

UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA



Corso di laurea triennale in Ingegneria edile

*Dipartimento di Scienze e Ingegneria, Materia, Ambiente, Urbanistica*

STUDIO ENERGETICO DI PARETI VENTILATE IN FASE  
INVERNALE

ENERGY STUDY OF VENTILATED WALLS IN WINTER

Relatore: Prof. Ing. Stazi Francesca

Correlatore: Prof. Ing. Di Perna Costanzo

Tesi di Laurea di : Raggetta Martina

*A mio marito e alla mia famiglia*

## INDICE

❖	CAPITOLO 1.....	PAG 3
	INTRODUZIONE.....	PAG 3
	1.1- MOTIVAZIONE E CASO DI STUDIO.....	PAG 3
	1.2- OBIETTIVI DELLA TESI.....	PAG 4
❖	CAPITOLO 2.....	PAG 5
	CASO DI STUDIO.....	PAG 5
	2.1 - STRUMENTI UTILIZZATI.....	PAG 8
	2.2 - PIANO DI MONITORAGGIO.....	PAG 12
	2.2.1- PIANIFICAZIONE DELLE GRANDEZZE DA MONITORARE.....	PAG 12
	2.2.2 - PIANO DI MONITORAGGIO.....	PAG 12
	2.2.3 - PIANIFICAZIONE CICLI DI MONITORAGGIO....	PAG 16
❖	CAPITOLO 3.....	PAG 22
	RISULTATI ANALISI SPERIMENTALE.....	PAG 22
	3.1 – SCENARIO II.....	PAG 23
	3.2 – CONFRONTO TRA GIORNI SIGNIFICATIVI.....	PAG 25
	3.2.1 - CONFRONTO TRA GIORNI DI SOLE CON E SENZA VENTO.....	PAG 25
	3.2.2.- CONFRONTO TRA GIORNI DI PIOGGIA CON E SENZA VENTO.....	PAG 30
❖	CAPITOLO 4.....	PAG 34
	CONCLUSIONI.....	PAG 34

# **CAPITOLO 1**

## **INTRODUZIONE**

Questo studio esamina il contributo fornito dall'applicazione di diversi retrofit interni in un edificio fortemente isolato nel periodo invernale. Il lavoro si articola in una prima fase sperimentale in cui sono state monitorate le condizioni interne ed esterne per un periodo di circa tre mesi di un prototipo sito ad Agugliano (AN) che è stata successivamente validata con un'analisi analitica.

### **1,1- MOTIVAZIONE E CASO DI STUDIO**

L'involucro edilizio svolge un ruolo fondamentale nella regolazione della temperatura interna e di conseguenza nella riduzione della quantità di energia necessaria per mantenere livelli di comfort idonei. Negli ultimi anni, il voler raggiungere standard energetici sempre più elevati ha spinto ad utilizzare spessori di isolamento doppi/tripli rispetto a quelli che si utilizzavano in precedenza, dando così vita al fenomeno dell' "iperisolamento" degli edifici. Al fine di valutare i limiti della strategia del superisolamento, si è svolta una ricerca comparativa su tre diversi tipi di finitura interna per valutare quale sia in grado di offrire migliori prestazioni termiche, infatti adottando un pannello di rivestimento interno ad alta massa con elevata capacità termica areica interna periodica ottimizza le prestazioni termiche della parete, riducendo così i picchi di calore.

## **1.2- OBIETTIVI DELLA TESI**

Il presente studio si incentra su una comparazione tra diverse tipologie di finiture interne a diversa massa inerziale applicate all'interno di un edificio leggero in legno super-isolato allo scopo di valutare quale di essi sia in grado di offrire migliori prestazioni in termini di comfort indoor.

Per questo motivo, il presente lavoro di tesi si incentra su un'attività di monitoraggio sperimentale simultaneo dal periodo estivo a quello invernale sulle quattro finiture, al fine di valutare i diversi comportamenti in relazione alle temperature superficiali e flussi termici, ponendole alle stesse condizioni interne ed esterne.

## **CAPITOLO 2**

### **CASO DI STUDIO**

Il mock-up è una struttura di piccole dimensioni atta a simulare un ambiente abitativo. L'utilizzo di un prototipo su cui andranno applicati i vari pannelli presi in esame, è di fondamentale importanza per valutare l'effettivo comportamento dei diversi materiali e per calibrare con i dati acquisiti dal monitoraggio il modello analitico.

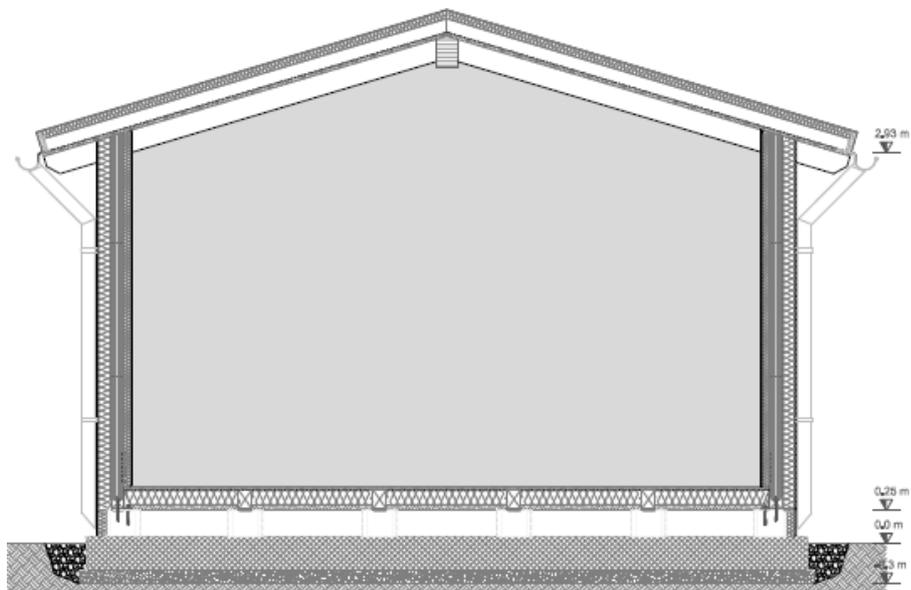
Il prototipo è situato ad Agugliano, in provincia di Ancona, la test room è orientata con l'asse longitudinale in direzione est-ovest.

La struttura a pianta rettangolare di dimensioni 5,20x3,20 m, presenta una superficie utile di 12,54 m<sup>2</sup>, un volume di circa di 36,10 m<sup>3</sup> ed è fondata su una platea armata giacente sul piano campagna, difatti il mock-up risulta sollevato da terra di 40 cm allo scopo di ridurre al minimo gli scambi termici con il terreno ed evitare fenomeni di risalita capillare.

Il rapporto S/V risulta essere di 0,33.



*Figura 1. Prototipo sperimentale, vista sud-ovest.*



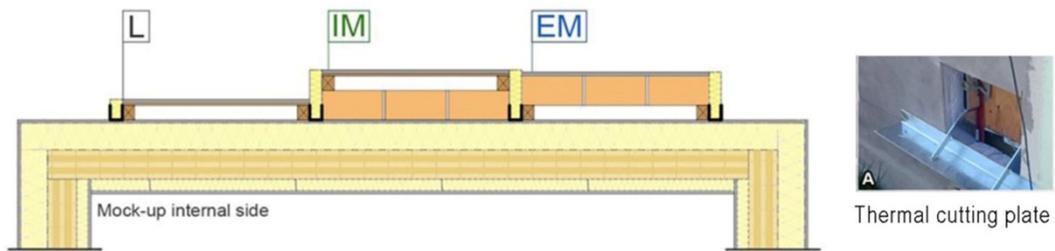
*Figura 2. Sezione prototipo sperimentale.*

Solo la parete esposta a sud presenta una stratigrafia diversa rispetto alle altre, in quanto risulta essere quella su cui sono stati installati i vari pannelli. Sono presenti tre pannelli differenti;

Senza massa – M3 – L

Massa interna – M2 – IM

Massa esterna – M1 – EM



*Figura 3. Sezione pannelli parete sud*

**L= PANNELLO SENZA MASSA (M3)**

**IM= PANNELLO CON MASSA INTERNA (M2)**

**EM= PANNELLO CON MASSA ESTERNA (M1)**

## 2.1 – STRUMENTI UTILIZZATI

Qui di seguito vengono elencati tutti gli strumenti che sono stati utilizzati per il rilevamento e l'acquisizione dei dati in fase di monitoraggio sul prototipo:

- *LabVIEW*

Il LABVIEW è l'ambiente di sviluppo integrato per il linguaggio di programmazione visuale, viene utilizzato principalmente per programmi di acquisizione e analisi dati, controllo di processi.

Questo software registra i dati rilevati dalle varie sonde utilizzate tramite delle schede National a cui sono collegati.



Figura 4 – Scheda National collegata al LabVIEW

- *DataTaker*

Il dataTaker è uno strumento elettronico digitale che opera a basse frequenze, è dotato di un microprocessore ed una memoria interna che consentono di acquisire i dati da diversi tipi di sensori. Questo apparecchio è stato settato in modo da memorizzare i dati ottenuti dai sensori ad esso

collegati ad intervalli di tempo stabilito, in modo automatico su base giornaliera. Nel presente lavoro è stato utilizzato un DataTaker DT85M.



*Figura 5 – Datataker DT85M*

○ *Termoresistenze superficiali e ambientali – PT100*

Le termoresistenze superficiali PT100 sono sonde in grado di rilevare la temperatura superficiale del materiale al quale è collegato tramite una piastrina che viene appoggiata su di esso. La termoresistenza è un sensore di temperatura che sfrutta la variazione della resistività di alcuni materiali al variare della temperatura.



