrontando, attraverso monitoraggio simultaneo le condizioni di due test room, con e senza schermatura, selezionando una tipologia lamelle di dimensioni ridotte e in alluminio.

2. Obiettivi

A seguito del gap di conoscenza individuato in letteratura, la presente tesi è stata effettuata con l'obiettivo di quantificare sperimentalmente le prestazioni termiche in fase invernale di un sistema di schermatura metallica a lamelle di ridotte dimensioni con rapporto tra la spaziatura delle lamelle e la larghezza pari all'unità.

Lo studio ha previsto misurazioni in situ per la valutazione dell'efficienza del sistema di schermatura.

3. Fasi materiali e metodi.

In questo capitolo si definiscono le fasi operative seguite nella sperimentazione.

Vengono descritte in particolare le dimensioni delle test rooms, le loro caratteristiche e degli strumenti utilizzati per il monitoraggio e per il rilievo delle grandezze termiche.

La presente tesi si è svolta attraverso le seguenti fasi operative;

- Installazione dei sensori per il monitoraggio delle condizioni climatiche interne alle test rooms.
- Monitoraggio in-situ delle due test rooms nella stagione intermedia a Settembre.
- Progettazione e realizzazione di una cornice in legno stesse dimensioni nella parte esterna delle vetrate delle due test-rooms.
- Installazione di frangisole metallici esterni in una delle due test rooms.
- Monitoraggio in situ delle due test rooms nella stagione intermedia-invernale, da Novembre a Marzo 2023.

4. Caratteristiche delle test rooms e dei frangisole

Le test rooms sono identiche, caratterizzate da una struttura in scala ridotta, rappresentativa di un edificio o di una parte di esso, atta a simulare un ambiente abitativo. L'utilizzo di un modello reale è fondamentale per conoscere e valutare l'effettivo comportamento delle due tipologie e per calibrare successivamente, con i dati reali monitorati, modelli numerici per estendere lo studio con analisi parametriche.

Le test rooms sono situate ad Ancona, zona industriale Baraccola, in un terreno fornito dal Comune in comodato d'uso alla facoltà di Ingegneria dell'Università Politecnica delle Marche (43°32'11.4"N 13°30'58.3"E). I vari box sono disposti sul terreno in maniera tale da evitare la proiezione reciproca delle ombre, condizione che se si verificasse potrebbe alterare le condizioni al contorno delle pareti, con le facce orientate in corrispondenza dei punti cardinali.



Figura 7. Vista aerea terreno, acquisita da Google Earth

Le test rooms sono composte da un solo piano a pianta rettangolare di dimensioni esterne 3,02 x 3,29 m ed un'altezza complessiva di 3,58 m. La superficie calpestabile interna dei due box è di 7,9 m². Il volume dei due box è pari a 23,7 m³; Il rapporto S/V è di 0,33 in entrambe.

La fondazione è costituita da una platea armata (5,29 m x 5,02 m) ed i box sono sollevati da terra di 40 cm, al fine di ridurre al minimo gli scambi termici con il terreno ed evitare fenomeni di risalita capillare.

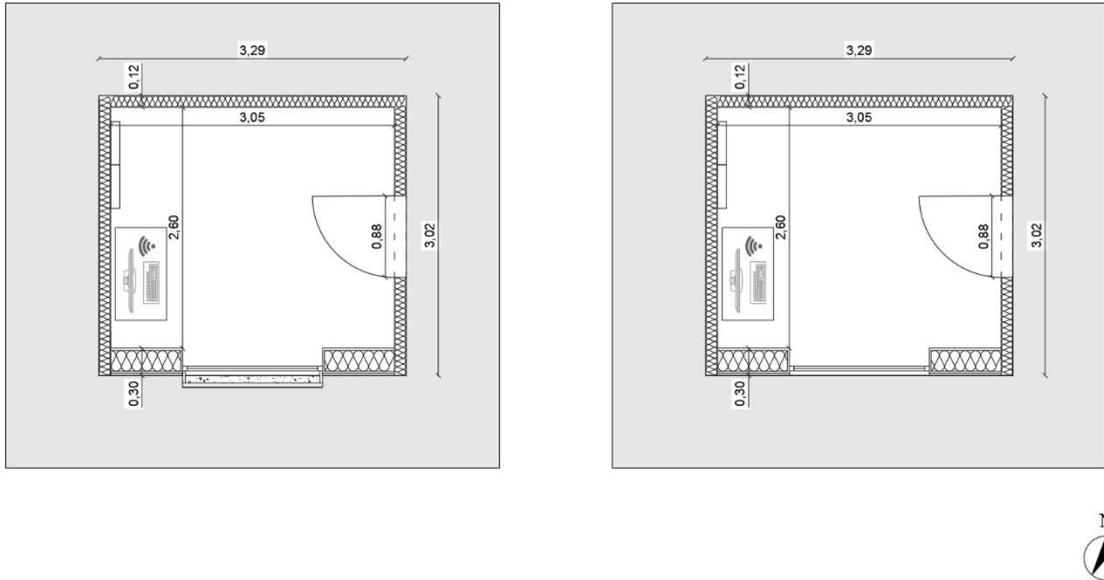


Figura 8. Planimetria test room 1 (sx) e test room 2 (dx)

Le pareti perimetrali di entrambi i box, così come il solaio di copertura, sono pannelli sandwich realizzati con due lastre di alluminio con all'interno 12 cm di lana di roccia. Il pavimento delle due test rooms è stato opportunamente isolato con un doppio strato di isolante EPS di spessore 8 cm (4 cm + 4 cm).

Le proprietà termiche dei singoli componenti della parete perimetrale sono riportate di seguito nella Tabella 1:

	Spessore (m)	Conduttività termica (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)	Densità (kg/m ³)
Alluminio	0,002	220	879	2700
Isolante in lana di roccia	0,12	0,042	670	40
Alluminio	0,002	220	879	2700

Tabella 1 . Proprietà termiche dei materiali che costituiscono le pareti perimetrali

La parete a sud è costituita da un telaio metallico con pannello in cartongesso, lana di roccia, pannello in legno ed intonaco esterno dello spessore di 30 cm.

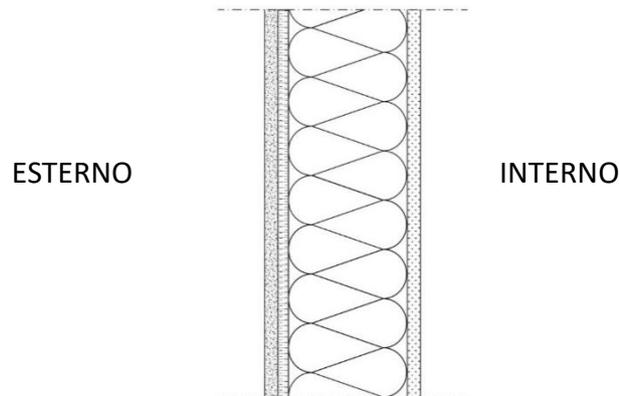


Figura 9. Particolare costruttivo parete leggera

Le proprietà termiche dei singoli componenti della parete a sud sono riportate di seguito nella *Tabella 2*:

	Spessore (m)	Conduttività termica (W/mK)	Calore specifico (J/kgK)	Densità (kg/m ³)
Intonaco esterno	0,025	0,900	1000	1800
Pannello OSB	0,020	0,130	1699	650
Polietilene espanso	0,225	0,170	2092	30
Cartongesso interno	0,025	0,900	1000	900

Tabella 2. Proprietà termiche dei materiali che costituiscono la parete a Sud

La cornice in legno posta nel lato esposto a sud del box, è stata progettata ed installata in modo tale simulare l'infisso di una finestra tipo.

I lavori di realizzazione dei pannelli in legno e la loro installazione sono iniziati il giorno 19 Luglio e si sono conclusi il 22 luglio.



Figura 10. Taglio pannelli di legno per schermatura

I pannelli in legno sono stati posizionati e fissati alla superficie vetrata attraverso l'utilizzo di schiuma poliuretanic.



Figura 11. Installazione pannelli di legno

La schermatura frangisole è stata posta esternamente nel lato esposto a sud del box 1. I lavori di installazione della schermatura tipo frangisole sono stati eseguiti il giorno 13 Settembre.



Figura 12. Fasi di installazione schermatura e frangisole

5. Metodi sperimentali

Di seguito si riporta il progetto di monitoraggio, la strumentazione utilizzata e il procedimento adottato per le misurazioni.

5.1. Progetto di monitoraggio

La campagna di monitoraggio ha previsto prove in situ effettuate nelle due test rooms nei mesi di Settembre 2022, Febbraio e Marzo 2023 nel periodo autunnale ed invernale. Sono state effettuate misurazioni continue da Settembre a Marzo. In particolare, i periodi analizzati in questa tesi sono:

- fase condotta nella stagione autunnale, dall'9 al 14 Settembre 2022
- fase condotta nella stagione invernale, dall'4 al 11 Gennaio 2023.
- fase condotta nella stagione invernale, dall'4 al 11 Febbraio 2023.

Il presente studio si prospetta di rilevare determinate grandezze termiche fondamentali, quali:

- condizioni climatiche esterne (temperatura dell'aria)
- temperatura dell'aria interna, (temperatura aria interna ad una altezza di 0,40m e temperatura aria interna ad una altezza di 2,50m dal pavimento;
- temperatura superficiale interna della parete esposta a Nord ad una altezza di 1,55 m da pavimento;
- temperatura superficiale interna del vetro;
- temperatura superficiale delle pavimentazioni delle due test room attraverso 5 termoresistenze superficiali.

Si seguito si riporta il progetto di monitoraggio (Fig.13).

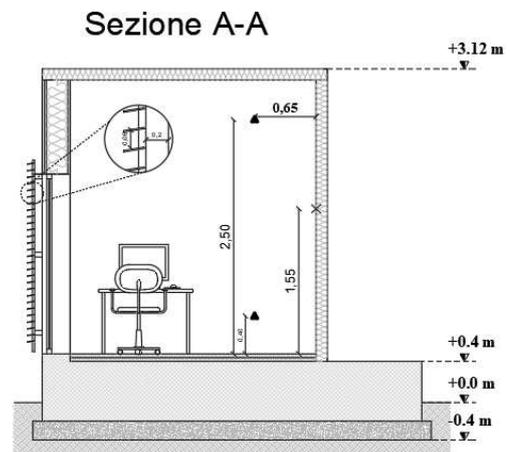
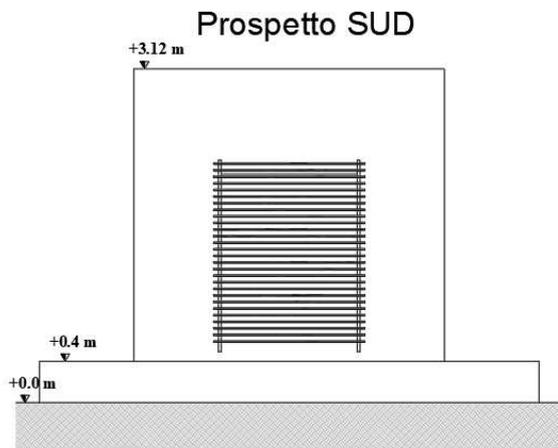
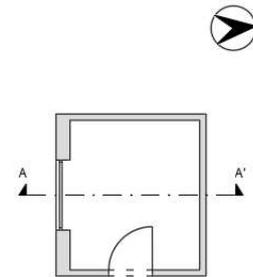
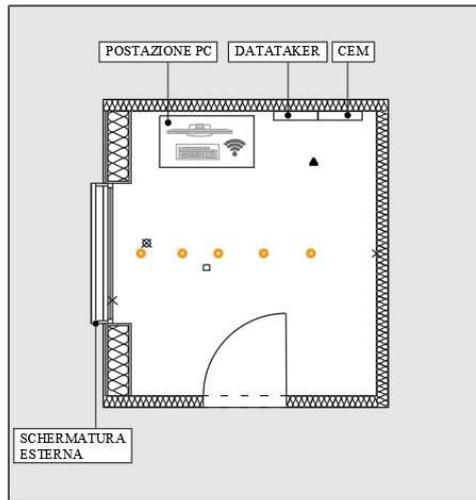
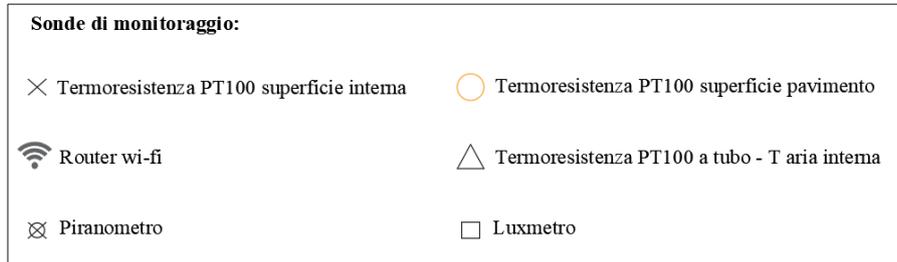


Figura 13. Planimetria e sezioni caso di studio

5.2. Strumentazione

Si riporta di seguito la strumentazione utilizzata indicandone le caratteristiche.