*Figura 6 – Termoresistenze superficiali – PT100*



*Figura 7 – Termoresistenza ambientale – PT100*

Le PT100 ambientali o tubolari sono termoresistenze al platino per la misura della temperatura dell'aria. Misurare la temperatura dell'aria significa misurare la temperatura dell'aria nell'intorno del corpo umano; essa deve essere presa in considerazione quando si vuole determinare lo scambio termico per convezione al livello della persona. La misura di questa quantità può portare diversi errori se non si prendono le giuste precauzioni. Il sensore misura la temperatura dell'aria nel punto in cui si trova ma questo valore può differire dalla temperatura del fluido (per esempio l'aria) che deve essere misurata. E' necessario verificare che la sonda non sia vicina a sorgenti di calore altrimenti la temperatura che si misura potrebbe non essere la temperatura dell'aria ma una intermedia fra la temperatura media radiante e la temperatura dell'aria.

- *Termoflussimetri – DPE240*

I termoflussimetri sono dispositivi costituiti da un sottile strato di materiale di resistenza termica nota e stabile. Attraverso questo strato è possibile misurare la differenza di temperatura rilevata da un insieme di termocoppie collegate in serie (termopila) che hanno la funzione di amplificare il piccolo segnale elettrico prodotto dalla singola.

Tale sistema è racchiuso da un involucro protettivo a prova di umidità e con buone caratteristiche meccaniche.

I termoflussimetri che sono stati applicati sulla parete sono quelli prodotti dalla ditta Hukseflux.



*Figura 8 – Termoflussimetri Hukseflux*

- *Stazione meteo esterna*

Come si può ben notare dalla figura sottostante, è stato installato un palo climatico allo scopo di misurare le grandezze climatiche esterne e poterle poi usare nell'interpretazione dei dati di monitoraggio. La stazione meteo è costituita da una serie di sensori in grado di acquisire dati climatici: un termigrometro per rilevare umidità e temperatura dell'aria esterna, un radiometro per riportare la radiazione globale solare e un tacogonioanemometro a pale per misurare direzione e velocità del vento. L'acquisizione dei dati viene effettuata in contemporanea e con la stessa frequenza di quella effettuata all'interno del prototipo.



*Figura 9 – Stazione meteo esterna*

## **2.2-PIANO DI MONITORAGGIO**

### **2.2.1- Pianificazione delle grandezze termiche da monitorare**

Per lo studio effettuato, le grandezze termiche fondamentali che sono state rilevate sono le seguenti:

- temperatura aria esterna;
- temperatura aria interna alla test room;
- temperatura superficiale sulle quattro finiture interne poste a confronto;
- flusso termico sui diversi pannelli di rivestimento interno;
- umidità relativa interna.

Inoltre, per poter creare un file climatico personalizzato da utilizzare per le simulazioni analitiche sono stati necessari:

- direzione e velocità del vento
- radiazione globale
- umidità relativa esterna.

### **2.2.2- Piano di monitoraggio**

In relazione alle grandezze termiche da monitorare, si è impostato un piano di monitoraggio indicando come e dove registrarle. Al fine del corretto posizionamento delle sonde, è stato necessario far riferimento alla norma UNI EN 7726 che ne prescrive la posa in opera mentre per il calcolo dei vari parametri e per la trasmittanza in situ ci si è basati sulle normative UNI EN ISO 7730 e ISO 9869.

Dunque per l'attività di monitoraggio sono stati posti in opera i seguenti strumenti:

- *Sonde sulla superficie dei pannelli di rivestimento (lato interno) della test room*

La parete oggetto di studio è quella esposta a sud, sulla quale sono state applicate le tre finiture interne che sono state confrontate.

Dallo schema riportato è possibile individuare la posizione delle sonde sui pannelli:

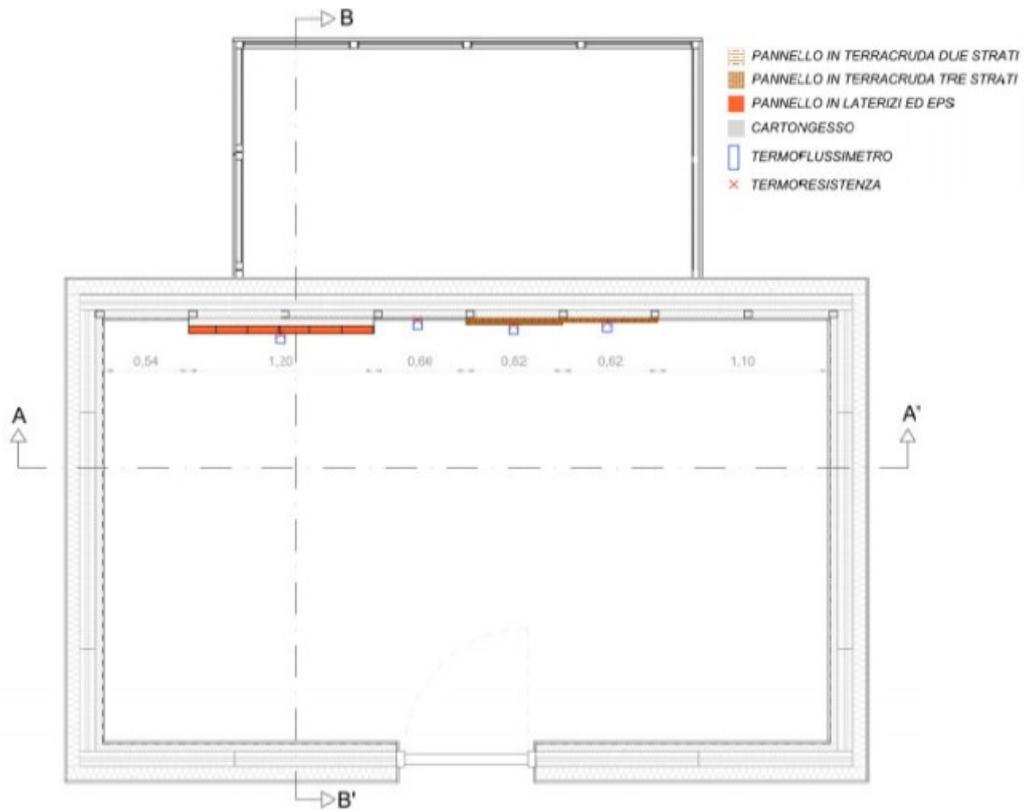


Figura 10 - Pianta del caso di studio

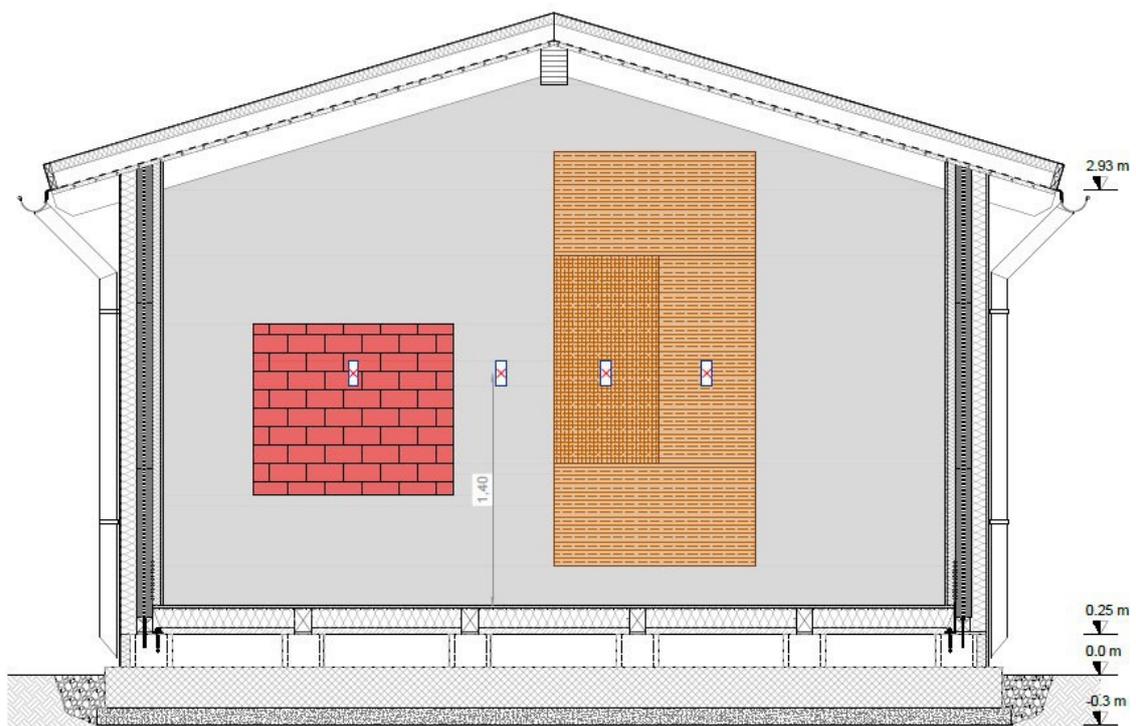
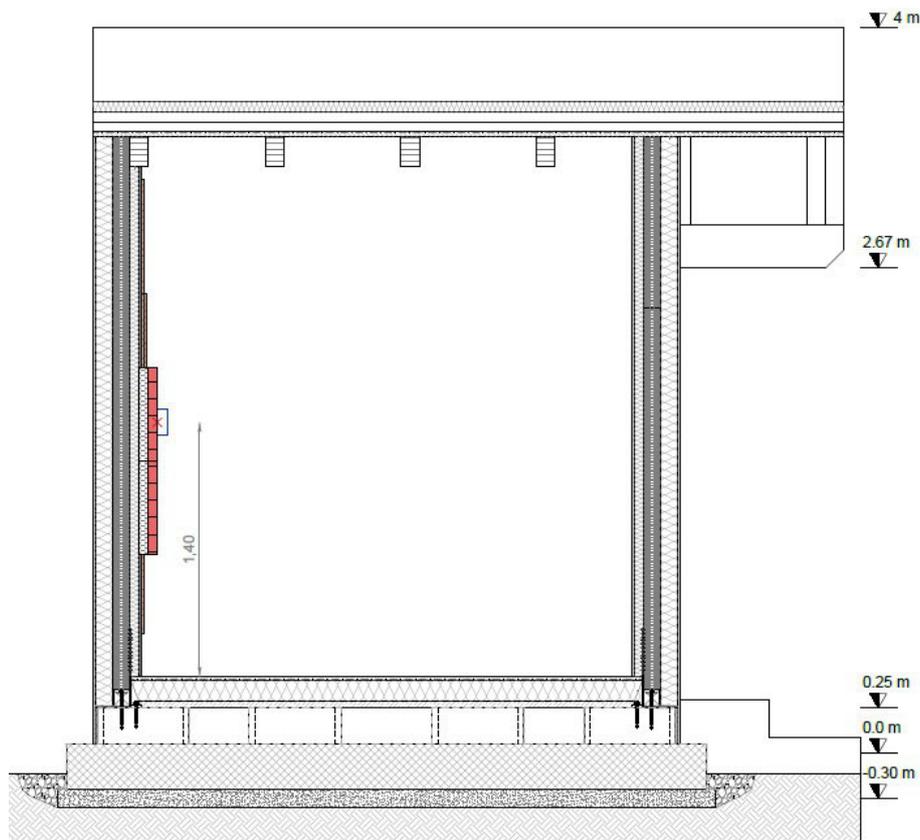