Data Taker

Il data taker è uno strumento elettronico digitale stand alone che lavora a basse frequenze, equipaggiato con un microprocessore ed una memoria interna che consentono l'acquisizione di dati da una vasta tipologia di sensori. Questo dispositivo è stato settato in modo tale da memorizzare i dati dei sensori ad esso collegati, campionati nel tempo, in modo automatico su base giornaliera.

Nel seguente monitoraggio della test room è stato utilizzato n.1 Data Taker DT500 serie 3 in figura 14. La cui configurazione avviene direttamente nel browser web utilizzando l'interfaccia grafica dEX di dataTaker che consente di decidere in che modo si desidera che il sistema funzioni, in tale modo è stato possibile acquisire i dati dai sensori a intervalli temporali di 1 minuto.



Figura 14. Data Taker DT500 serie 3

TERMORESISTENZE SUPERFICIALI E TERMOCOPPIA -PT100

Le termoresistenze PT100 superficiali sono sonde a piastrina in grado di rilevare la temperatura superficiale dell'oggetto in esame, tramite una piastrina che viene appoggiata sullo stesso.

Nel presente studio si testa superficialmente la temperatura interna del vetro posto a sud di entrambe le test room, la temperatura interna della parete posta a nord, nonché i rispettivi pavimenti. Al fine di misurare le temperature superficiali a differenti profondità sono state utilizzate n.7 PT100 superficiali: n.1 per la superficie interna della parete a nord,

n.1 per la superficie interna del vetro, n°5 in differenti punti per le superfici del pavimento. Queste sono state poi collegate al Data Taker.

Le termocoppie permettono di rilevare la temperatura dell'aria interna, e sono state fissate al soffitto, lasciandole sospese al centro della stanza (Figura 10). È stata necessaria l'installazione di due termoresistenze a tubo per ogni box, una posta a 0,40 m dal pavimento e l'altra a 2,60m, anch'esse collegate al datataker.

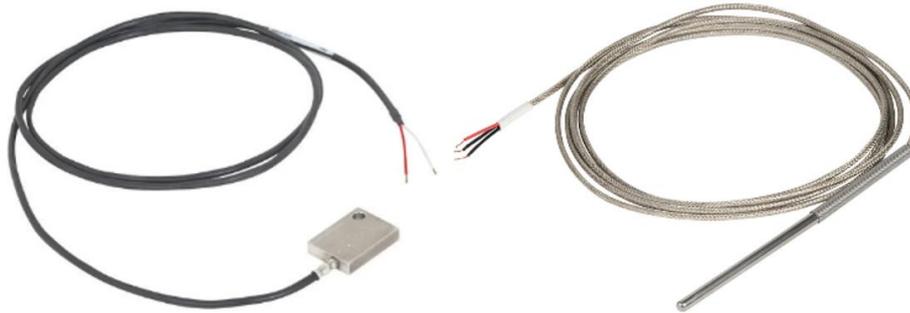


Figura 15. Termoresistenza e termocoppia

PIRANOMETRO

Il piranometro è uno strumento che permette di misurare l'intensità della radiazione globale. La radiazione globale è composta dalla radiazione diretta e dalla radiazione diffusa. Il piranometro è anche conosciuto con il nome di solarimetro. Questo strumento consente di rilevare e registrazione la radiazione solare per un istante o per un determinato periodo di tempo, al fine di misurare l'intensità media della radiazione solare e le variazioni.



Figura 16. Piranometro

LUXMETRO

Il Luxmetro è uno strumento che quantifica l'illuminamento di una superficie, misurando il flusso luminoso per unità di superficie. Nel presente studio il luxmetro è stato posto ad un'altezza di 45 cm dal pavimento e a una distanza di 1m dalla superficie vetrata.



Figura 17. Luxmetro

6. Risultati

6.1. Condizioni esterne nei periodi di riferimento

Si riportano di seguito i dati climatici rilevati in un periodo selezionato dai dati di monitoraggio. Le temperature sono oscillate tra 12 °C e 32 °C a settembre, e tra -4°C e 16°C a febbraio.

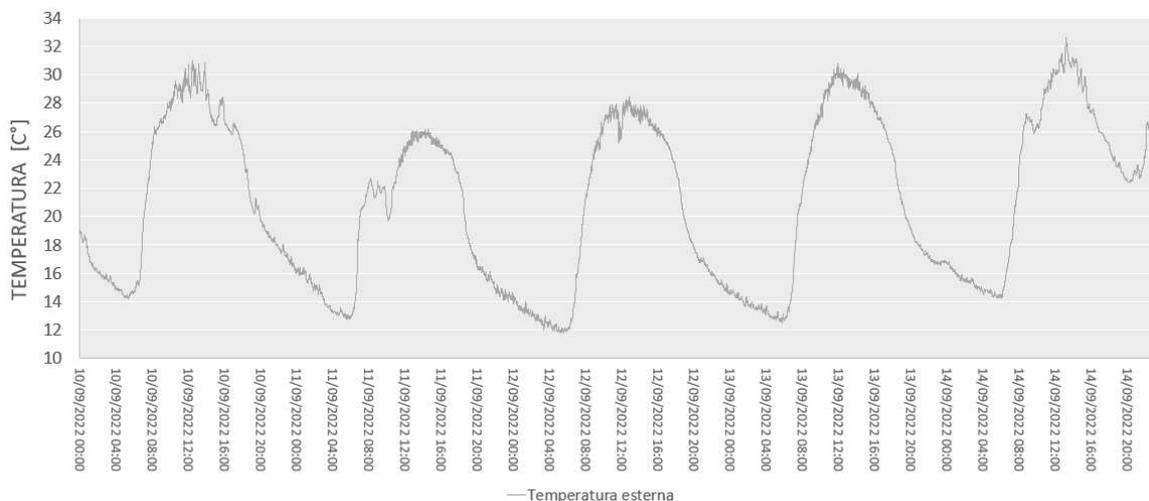


Figura 18. Temperatura esterna settembre

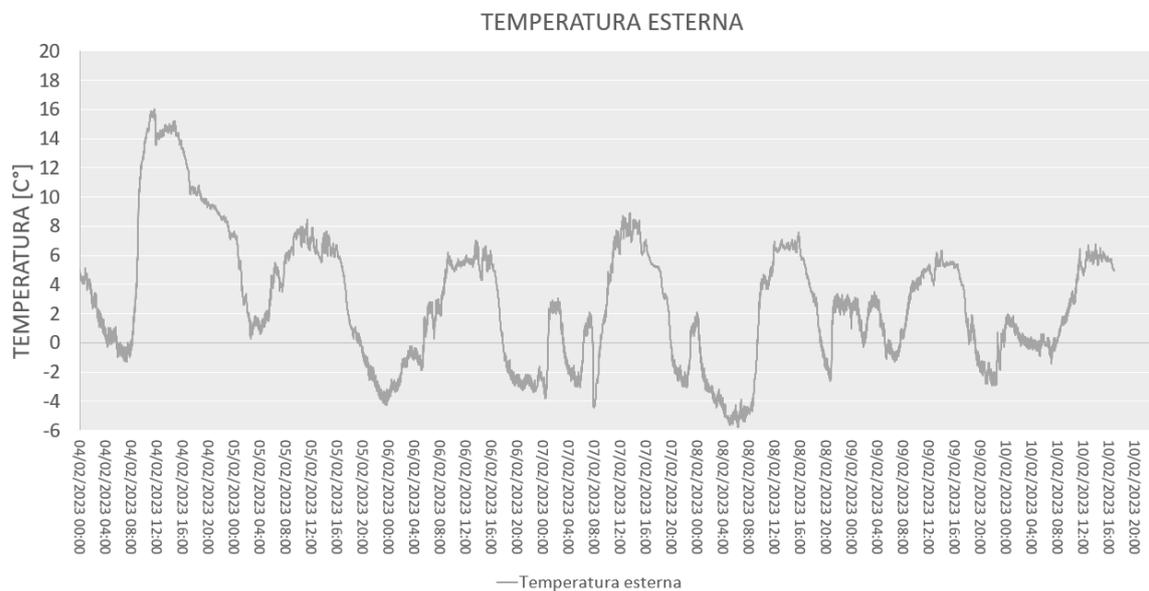


Figura 19. Temperatura esterna febbraio

6.2. Settimana autunnale

Il monitoraggio delle test room schermata e non schermata è stato condotto simultaneamente. Tra i periodi monitorati è stata selezionata la settimana in cui è stata montata la schermatura (13 settembre), per rendere più visibile l'efficacia dello schermo. Il grafico in figura 20 riporta le temperature superficiali interne sul vetro delle due test room. Si nota come nel primo periodo i valori siano perfettamente coincidenti, dimostrando la confrontabilità delle due casi di studio. La messa in opera dello schermo determina effetti significativi sulle temperature misurate. La fase iniziale della giornata vede le due curve sovrapporsi quasi perfettamente finché l'altezza solare raggiunge una quota che permette il funzionamento dello schermo (indicativamente alle 11.00).

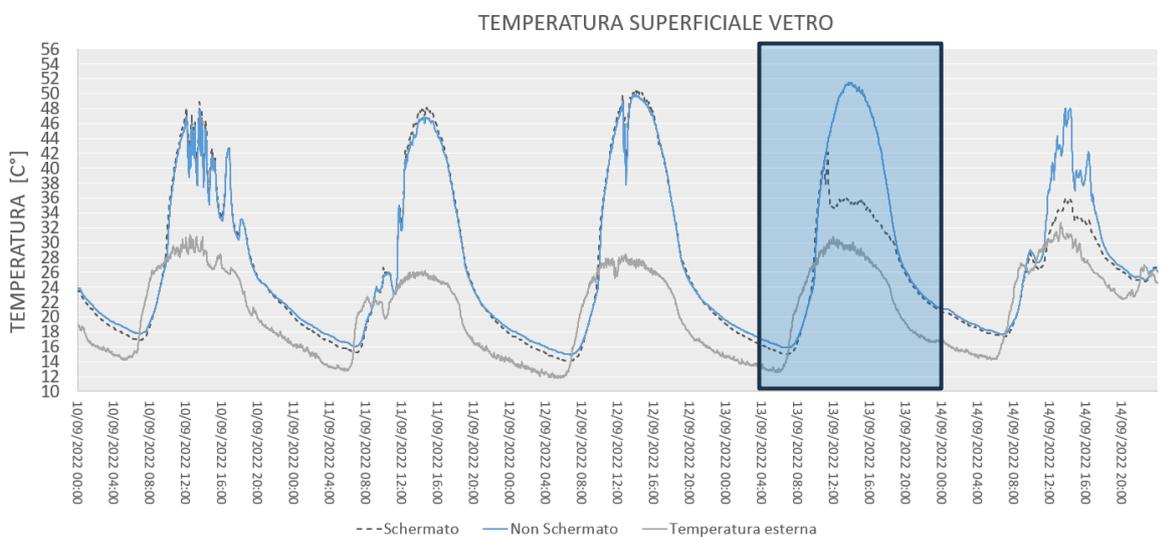


Figura 20. Confronto temperatura superficiale interna vetro

La Figura 21 riporta i valori di temperatura registrati dalle sonde interne alle test rooms a un'altezza di 2,50 m da terra. Il periodo evidenziato in azzurro corrisponde al momento dell'installazione dello schermo nel box 1. Nel primo periodo il box 1 presenta un andamento caratterizzato da oscillazioni maggiori delle temperature, dovute probabilmente ad una minor efficacia dell'isolamento del solaio di terra. Nel secondo periodo si nota come l'inserimento della schermatura riduca le

temperature fino a 6 °C sui massimi e 3-4 °C sui minimi. Considerando le condizioni iniziali svantaggiate del box 2 l'effetto della schermatura risulta anche più marcato.

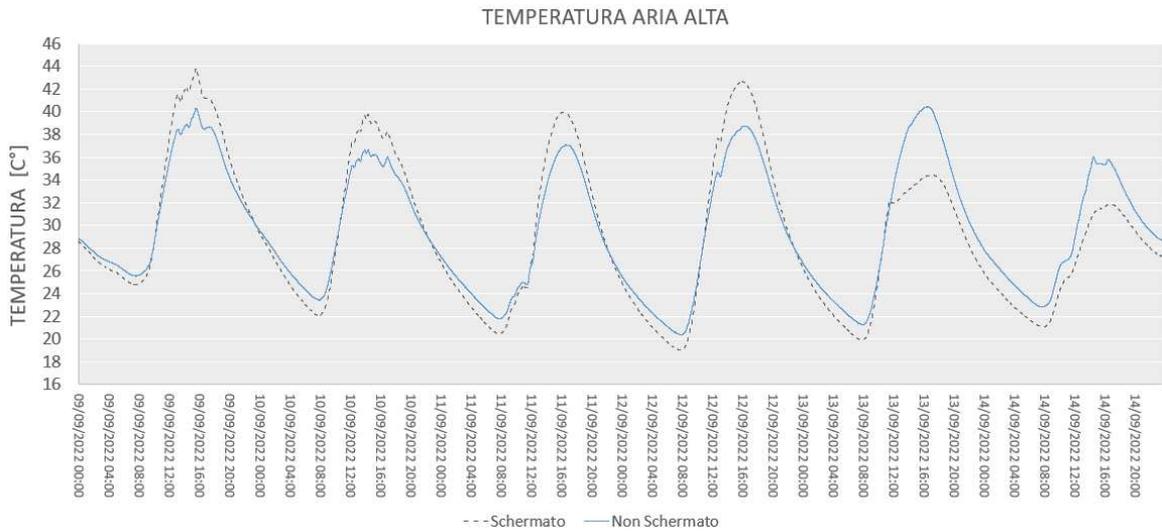


Figura 21. Confronto temperatura aria alta

La stessa riduzione delle temperature si nota anche nella parte bassa dei box, come dimostrano le misurazioni dei sensori posti a 40 cm da terra. (Fig.22)

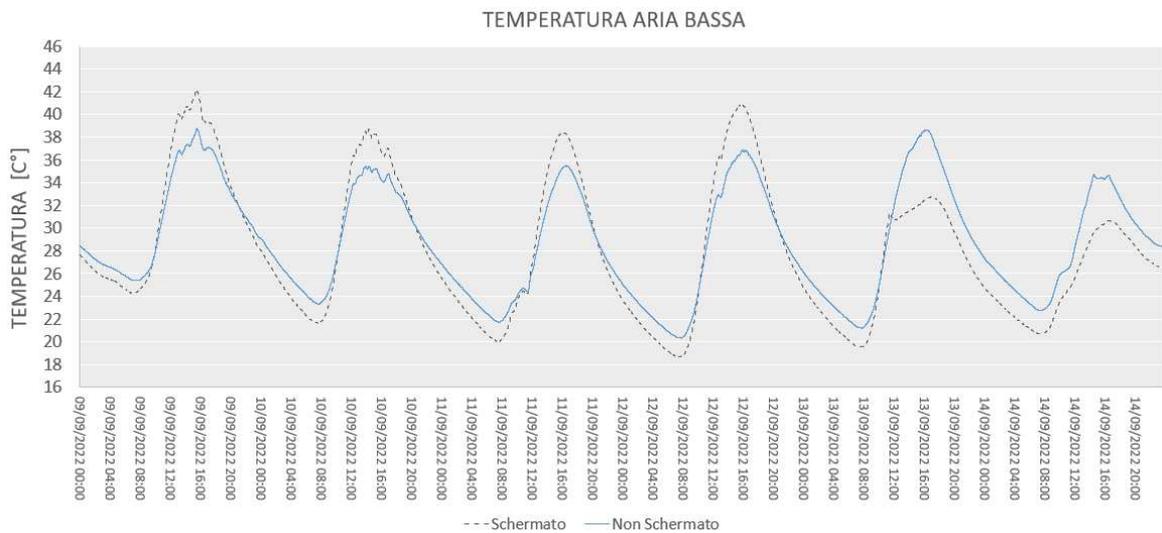


Figura 22. Confronto temperatura aria bassa

Di seguito si riportano i dati misurati dai cinque sensori superficiali posti sul solaio di attacco a terra, dal confronto tra i due box. La progressione delle temperature nei 5 sensori permette di valutare l'area di influenza del vetro all'interno della test room.

I primi tre sensori posti in adiacenza alla superficie vetrata (Fig.23-25) hanno un andamento pressoché simile sia come oscillazioni che come valori misurati. Le curve presentano picchi

corrispondenti all'incidenza della radiazione solare diretta e valori massimi nelle ore centrali intorno a 32 °C, contro i 56°C del box non schermato.

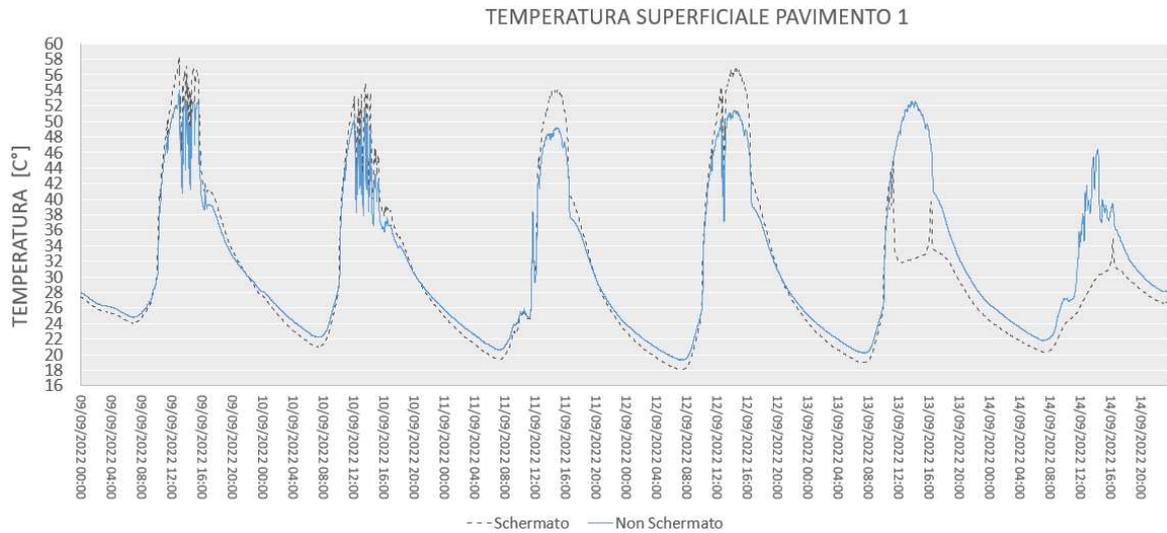


Figura 23. Confronto temperatura superficiale pavimento 1

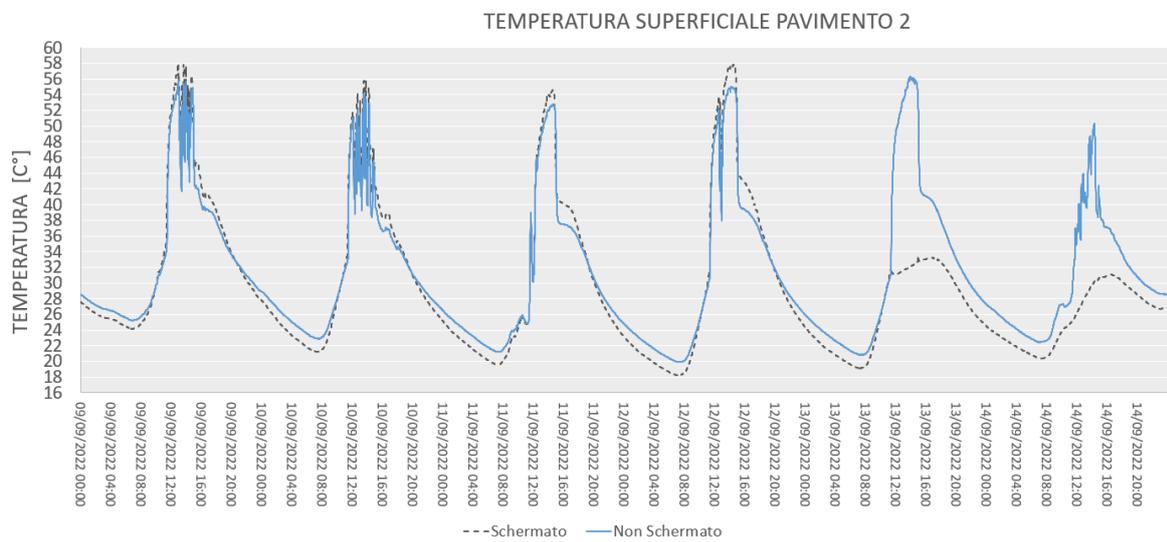


Figura 24. Confronto temperatura superficiale pavimento 2

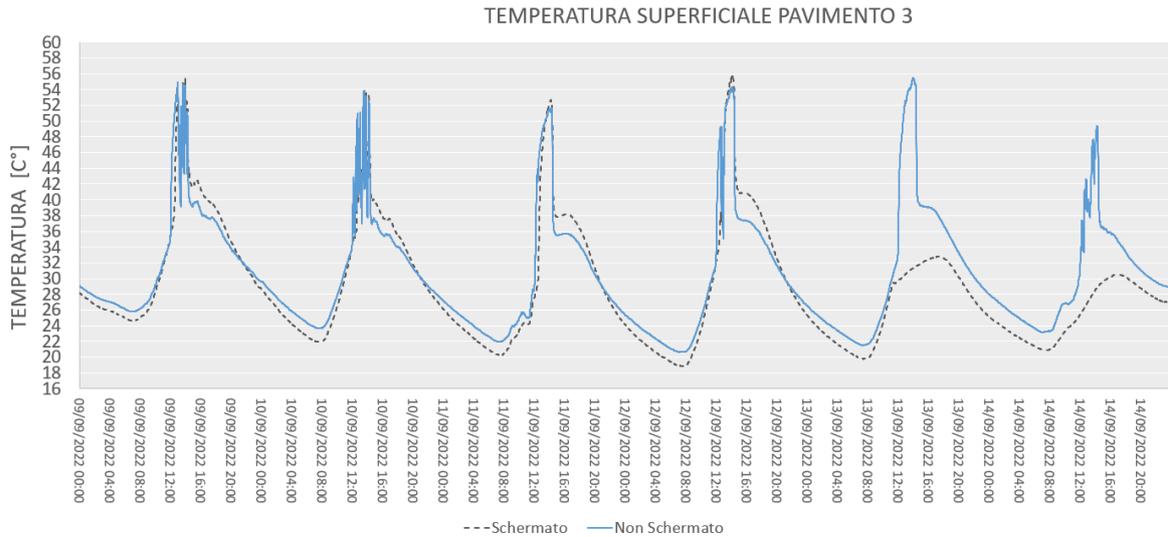


Figura 25. Confronto temperatura superficiale pavimento 3

I due sensori posti più lontano dalla superficie vetrata (Fig.26-27) hanno un andamento pressoché simile tra di loro sia come oscillazioni che come valori misurati. A differenza dei sensori visti in precedenza la riduzione delle temperature massime rispetto al box non schermato è meno significativa in questi punti per la minore incidenza della radiazione diretta. Le curve presentano massimi nelle ore centrali intorno a 32 °C nella stanza schermata, e 36°C in quella non schermata.