Figura 11 - Sezione A-A', posizione sonde nei pannelli



*Figura 12 - Sezione B-B', posizione sonde nei pannelli*

Il sensore di flusso termico va posizionato in una porzione di superficie rappresentativa della parete stessa, sul lato interno in modo da minimizzare gli effetti di disturbo della radiazione solare e quindi lontano da fonti di calore dirette. Per la fase di monitoraggio estiva/invernale, il sensore è stato posizionato con la faccia blu a contatto con la superficie del materiale e quella rossa rivolta verso l'ambiente interno. Con tale posizione del termo flussimetro, durante il periodo invernale si considerano i flussi termici positivi come uscenti dall'edificio attraverso la parete e quelli negativi come entranti. Il funzionamento del termo flussimetro consiste nel rilievo della temperatura su ambedue le facce, ottenendo una valutazione del flusso termico specifico attraverso un'ideale curva di taratura.



Figura 13 – Termoflussimetri e termoresistenze posizionati sulla terra cruda

○ *Sonde all'interno della test room*

Per conoscere le condizioni interne della stanza sono stati necessari altri strumenti di rilevamento della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa interna, quali:

- 4 termoresistenze ambientali poste tutte a 140 cm da terra;
- un termo igrometro posto a 160 cm dal pavimento.

Le sonde permettono di rilevare la temperatura dell'aria al centro della stanza e l'umidità relativa interna.

○ *Sonde della stazione meteo*

Per avere informazioni sulle condizioni esterne, si è ritenuto necessario installare i seguenti strumenti:

- tacogonioanemometro;
- termo igrometro esterno;
- radiometro globale.

### **2.2.3 -Pianificazione dei cicli di monitoraggio**

Il monitoraggio è stato eseguito durante il periodo invernale, ogni singolo giorno dal 1 Novembre 2017 al 31 Gennaio 2018 , senza l'utilizzo di impianto e presenza di occupanti fissi. Avremo quindi:

- Scenario I : dal 1 al 30 Novembre 2017
- Scenario II : dal 1 al 31 Dicembre 2017
- Scenario III : dal 1 al 31 Gennaio 2018

Dopo di che per ogni scenario viene presa in esame una settimana e i seguenti giorni significativi:

- Un giorno di pioggia con vento ( giorno significativo 1)
- Un giorno di pioggia senza vento ( giorno significativo 2 )
- Un giorno di sole con vento ( giorno significativo 3 )
- Un giorno di sole senza vento ( giorno significativo 4 )