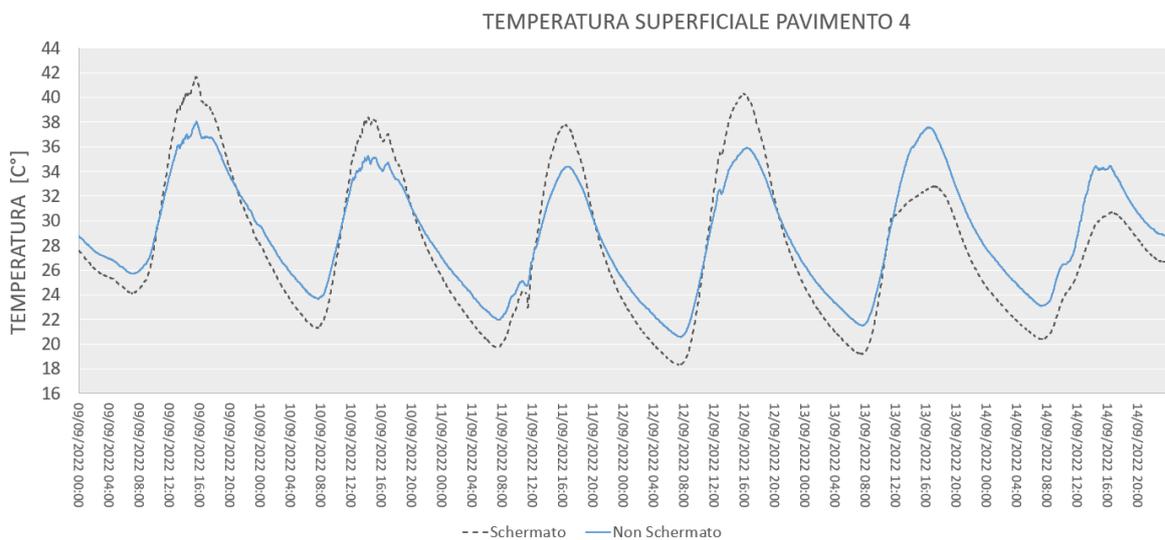


Figura 26. Confronto temperatura superficiale pavimento 4

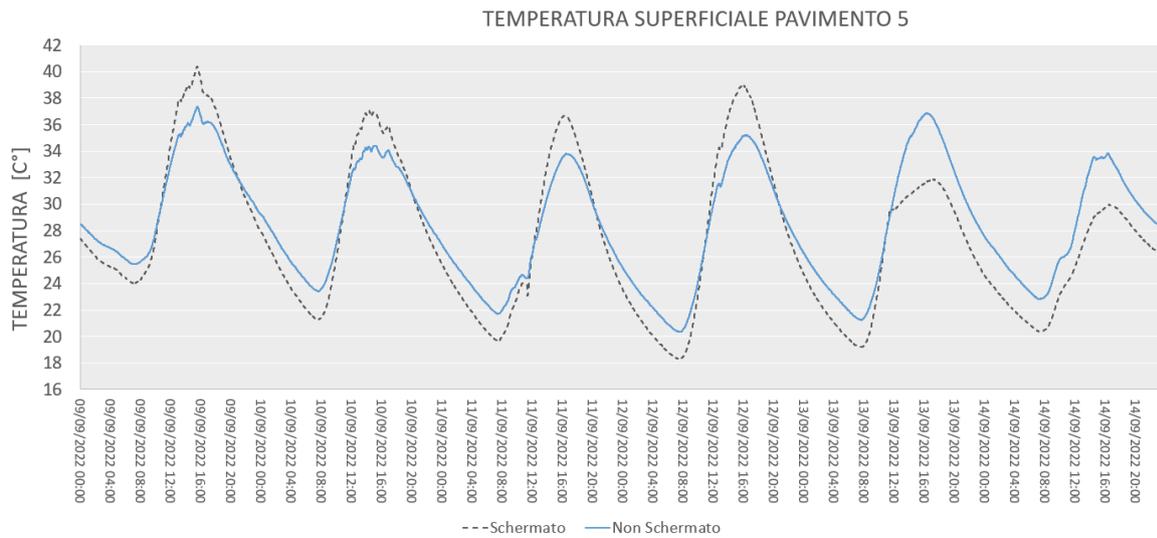


Figura 27. Confronto temperatura superficiale pavimento 5

Il grafico in Fig.28 riporta le temperature superficiali misurate nella parete nord, nella settimana di installazione della schermatura nel box1. I dati presentano valori simili a quelli riportati dalle sonde superficiali poste in lontananza alla parete vetrata.

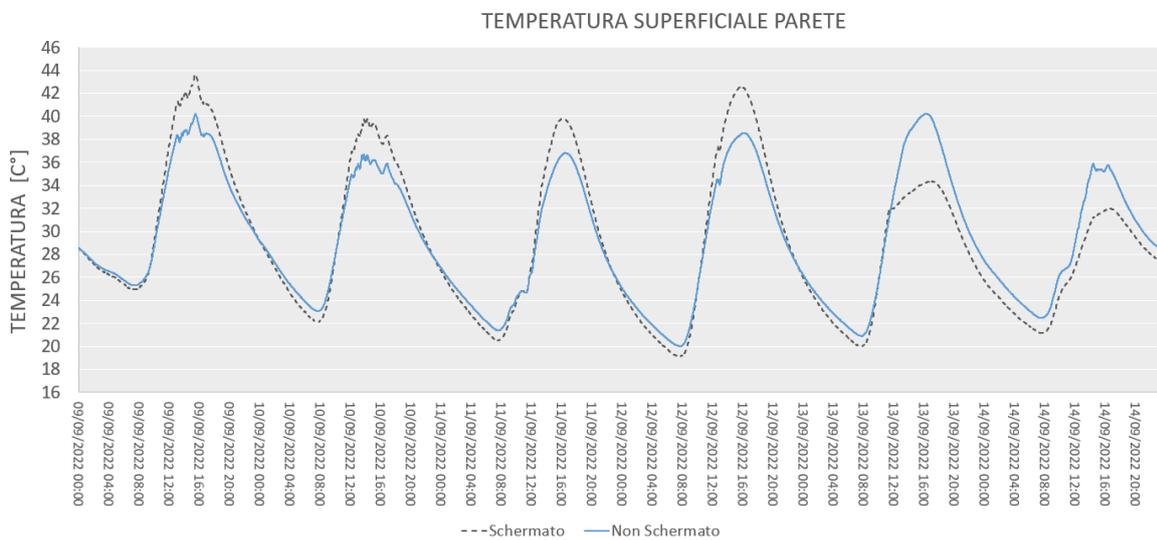


Figura 28. Confronto temperatura interna parete a Nord

6.3. Settimana invernale tipica

Tra i periodi monitorati nella stagione invernale è stata selezionata la settimana dl 4 al 11 Gennaio.

Il grafico in figura 29 riporta le temperature superficiali interne sul vetro delle due test room. Si può notare come nelle giornate non soleggiate i valori siano perfettamente coincidenti, mentre in presenza di radiazione solare le due curve risultano avere uno sfasamento di circa 10°C . Lo schermo determina effetti significativi sulle temeprature misurate. La fase iniziale della giornata vede le due curve sovrapporsi quasi perfettamente finchè l’altezza solare raggiunge una quota che permette il funzionamento dello schermo (indicativamente alle 12.00).

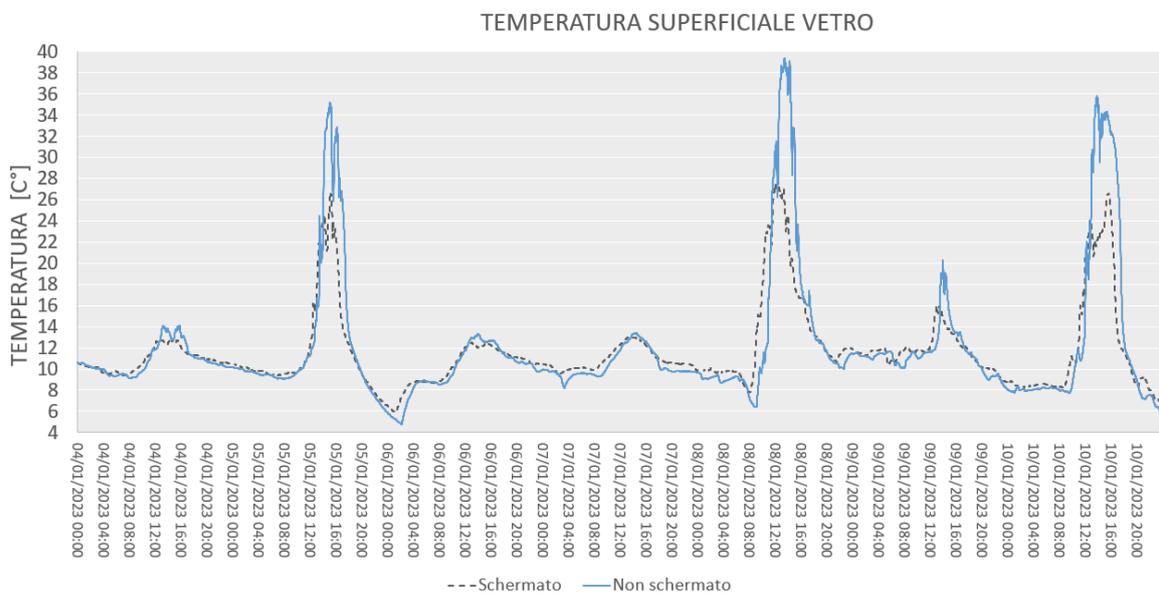


Figura 29. Confronto temperatura superficiale interna vetro

Nelle Figure 30-31 si riportano i valori di temperatura registrati dalle sonde interne alle test rooms a un’altezza di 2,50 m da terra per l’aria alta e 0,40 m da terra per l’aria bassa. L’andamento delle temperature rispecchia molto l’andamento delle temperature del vetro visto precedentemente. Nelle giornate poco soleggiate l’effetto delle schermatura viene azzerato, mentre nelle giornate di sole si ha un abbattimento dei picchi nelle ora più calde di circa 3-4°C.

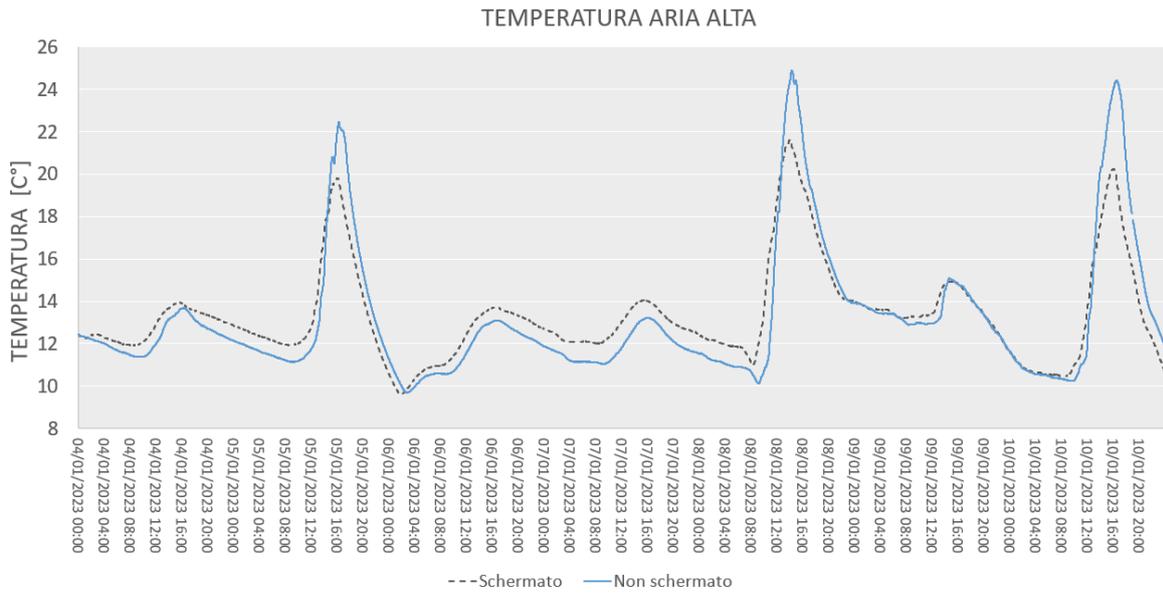


Figura 30. Confronto temperatura aria Alta

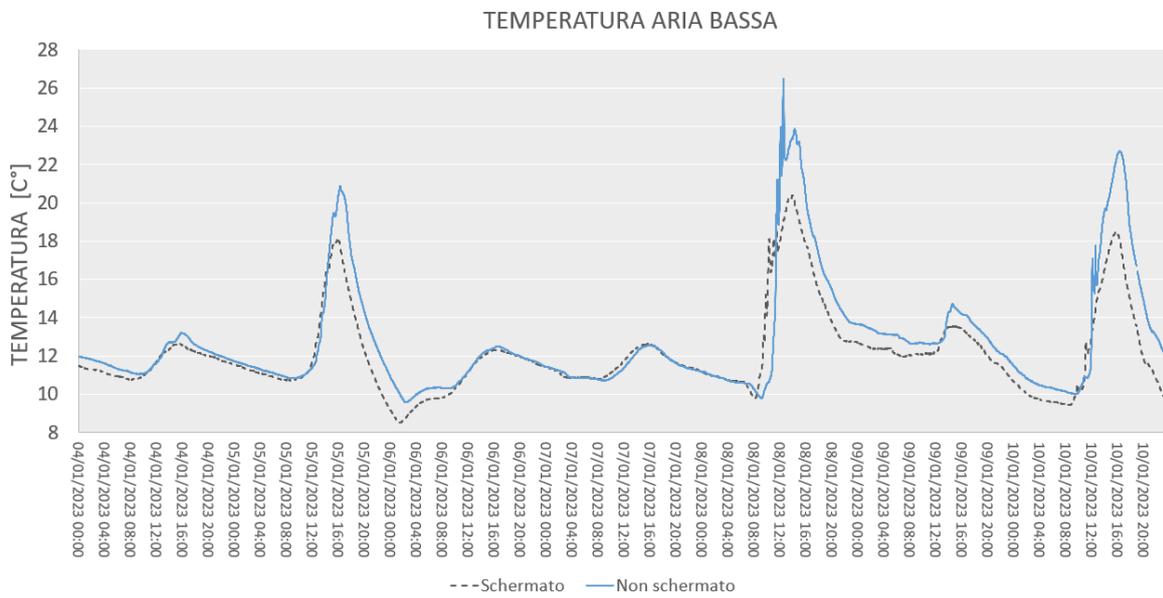


Figura 31. Confronto temperatura aria bassa

Di seguito si riportano i dati misurato dai cinque sensori superficiali posti sul solaio di attacco a terra.

I primi due sensori posti in adiacenza alla superficie vetrata (Fig.32-33) hanno un andamento pressoché simile, sia come oscillazioni che come valori misurati. Le curve presentano leggere variazioni di temperatura in corrispondenza delle ore più calde della giornata, circa 3-4°C. L'altezza del sole nei mesi invernali rende l'incidenza della radiazione solare diretta minore nei sensori in prossimità della superficie vetrata.