➤ SCENARIO I – settimana dal 13 al 19 Novembre 2017

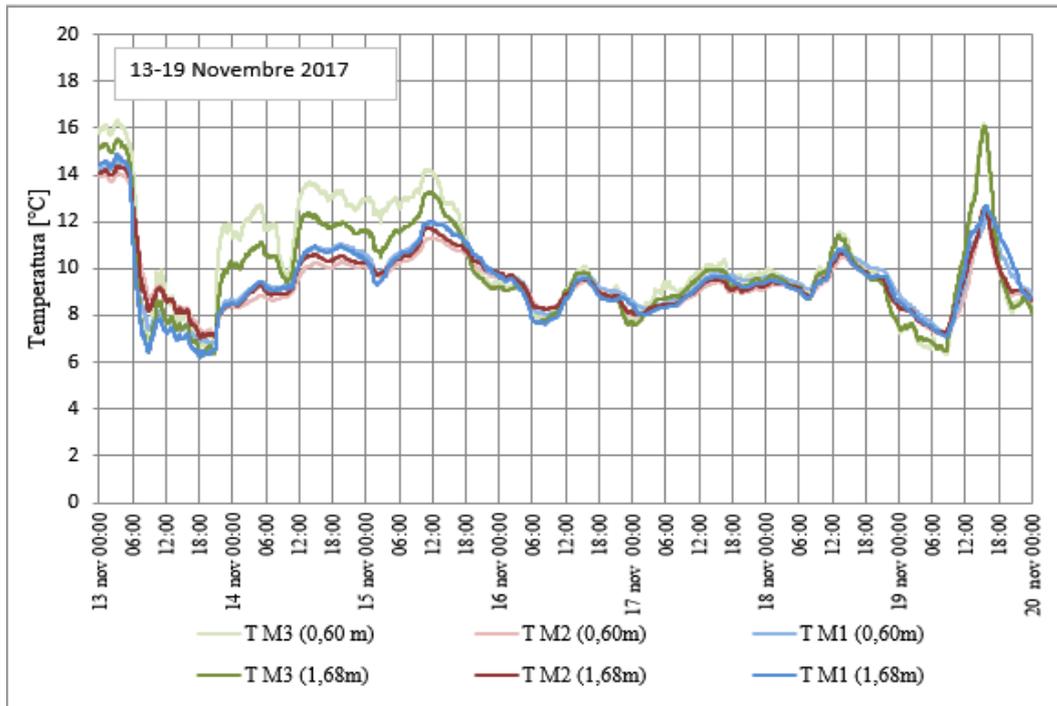


Grafico 1- Temperatura sonda posta a 60cm e a 168cm

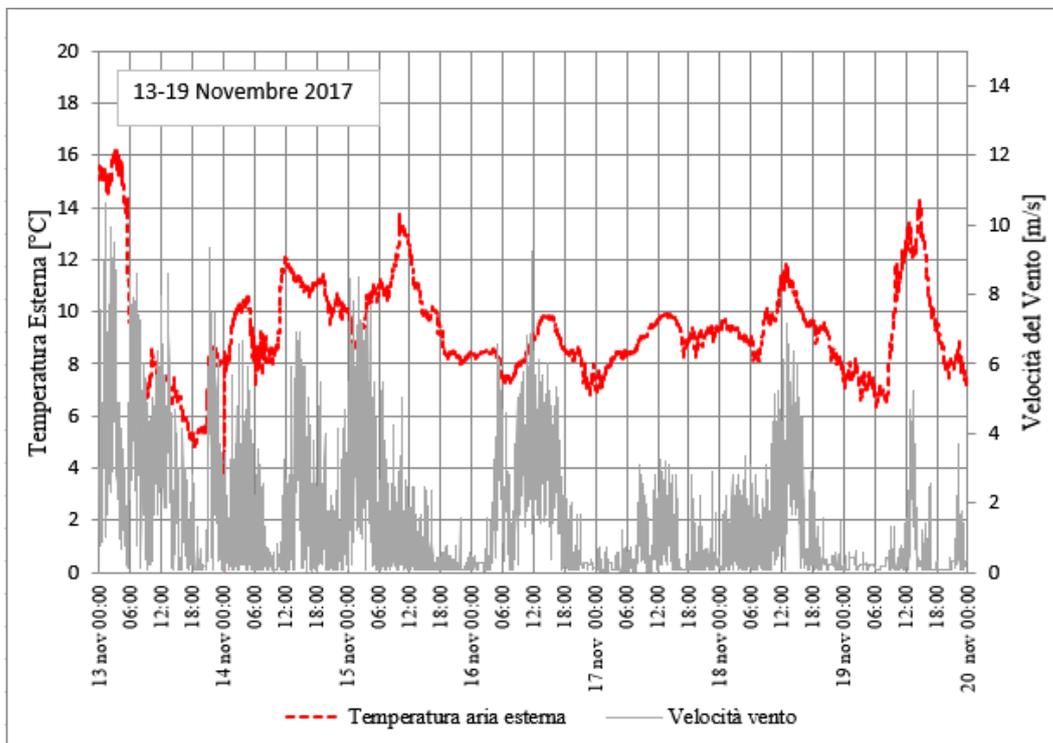


Grafico 1.1 – Velocità vento e temperatura esterna

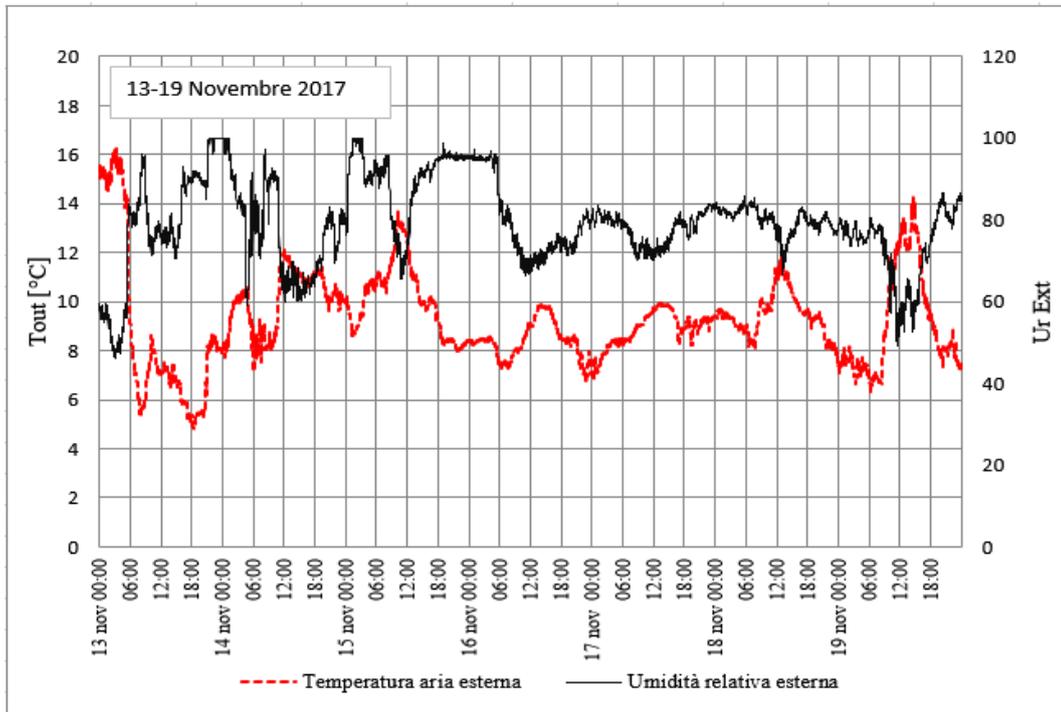


Grafico 1.2 – Umidità relativa e temperatura esterna

➤ SCENARIO II – settimana dal 4 al 10 Dicembre 2017

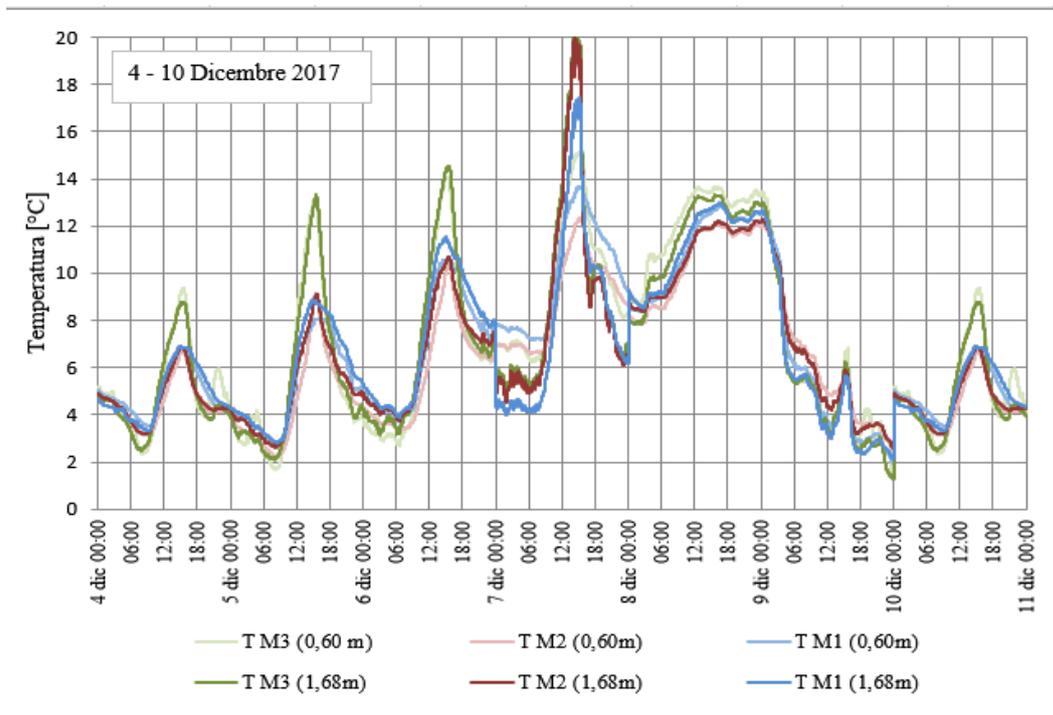


Grafico 2 - Temperatura sonda posta a 60cm e a 168cm

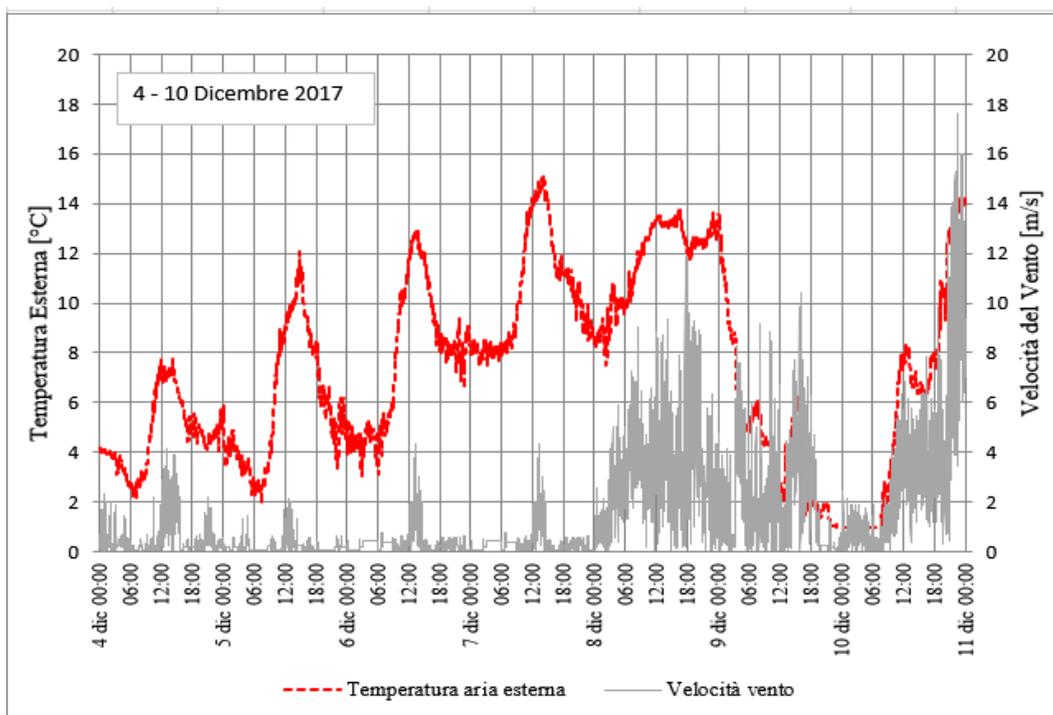


Grafico 2.1 – Velocità vento e temperatura esterna

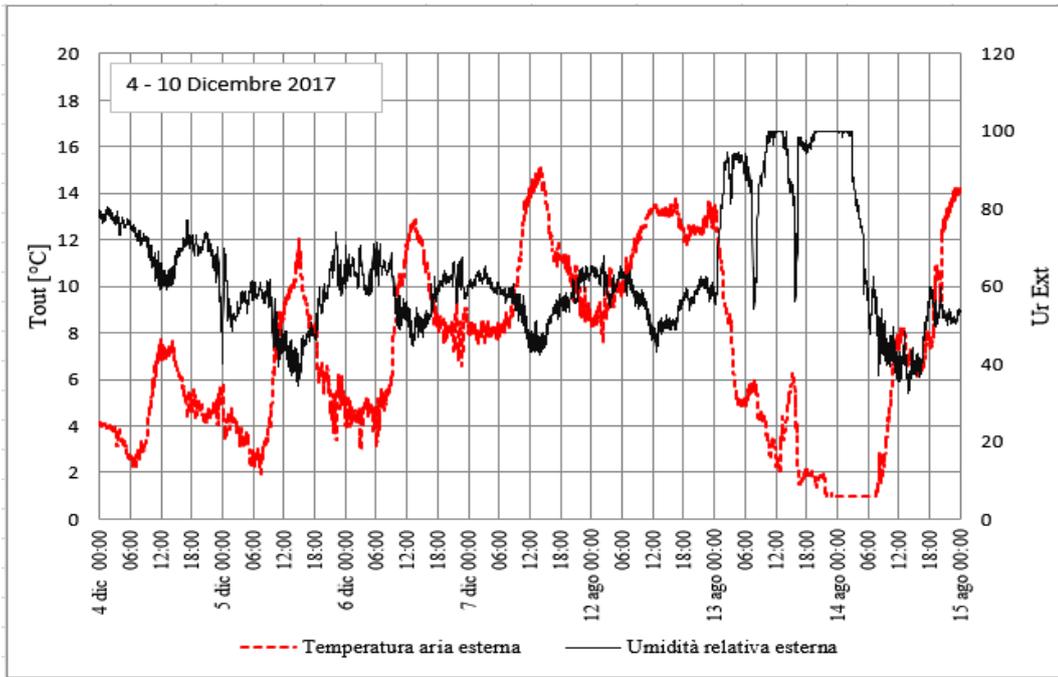


Grafico 2.2 – Umidità relativa e temperatura esterna

➤ SCENARIO III – settimana dal 1 all’ 7 Gennaio 2018

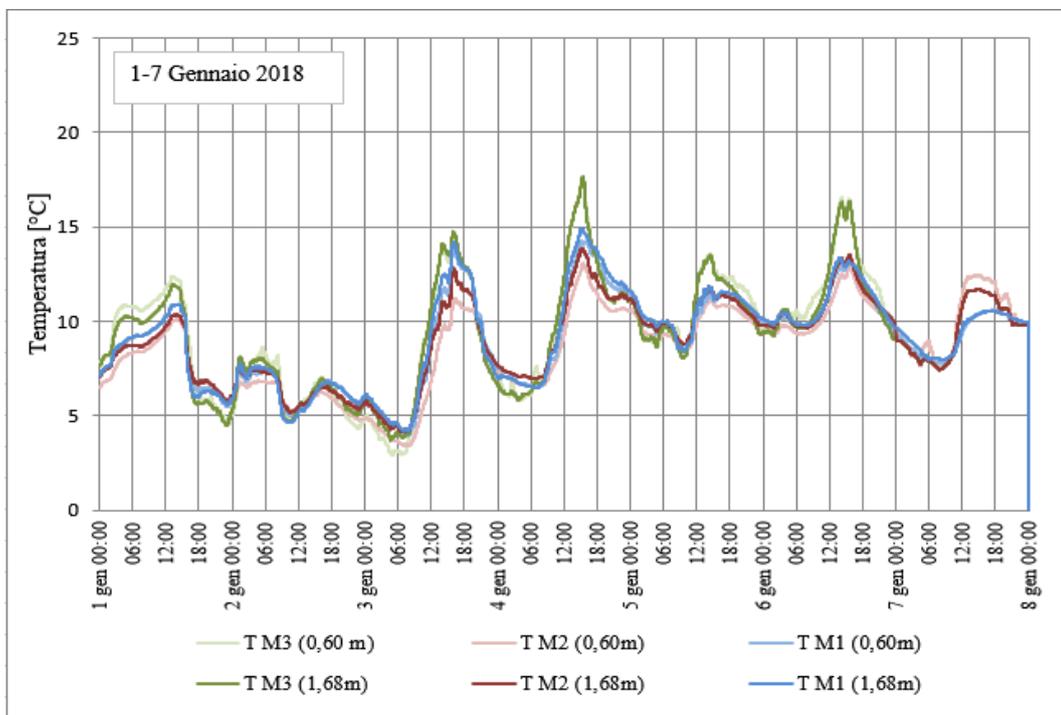


Grafico 3 - Temperatura sonda posta a 60cm e a 168cm

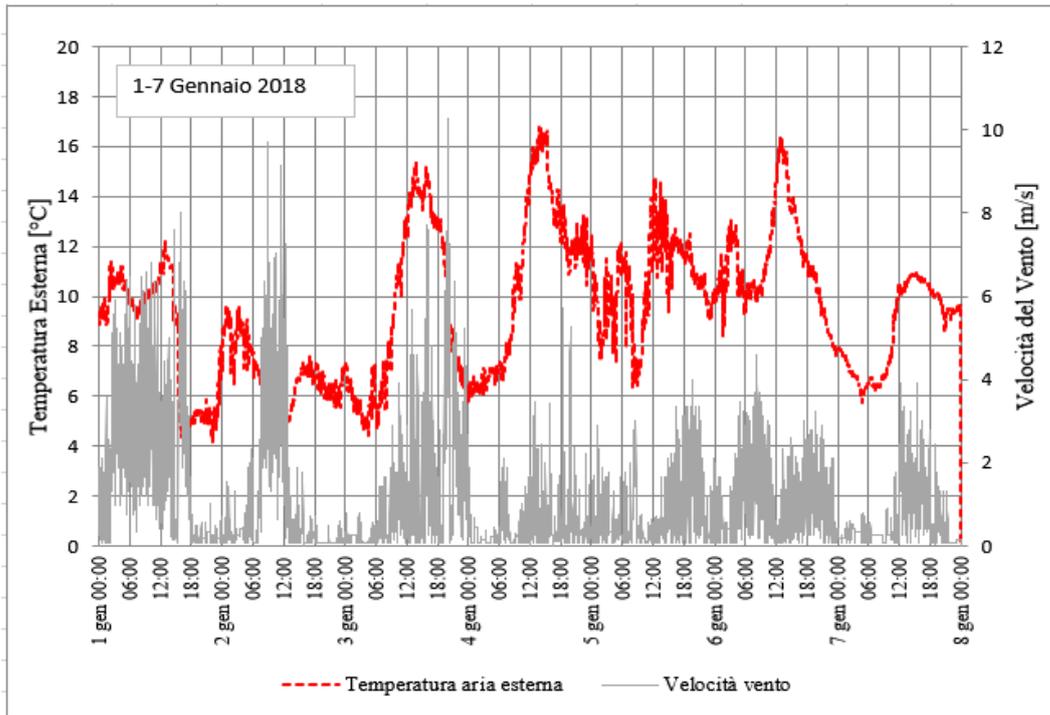


Grafico 3.1 – Velocità vento e temperatura esterna

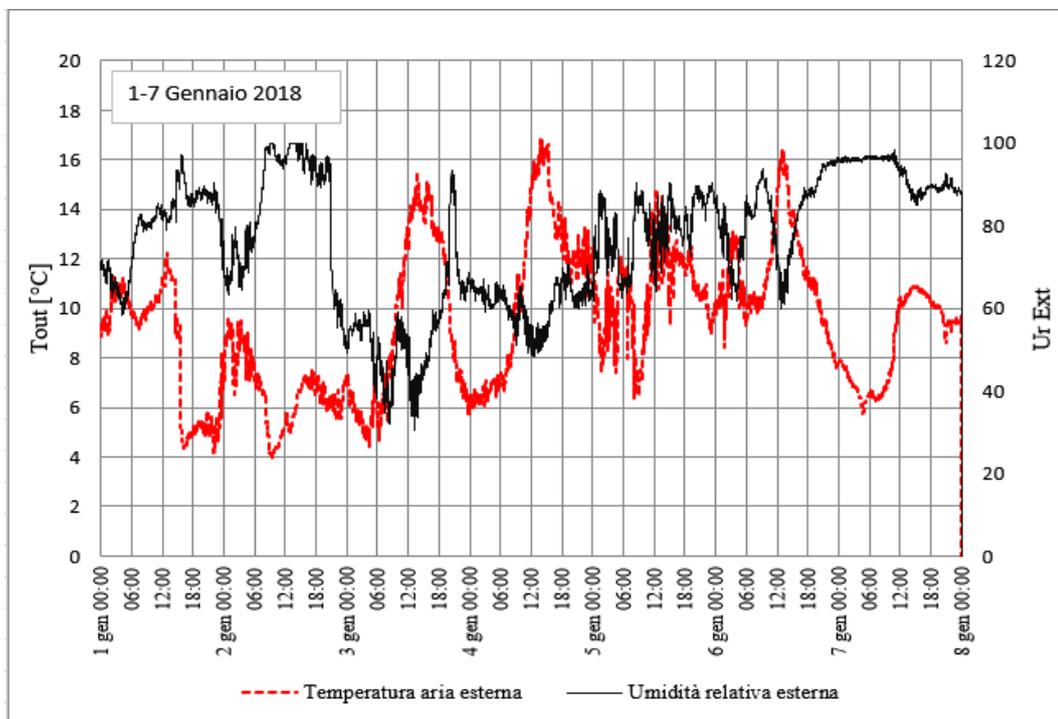


Grafico 3.2 – Umidità relativa e temperatura esterna

## CAPITOLO 3

### RISULTATI ANALISI SPERIMENTALE

In questo capitolo vengono riportati e commentati i risultati ottenuti dal monitoraggio sperimentale, sul comportamento termico dei diversi pannelli di finitura esterna della fase invernale.

#### 3.1 – SCENARIO II: SETTIMANA DAL 4 AL 10 DICEMBRE 2017

La scelta di questo scenario che va dal 4 al 10 dicembre 2017 è dettata dal fatto che risultano esserci diversi sbalzi termici rispetto allo scenario I (Novembre) e scenario III (Gennaio), come si può notare dai grafici 2,2.1 e 2.2 del capitolo 2 e dal grafico 4.