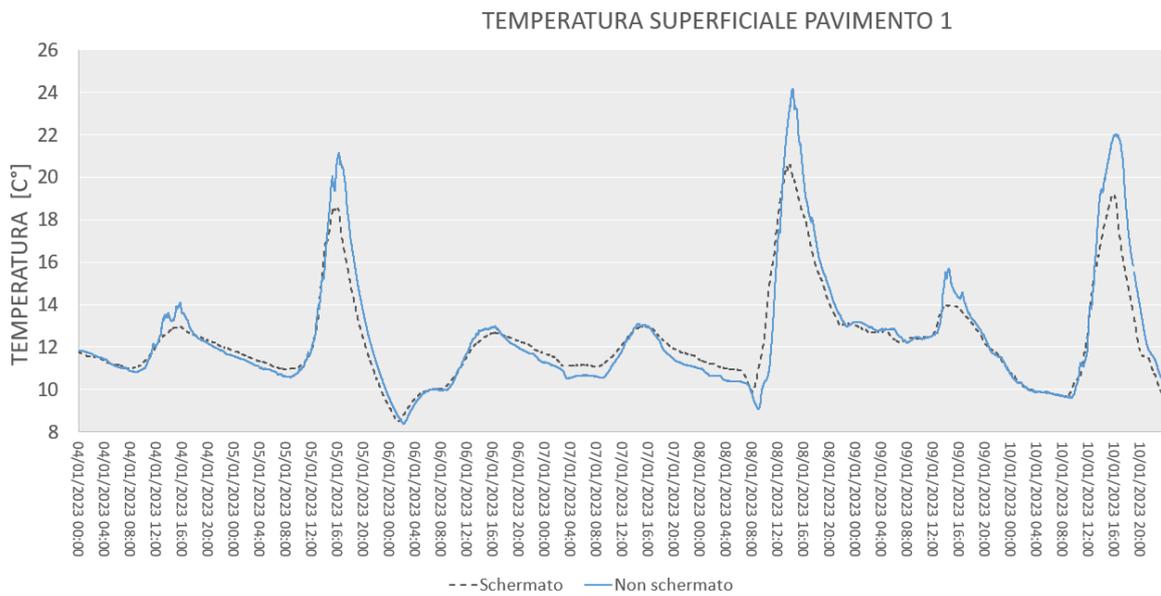


Figura 32. Confronto temperatura superficiale pavimento 1

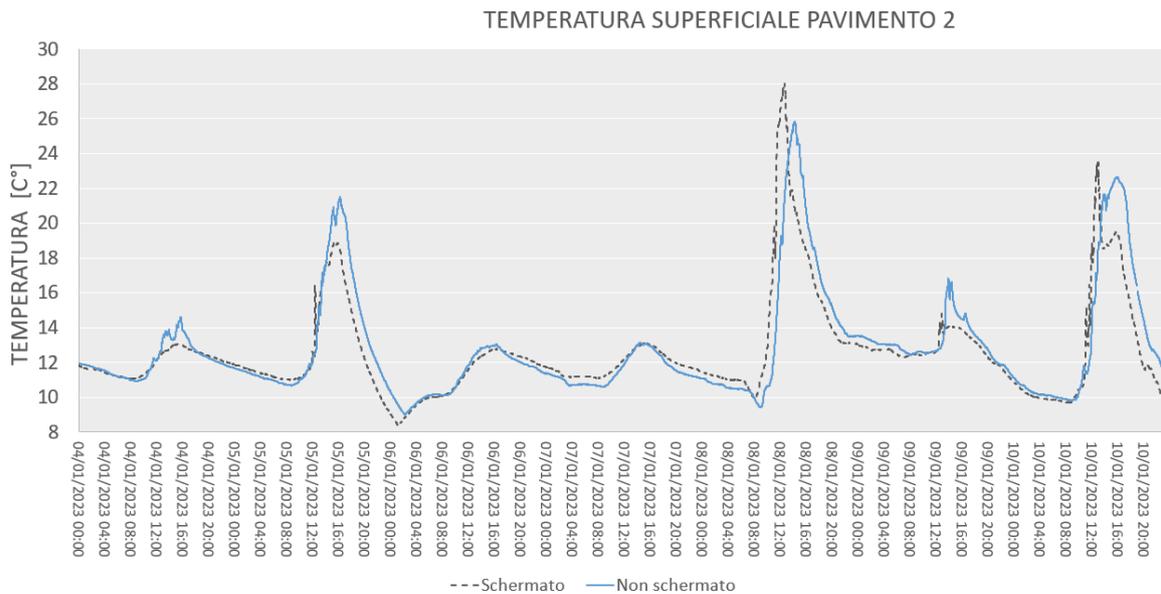


Figura 33. Confronto temperatura superficiale pavimento 2

I tre sensori posti più lontano dalla superficie vetrata (Figs.34-36) a differenza dei sensori visti in precedenza presentano una riduzione delle temperature massime rispetto al box non schermato più significativa in questi punti per la maggiore incidenza della radiazione diretta. Le curve presentano nei giorni soleggiati massimi nelle ore centrali intorno a 30-34 °C nella stanza schermata, e 24-26°C in quella non schermata. Nei giorni non soleggiati, l'effetto della schermatura è pressochè nullo.

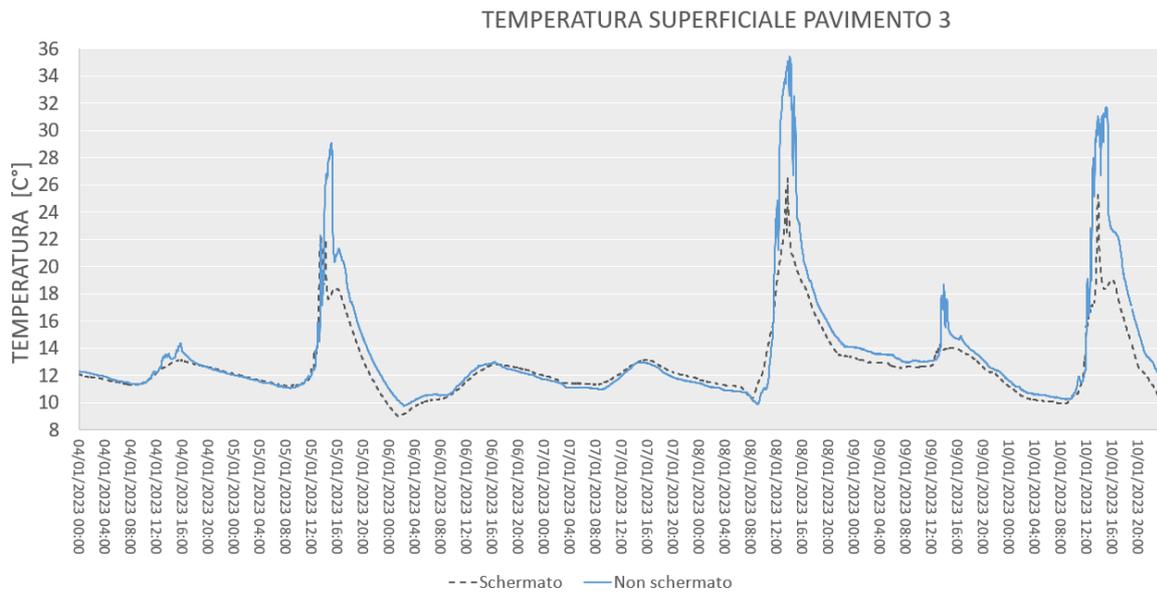


Figura 34. Confronto temperatura superficiale pavimento 2

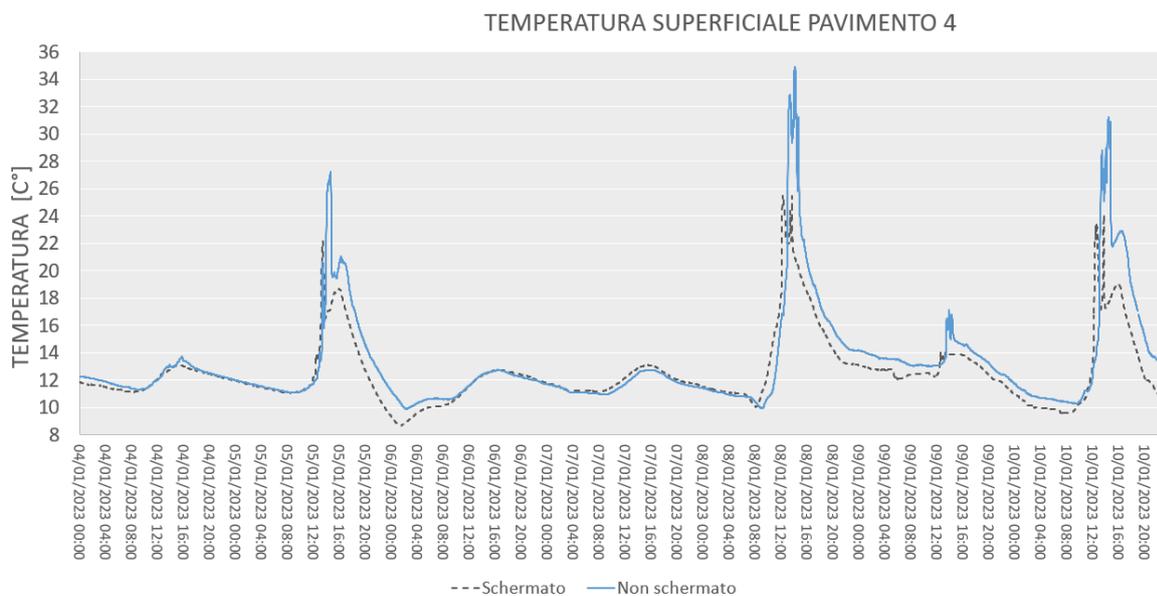


Figura 35. Confronto temperatura superficiale pavimento 4

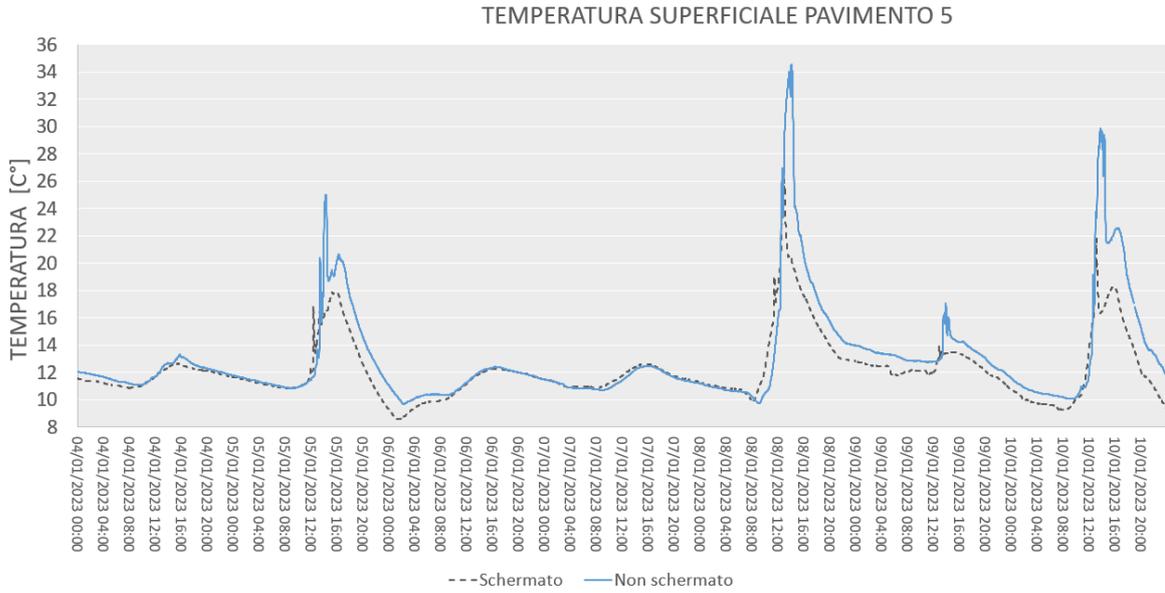


Figura 36. Confronto temperatura superficiale pavimento 5

Il grafico in Fig.37 riporta le temperature superficiali misurate nella parete nord.

I dati presentano valori simili a quelli riportati dalle sonde superficiali poste in lontananza alla parete vetrata.

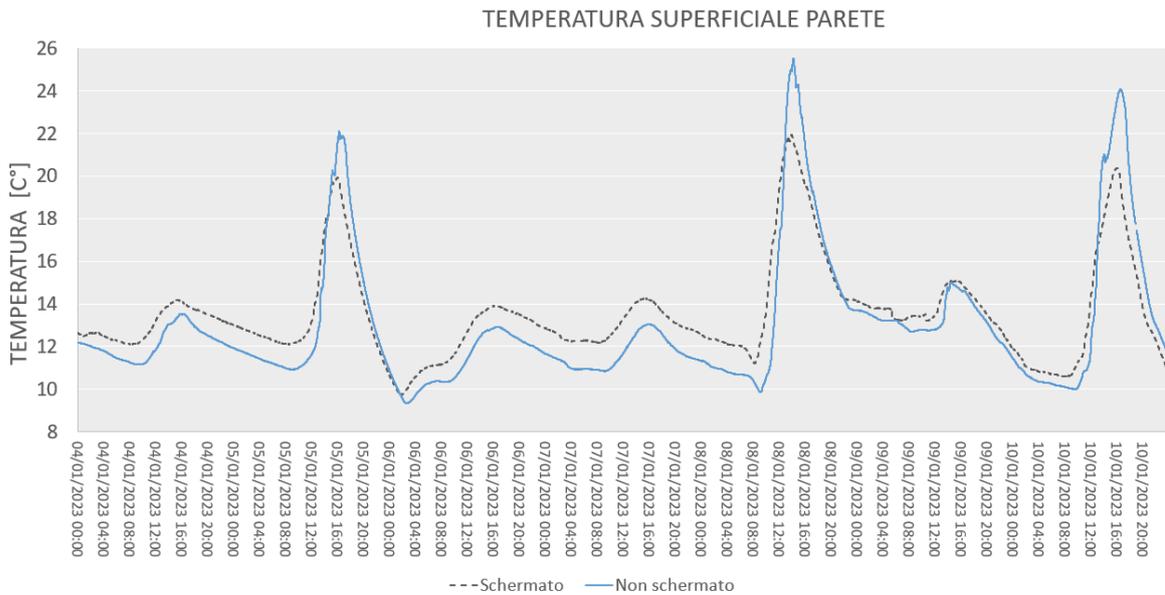


Figura 37. Confronto temperatura superficiale interna Parete

6.4. Settimana invernale estrema

Tra i periodi monitorati nella stagione invernale la settimana di 4 al 11 febbraio è risultata una delle più fredde registrate.

Il grafico in figura 38 riporta le temperature superficiali interne sul vetro delle due test room e la temperatura esterna. Si può notare come rispecchi l'andamento già visto per il mese di Gennaio. L'effetto della schermatura è molto visibile nei giorni di sole (04/02/2023) con riduzioni delle temperature di picco fino a 20°C, mentre in presenza di ridotta radiazione solare in entrambi i box, le due curve risultano quasi sovrapponibili.

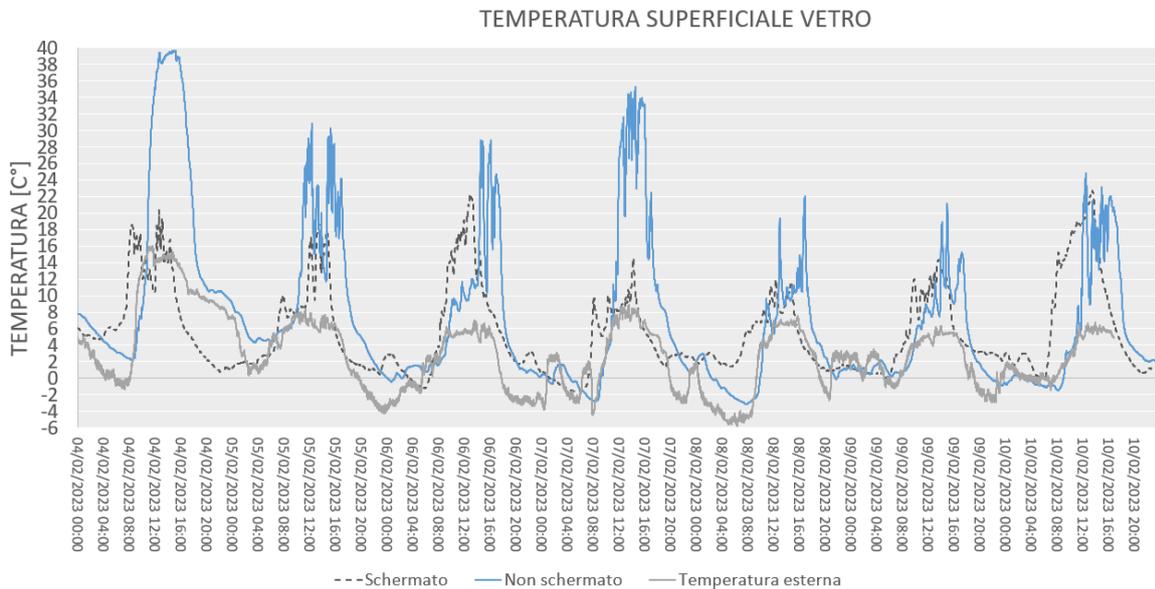


Figura 38. Confronto temperatura superficiale interna vetro

La temperatura dell'aria alta (Fig.39) e bassa segue l'andamento delle temperature del vetro, riscontrando nei giorni più caldi riduzioni di temperatura nel box schermato di circa 10-12°C.

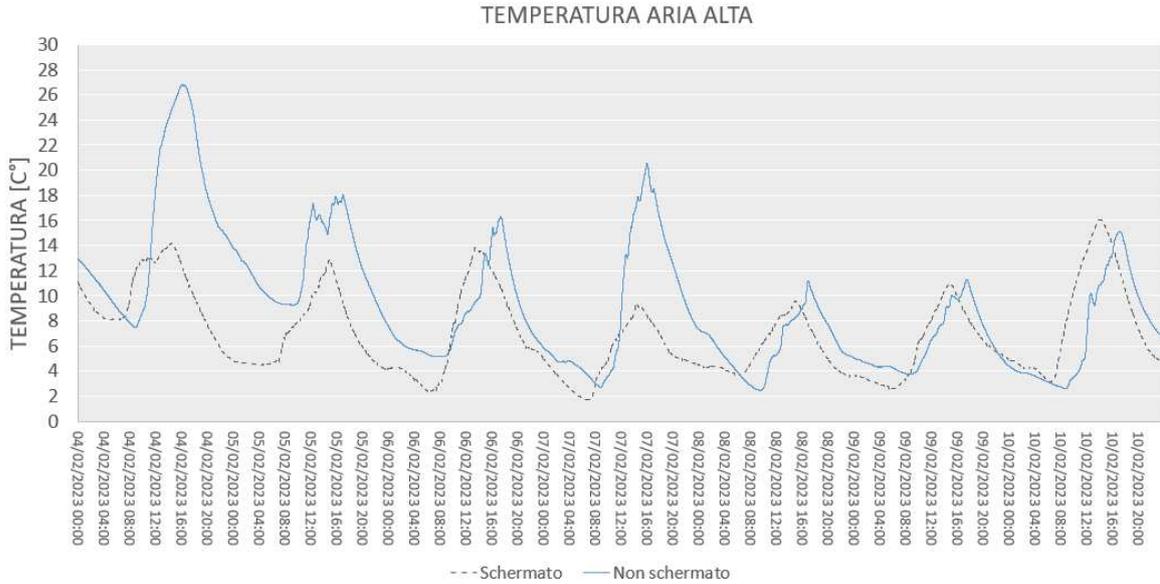


Figura 39. Confronto temperatura aria alta

I sensori posti nella pavimentazione in prossimità ed in lontananza della superficie vetrata seguono lo stesso andamento riscontrato nel mese di Gennaio. (Fig.40-42)

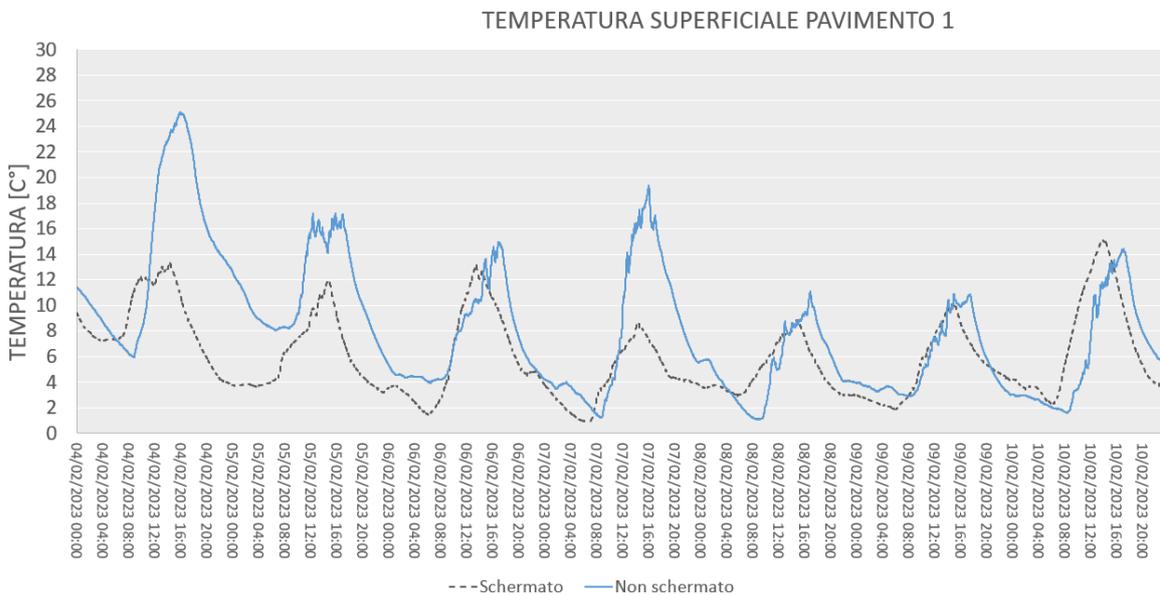


Figura 40. Confronto temperatura superficiale pavimento 1

TEMPERATURA SUPERFICIALE PAVIMENTO 5

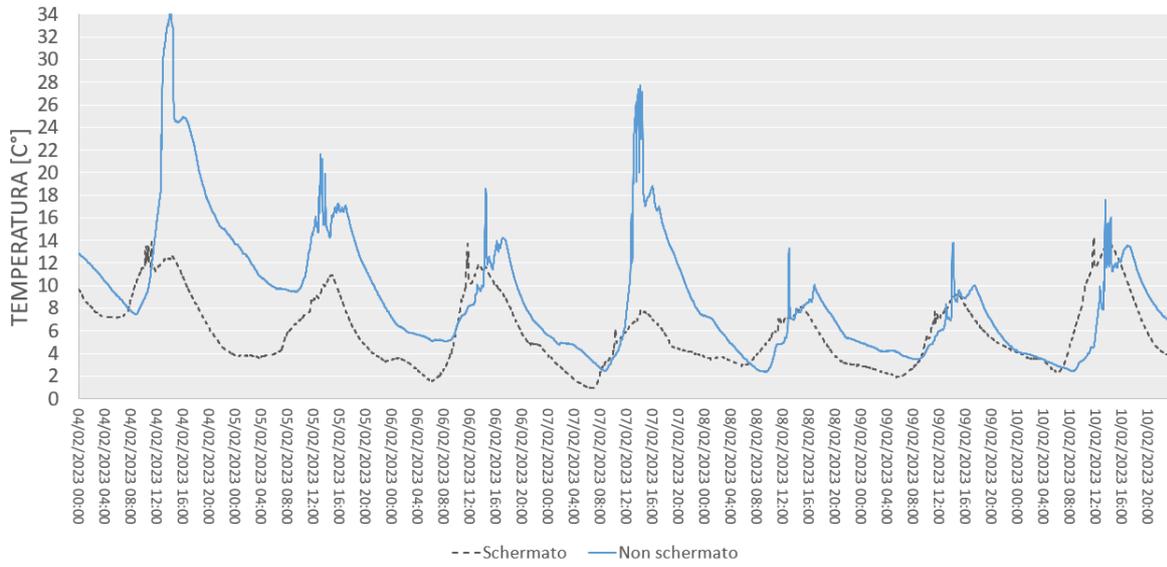


Figura 41. Confronto temperatura superficiale pavimento 5

TEMPERATURA SUPERFICIALE PARETE

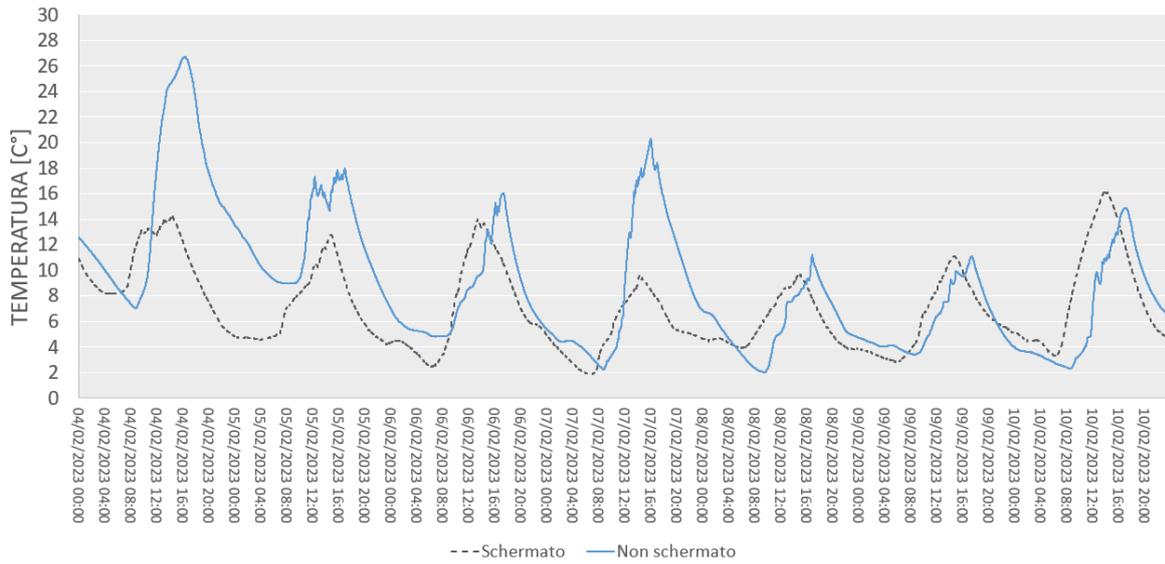


Figura 42. Confronto temperatura superficiale interna parete

6.5. Approfondimento su un giorno tipico invernale

È stato selezionato un giorno tipico invernale caratterizzato da temperature esterne variabili tra 3 °C e 10°C.