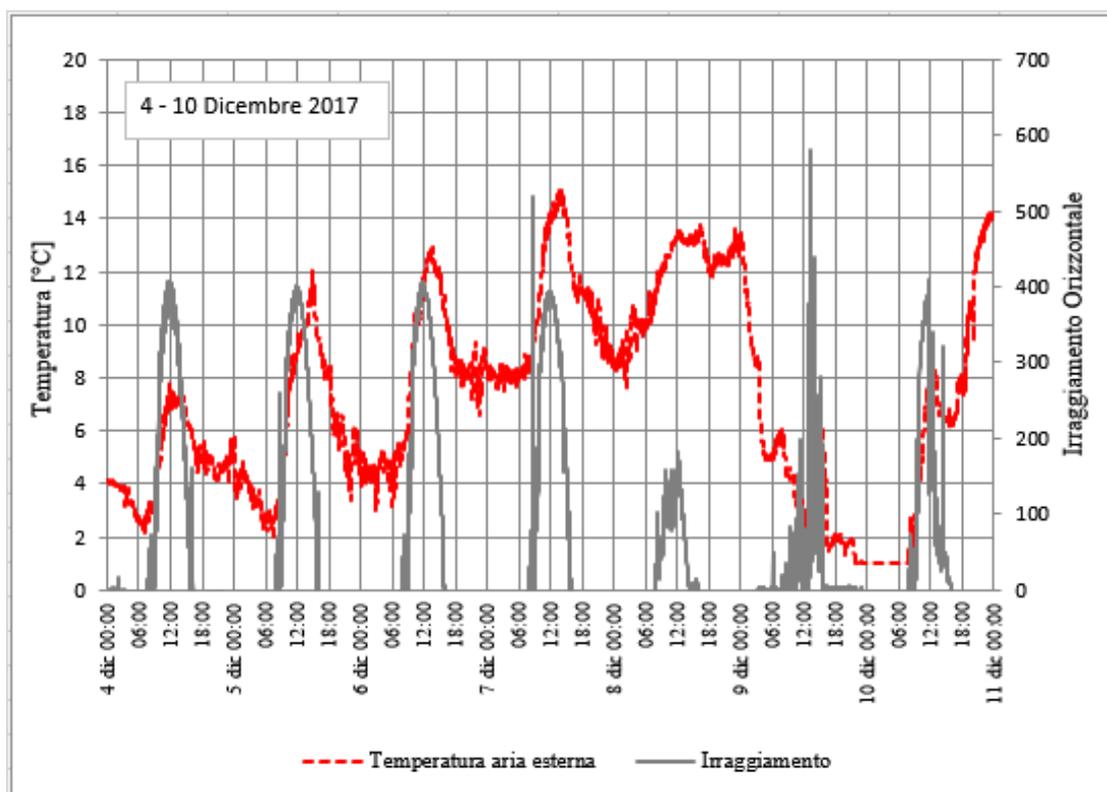


Grafico 4 – Radiazione solare e temperatura esterna

i dati registrati mostrano temperature esterne comprese tra 1,0 °C e 15 C, inoltre la temperatura media di questa fase risulta essere 7,26 °C, l'umidità relativa esterna assume valore medio di 63,45% come mostrato in *Tabella 1*.

	TEMPE- RATURA ESTERNA	IRRAG- GIA- MENTO	VELOCIT' VENTO UMI- DITA' RELATIVA
MAX	15.085	579.31	17.637 100.04
MIN	1.008	-995.2	0.0281 32.25
MEDIA	7.263	38.935	1.415 63.450

*Tabella 1 – valori max,min e medi scenario II*

Il grafico 5 mostra gli esiti conseguiti in termini di temperature e flussi di calore relativamente all'ambiente interno monitorato, in particolar modo si fa riferimento alla parete sud del mock-up dove sono applicati i pannelli presi in esame.

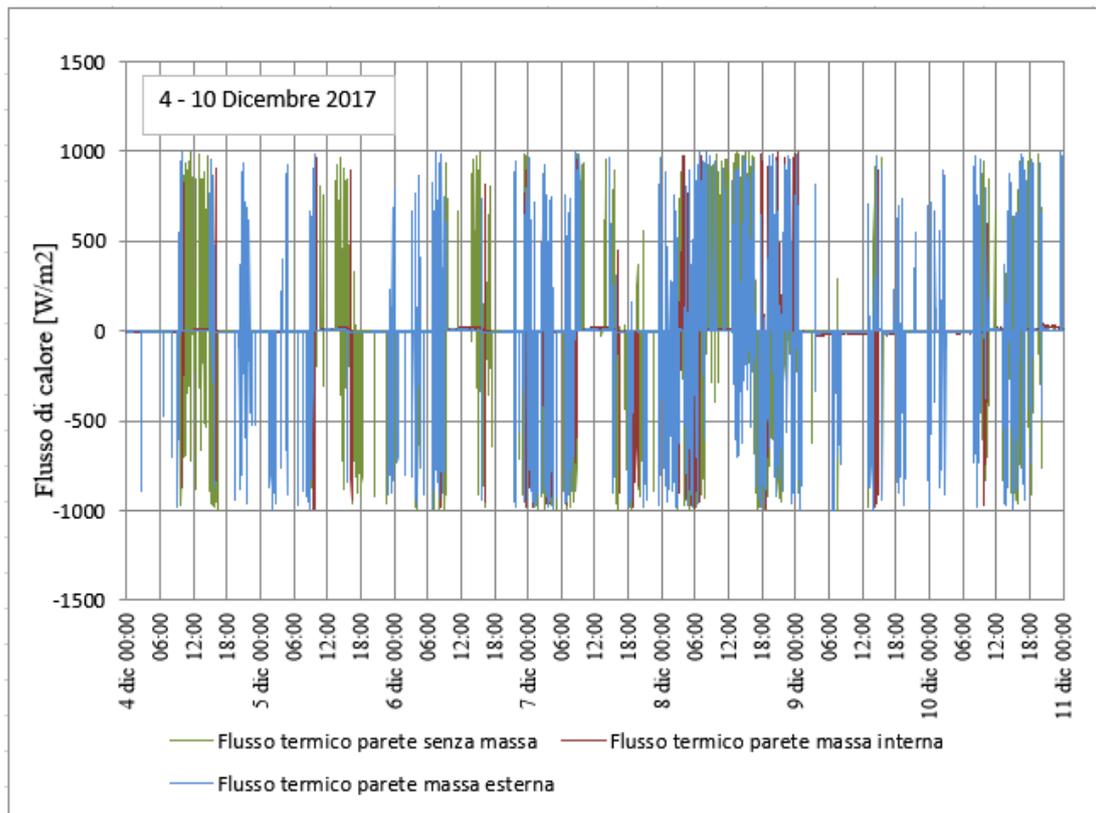


Grafico 5 – Flussi di calore interni

Esaminando i grafici del capitolo 2, i grafici 4 e 5 ed i dati relativi alla *Tabella 1* sui pannelli presi in esame si possono trarre le seguenti osservazioni:

- I flussi di calore oscillano con andamento uniforme
- Si nota uno scambio continuo di calore tra l'interno e l'esterno della struttura
- Notiamo che il pannello con massa esterna è quello con andamento più omogeneo
- I sensori installati nel pannello con massa esterna hanno rilevato valori di temperature più alti rispetto agli altri due pannelli, segue il pannello senza massa e per ultimo il pannello con massa interna.

## **3.2 – CONFRONTO TRA GIORNI SIGNIFICATIVI**

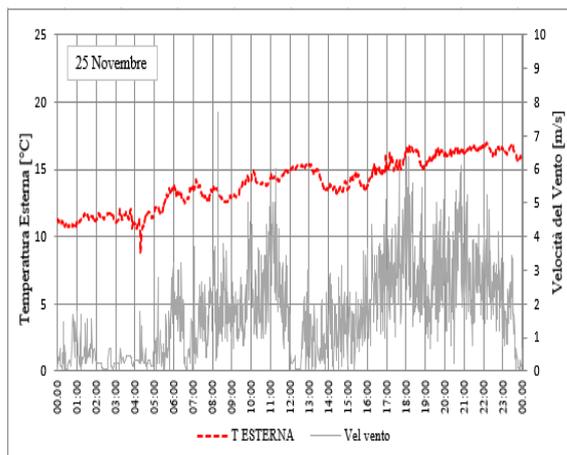
I giorni significativi scelti sono:

- giorno con sole con vento: 25 novembre, 26 dicembre e 23 gennaio
- giorno con sole senza vento: 23 novembre, 23 dicembre e 10 gennaio
- giorno con pioggia senza vento: 8 novembre, 1 dicembre e 14 gennaio
- giorno con pioggia con vento: 26 novembre, 11 dicembre e 17 gennaio

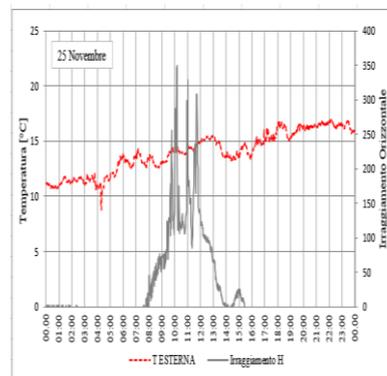
### **3.2.1 – CONFRONTO GIORNI DI SOLE CON E SENZA VENTO**

Qua di seguito verranno mostrati i grafici prima del confronto con vento e successivamente senza.