I dati mostrano la presenza di un sfasamento temporale tra l'innalzamento delle temperature dei due la box. La motivazione sta nella presenza di vegetazione laterale al box non schermato che ha l'effetto di ritardare l'effetto della radiazione diretta per circa un'ora. L'innalzamento delle temperature nei due box segue un'inclinazione diversa a seguito dell'effetto dello schermo. L'efficacia ombreggiante dello schermo si nota dalle 12, quando la radiazione solare alta viene bloccata dalle lamelle. Nel box schermato il massimo delle temperature si registra a 27 °C mentre in quello non schermato a 40°C, dimostrano ottimo comportamento della schermatura.

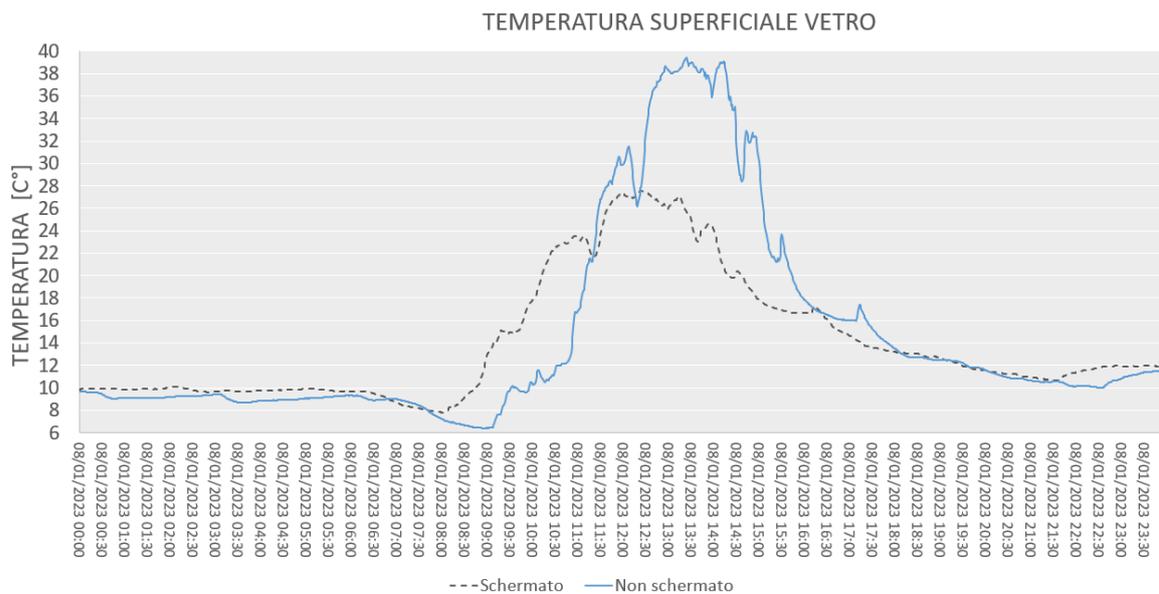


Figura 43. Confronto temperatura superficiale interna vetro

Nelle Figure 44-45 sono riportati i valori di temperatura rilevati dalle sonde di temperatura dell'aria posizionate all'interno delle stanze di prova. L'andamento delle temperature riflette strettamente quello osservato in precedenza per le temperature del vetro. L'andamento dell'aria all'interno dei due box oscilla con differenze di temperatura tra i due box di circa 2-4°C.

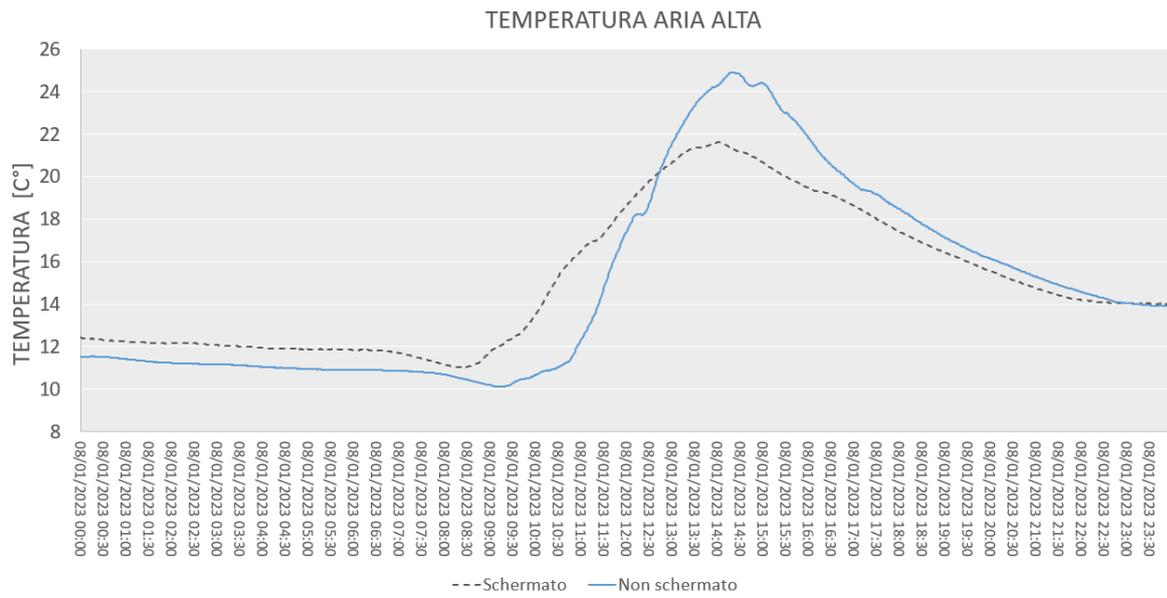


Figura 44. Confronto temperatura aria alta

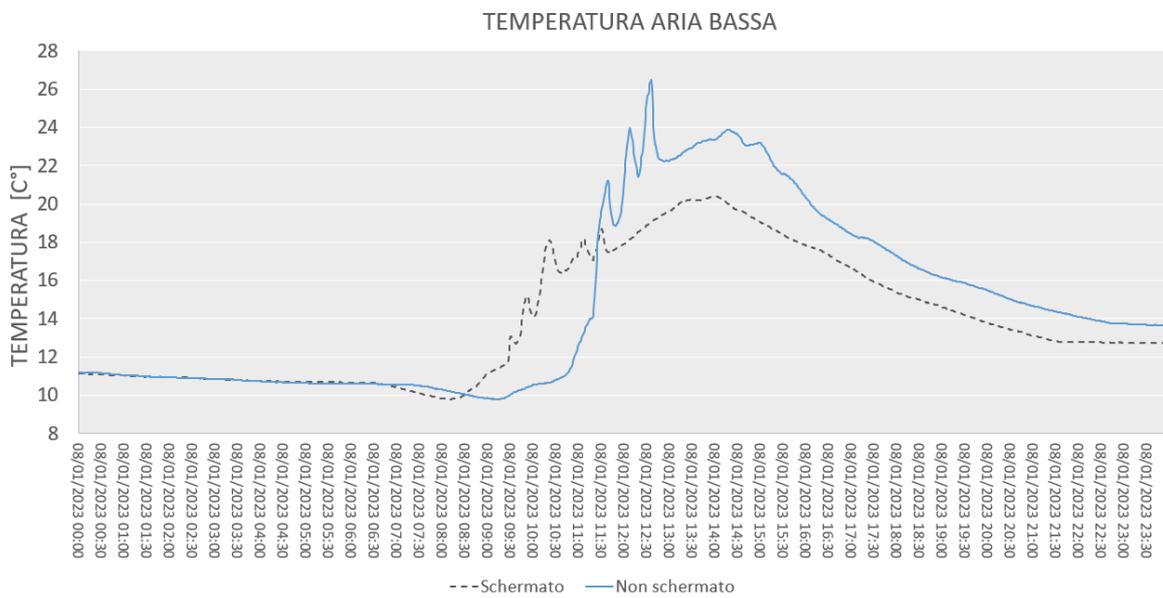


Figura 45. Confronto temperatura aria bassa

Come già visto nel grafico settimanale, dal grafico giornaliero è ancora più visibile la differenza delle temperature nelle sonde posizionate il lontananza alla superficie vetrata. Le due sonde superficiali poste nella vicinanza della superficie vetrata (Fig. 46-47) essendo colpite in maniera ridotta dalla radiazione solare, presentano minime variazioni di temperatura nelle ore di calde fino ad azzerarsi nel resto della giornata.

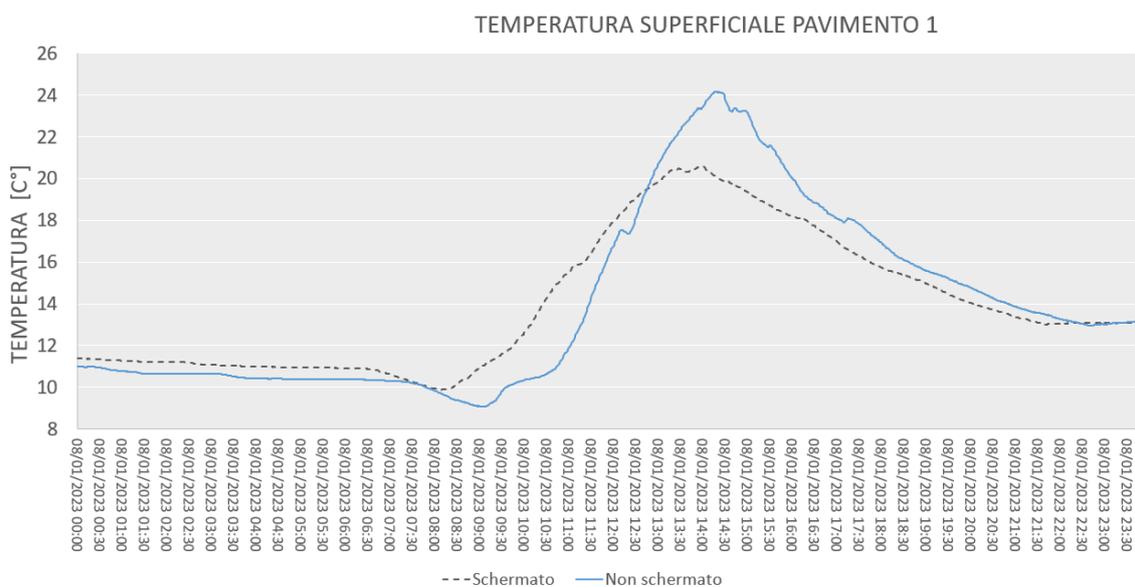


Figura 46. Confronto temperatura superficiale pavimento 1

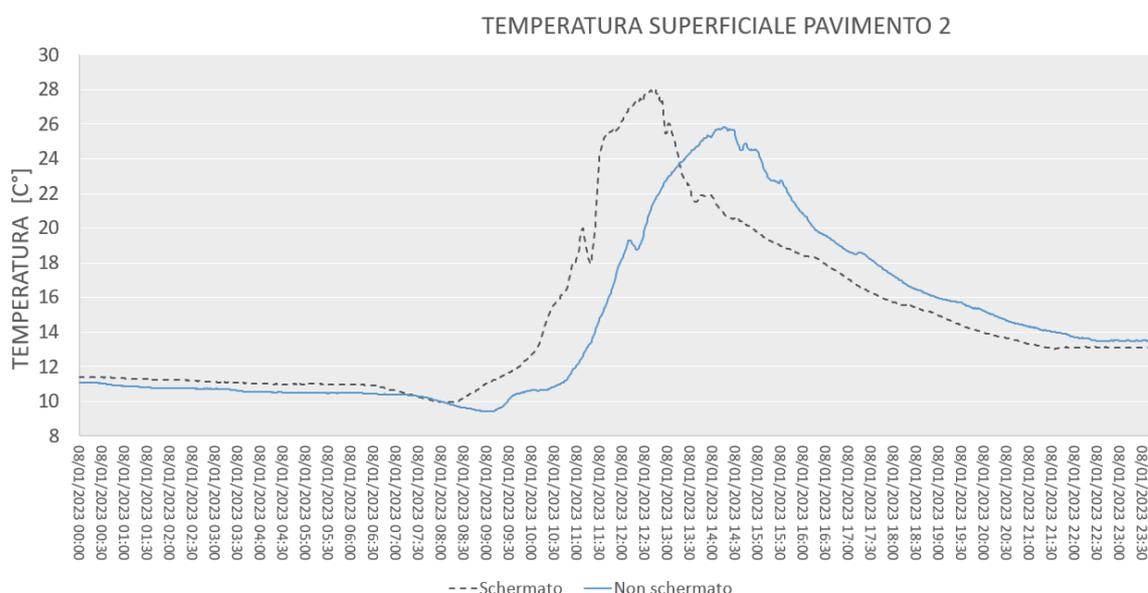


Figura 47. Confronto temperatura superficiale pavimento 2

Le restati sonde poste sulla pavimentazione del box (Fig.48-49-50) presentano variazioni di temperatura con picchi di circa 10°C intorno a 13:00, nelle restanti ore della giornata le variazioni di temperatura vanno ad assottigliarsi.