*GRAFICI CONFRONTO GIORNI DI SOLE CON VENTO:*



*Grafico 6 – Velocità vento 25 Novembre 2017*



*Grafico 6.1 – Radiazione solare 25 Novembre 2017*

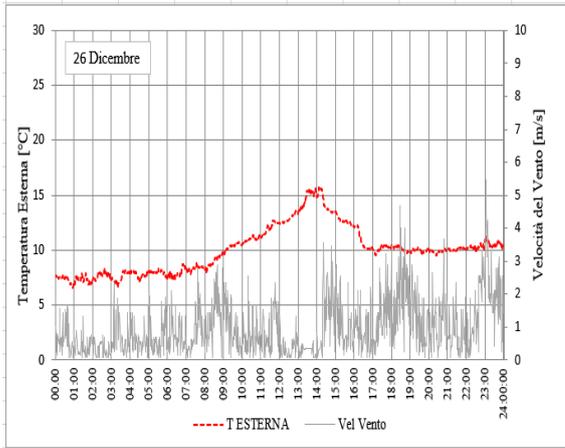


Grafico 7 – Velocità vento 26 Dicembre 2017

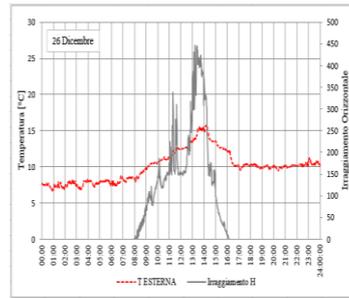


Grafico 7.1 – Radiazione Solare 26 Dicembre 2017

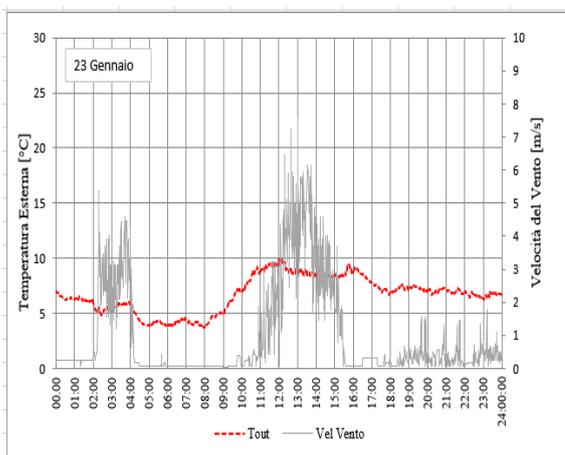


Grafico 8 – Velocità vento 23 Gennaio 2018

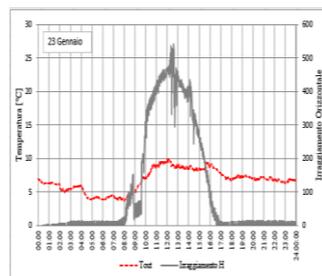


Grafico 8.1 – Radiazione solare 23 Gennaio 2018

**GRAFICI CONFRONTO GIORNI DI SOLE SENZA VENTO:**

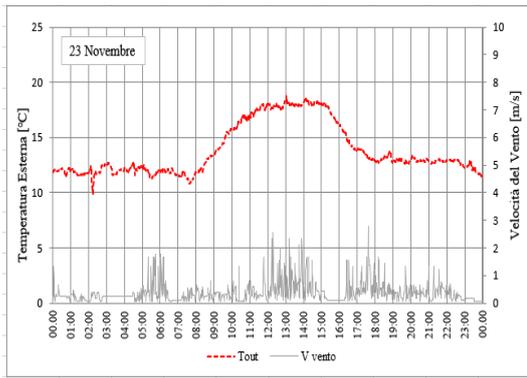


Grafico 9 – Velocità vento 23 Novembre 2017

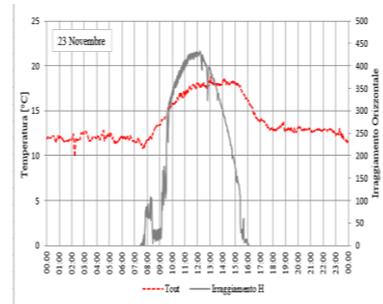


Grafico 9.1 – Radiazione solare 23 Novembre 2017

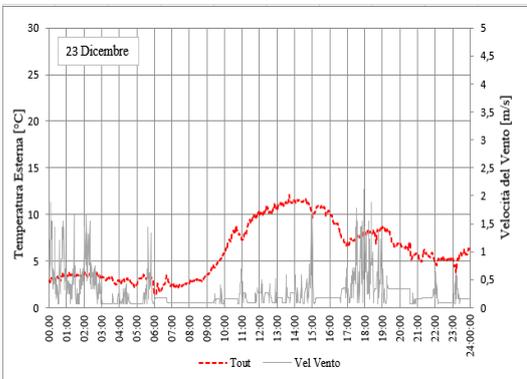


Grafico 10 – Velocità vento 23 Dicembre 2017

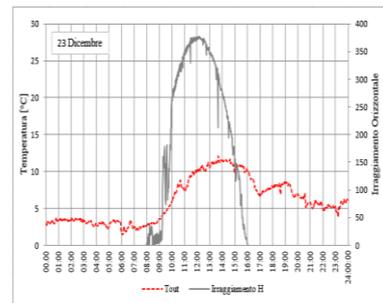


Grafico 10.1 – Radiazione solare 23 Dicembre 2017

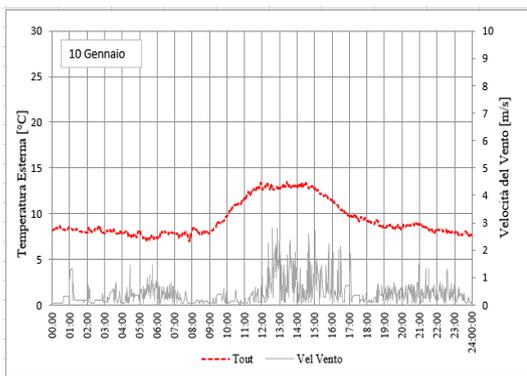


Grafico 11 – Velocità vento 10 Gennaio 2018

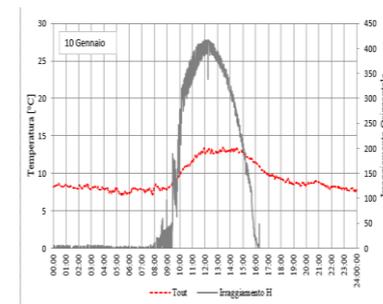


Grafico 11.1 – Radiazione solare 10 Gennaio 2018

I grafici sottostanti indicano le temperature poste a 60 cm e a 168 cm rispettivamente nei giorni con più e meno vento tra quelli presi in esame, ovvero rispettivamente il 23 Novembre e il 25 Novembre.