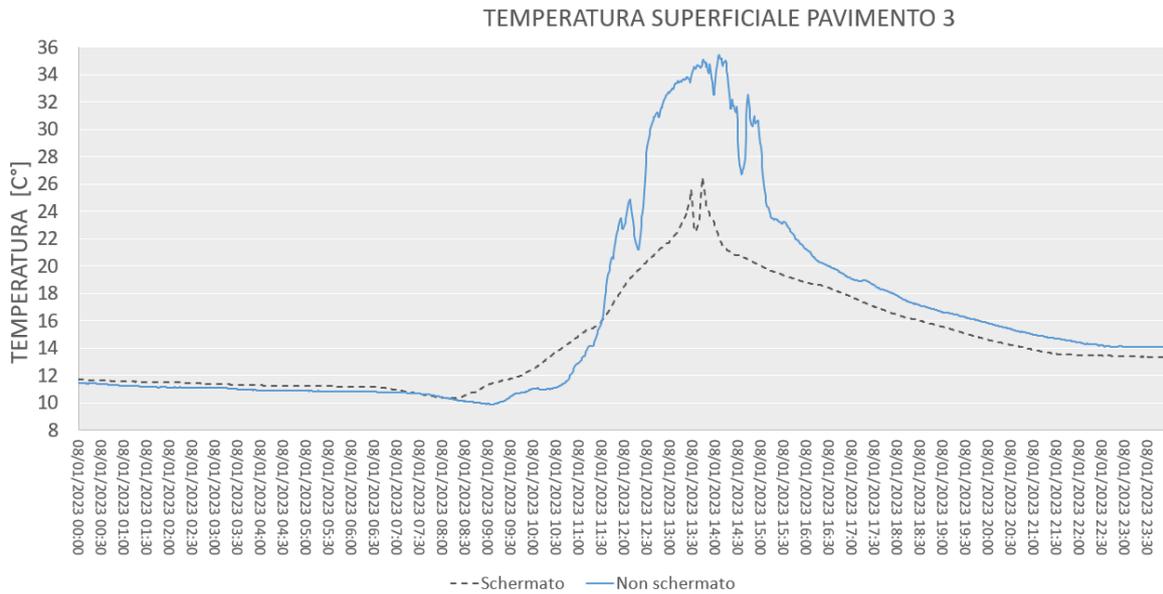


Figura 48. Confronto temperatura superficiale pavimento 3

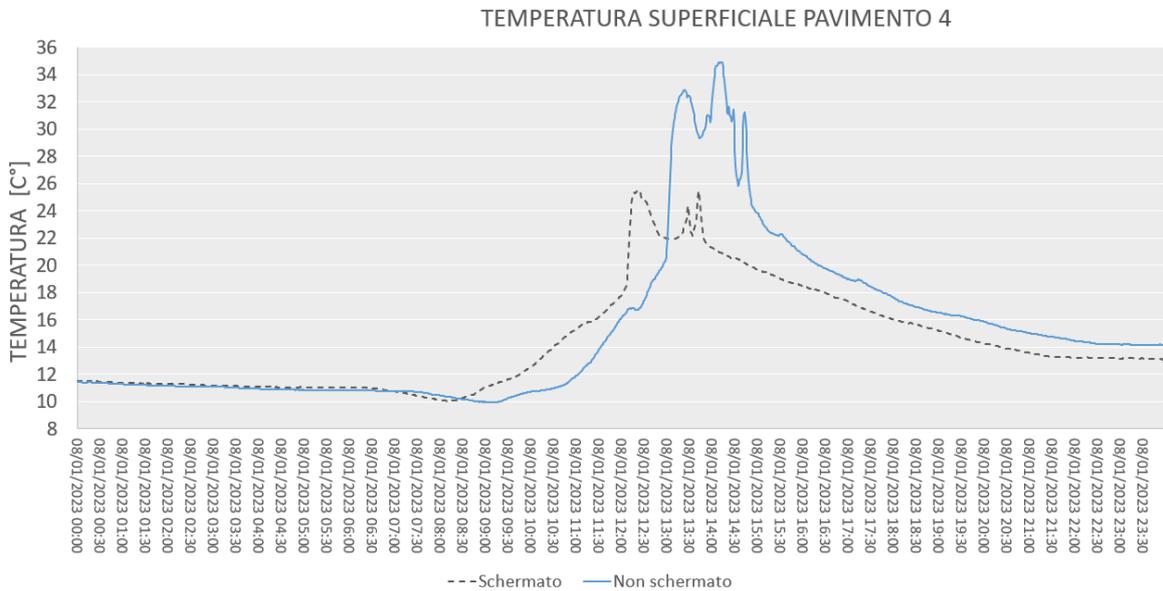


Figura 49. Confronto temperatura superficiale pavimento 4

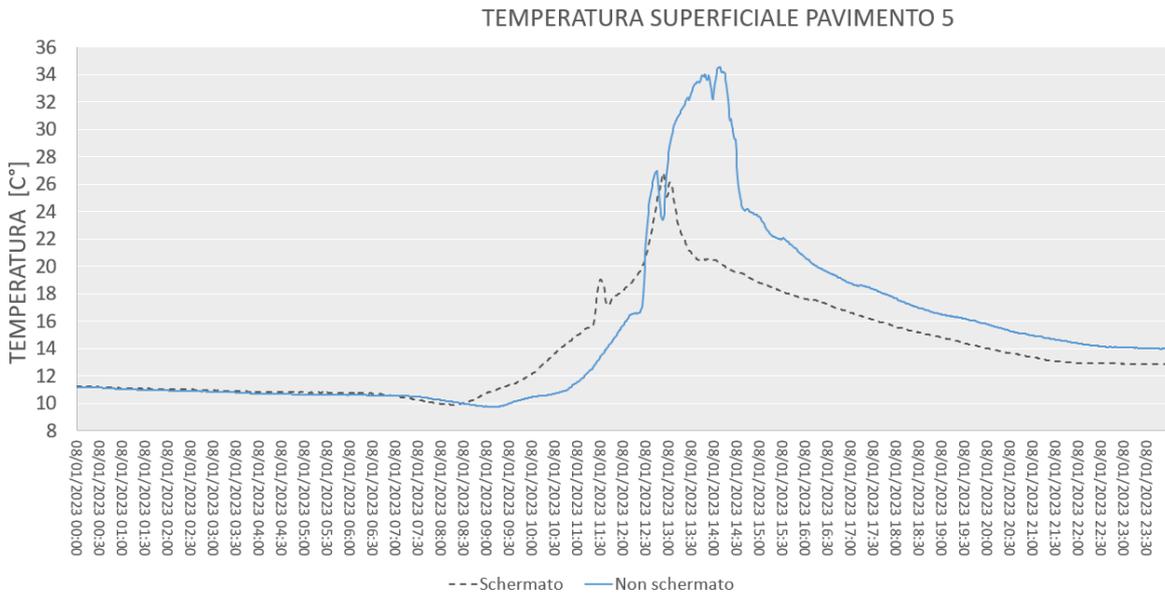


Figura 50. Confronto temperatura superficiale pavimento 5

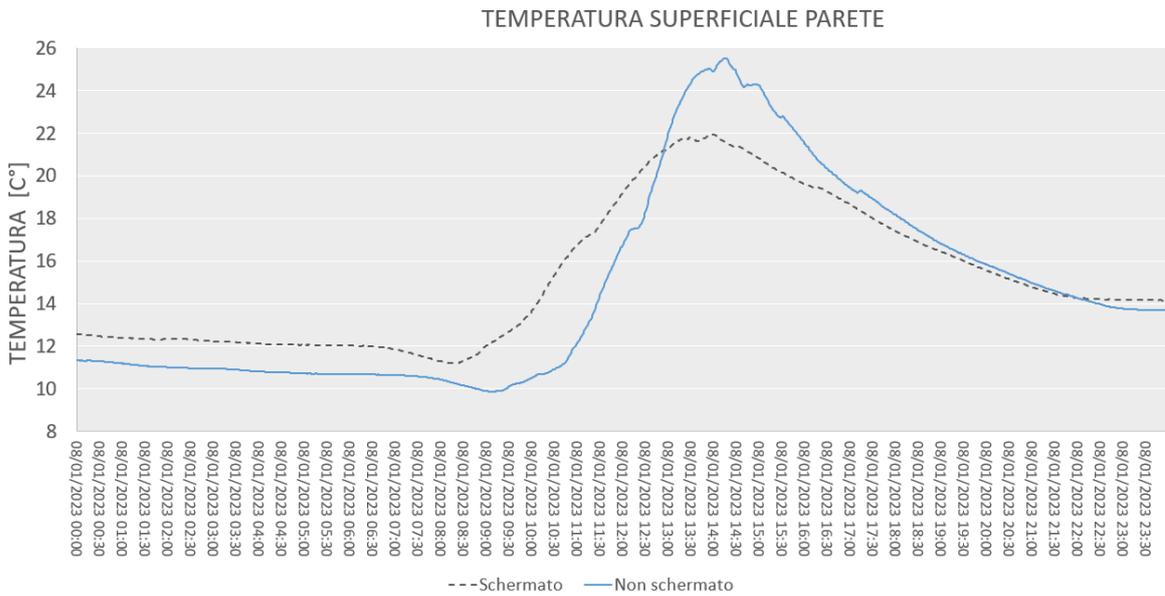


Figura 51. Confronto temperatura superficiale interna parete

7. Conclusioni

La presente tesi si è concentrata sul monitoraggio invernale e di una stagione intermedia di due test room realizzate per simulare un ambiente interno, una con schermatura a lamelle metalliche orizzontali, una senza schermature. L'obiettivo della tesi è stato quello di quantificare sperimentalmente l'efficienza di questo sistema a lamelle selezionando la tipologia più scarsamente indagata in letteratura, cioè caratterizzato da lamelle di ridotte dimensioni e con rapporto tra la spaziatura delle lamelle e la larghezza pari all'unità.

Lo studio ha permesso di dimostrare che:

- Nelle stagioni intermedie il sistema permette un abbattimento delle temperature del vetro fino a 14°C e delle temperature interne del locale di circa 6°C. Inoltre, le temperature superficiali del pavimento sono ridotte di circa 14°C in prossimità della finestra, mentre di 6°C in zone più distanti dalla finestra.
- Nelle stagioni invernali il sistema permette un abbattimento delle temperature del vetro fino a 8°C e delle temperature interne del locale di circa 3°C. Inoltre, le temperature superficiali del pavimento sono ridotte di circa 4°C in prossimità della finestra, mentre di 8°C in zone più distanti dalla finestra, per la minore altezza solare in questa stagione.

In conclusione, il sistema si è dimostrato molto efficiente rispetto alla soluzione non schermata, soprattutto nella stagione intermedia a causa della radiazione solare più incidente. Nella fase invernale notevole beneficio si è notato soprattutto nelle parti più interne del box.

(Segnaposto1)Bibliografia

- [1] Sung D. A New Look at Building Facades as Infrastructure. *Engineering* 2016;2:63–8. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.01.008>.
- [2] Palmero-Marrero AI, Oliveira AC. Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Appl Energy* 2010;87:2040–9. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.020>.
- [3] Nielsen MV, Svendsen S, Jensen LB. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. *Sol Energy* 2011;85:757–68. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.01.010>.
- [4] Alzoubi HH, Al-Zoubi AH. Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades. *Energy Convers Manag* 2010;51:1592–9. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.08.039>.
- [5] Datta G. Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation. *Renew Energy* 2001;23:497–507. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00131-2).
- [6] Evangelisti L, Guattari C, Asdrubali F, de Lieto Vollaro R. An experimental investigation of the thermal performance of a building solar shading device. *J Build Eng* 2020;28:101089. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101089>.