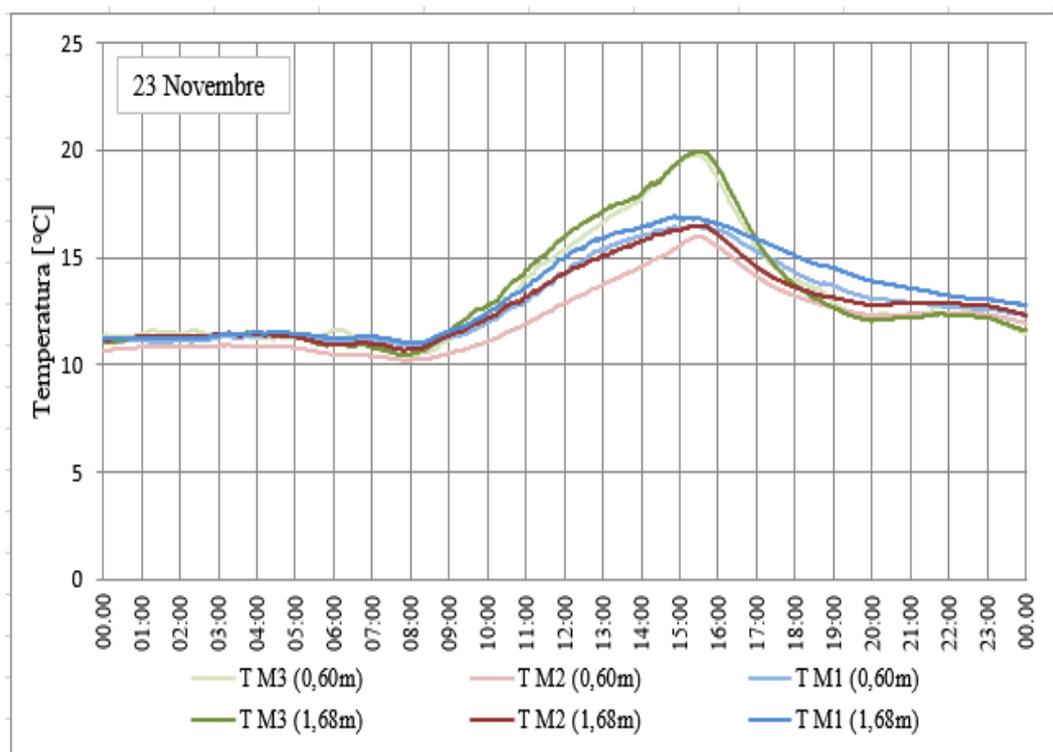


Grafico 12 – temperature 60 e 168 del 23 Novembre 2017

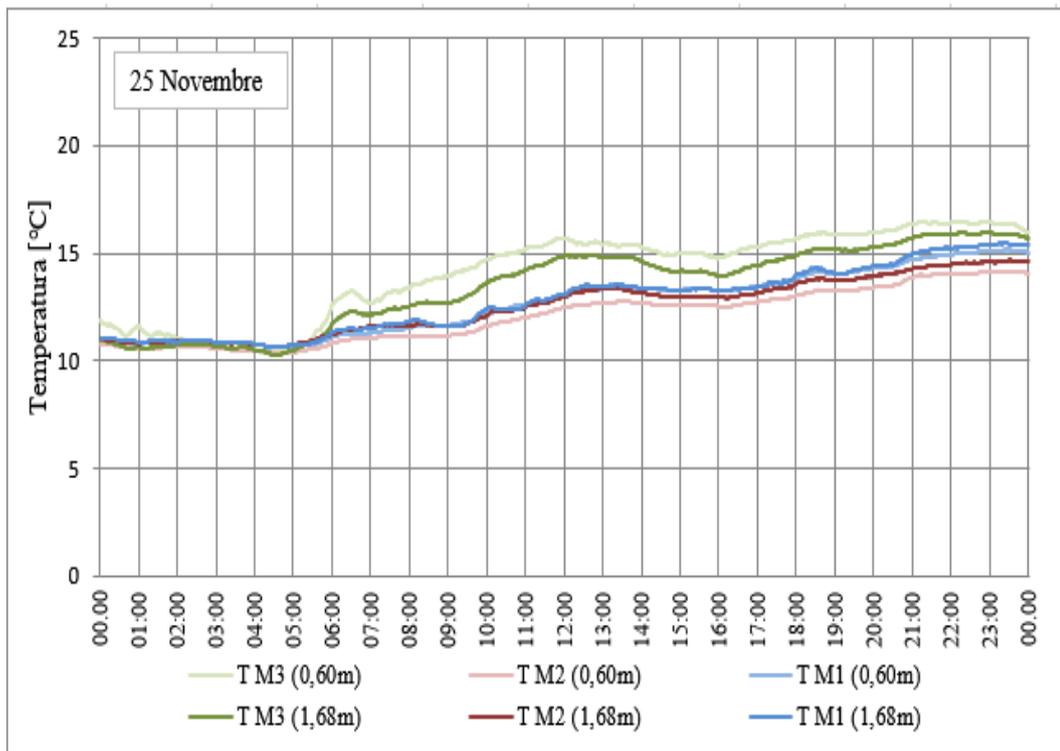


Grafico 13 – temperature 60 e 168 del 25 Novembre 2017

Dai grafici di questo paragrafo si osserva:

- nelle giornate di sole sia con vento che senza le temperature hanno un andamento quasi omogeneo
- lo scambio di calore continua ad essere continuo in entrambi i casi
- in entrambe le giornate notiamo che il pannello con massa esterna ha un andamento delle temperature più omogeneo rispetto agli altri pannelli.

Le stesse valutazioni le andremo a fare ora nelle giornate di pioggia con e senza vento.

### 3.2.2 – CONFRONTO GIORNI DI PIOGGIA CON E SENZA VENTO

GRAFICI CONFRONTO GIORNI DI PIOGGIA CON VENTO:

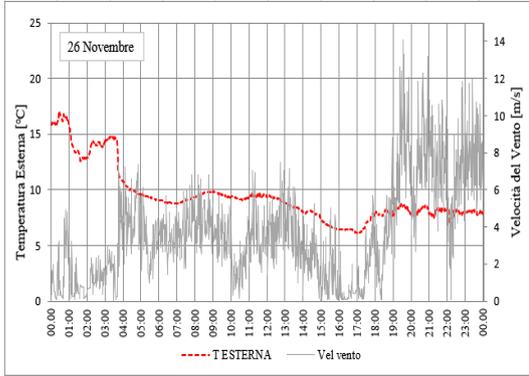


Grafico 14 – Velocità vento 26 Novembre 2017

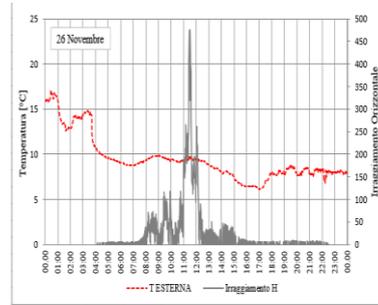


Grafico 14.1 – Radiazione solare 26 Novembre 2017

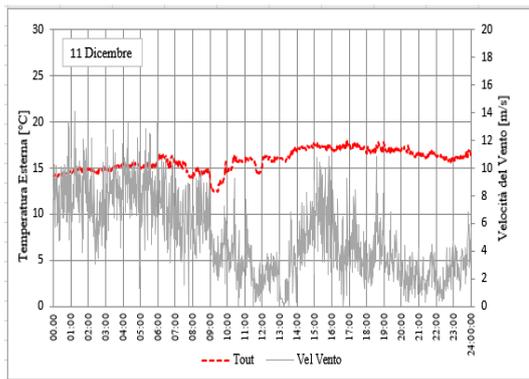


Grafico 15 – Velocità vento 11 Dicembre 2017

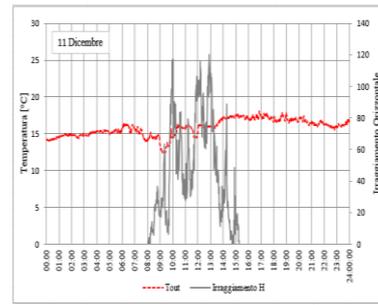


Grafico 15.1 – Radiazione solare 11 Dicembre 2017

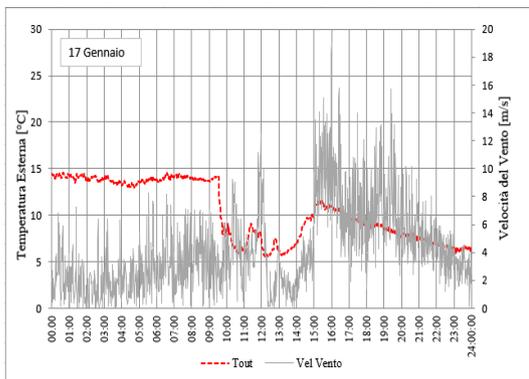


Grafico 16 – Velocità vento 17 Gennaio 2018

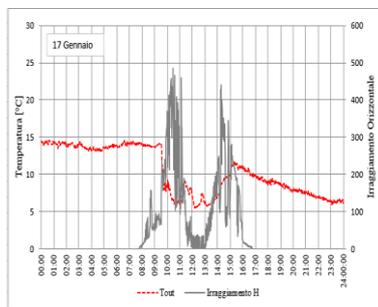


Grafico 16.1 – Radiazione solare 17 Gennaio 2018

**GRAFICI CONFRONTO GIORNI DI PIOGGIA SENZA VENTO:**

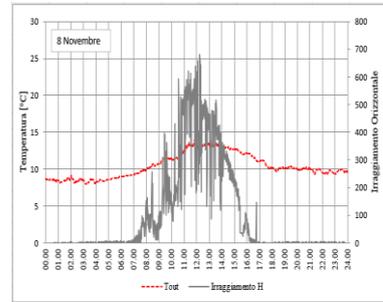
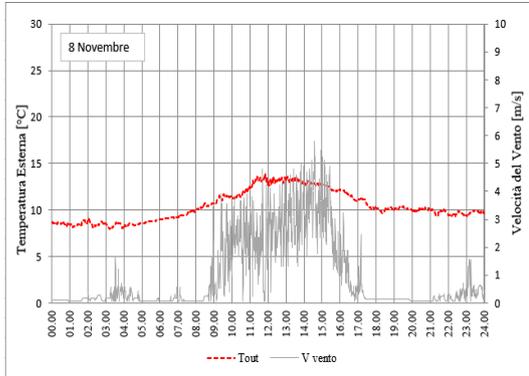


Grafico 17 – Velocità vento 8 Novembre 2017      Grafico 17.1 – Radiazione solare 8 Novembre 2017

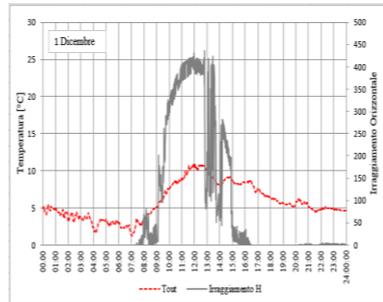
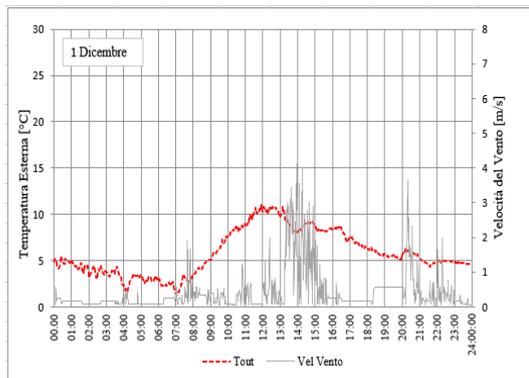


Grafico 18 – Velocità vento 1 Dicembre 2017      Grafico 18.1 – Radiazione solare 1 Dicembre 2017

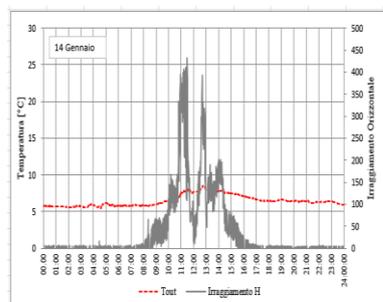
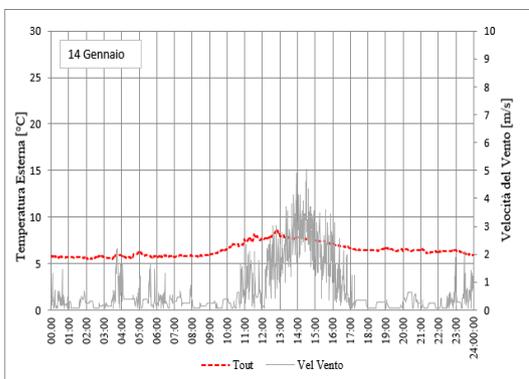


Grafico 19 – Velocità vento 14 Gennaio 2018      Grafico 19.1 – Radiazione solare 14 Gennaio 2018

I grafici seguenti indicano le temperature poste a 60 cm e a 168 cm rispettivamente nei giorni con più e meno vento tra quelli presi in esame, ovvero il 17 Gennaio 2018 e il 1 Dicembre 2017.

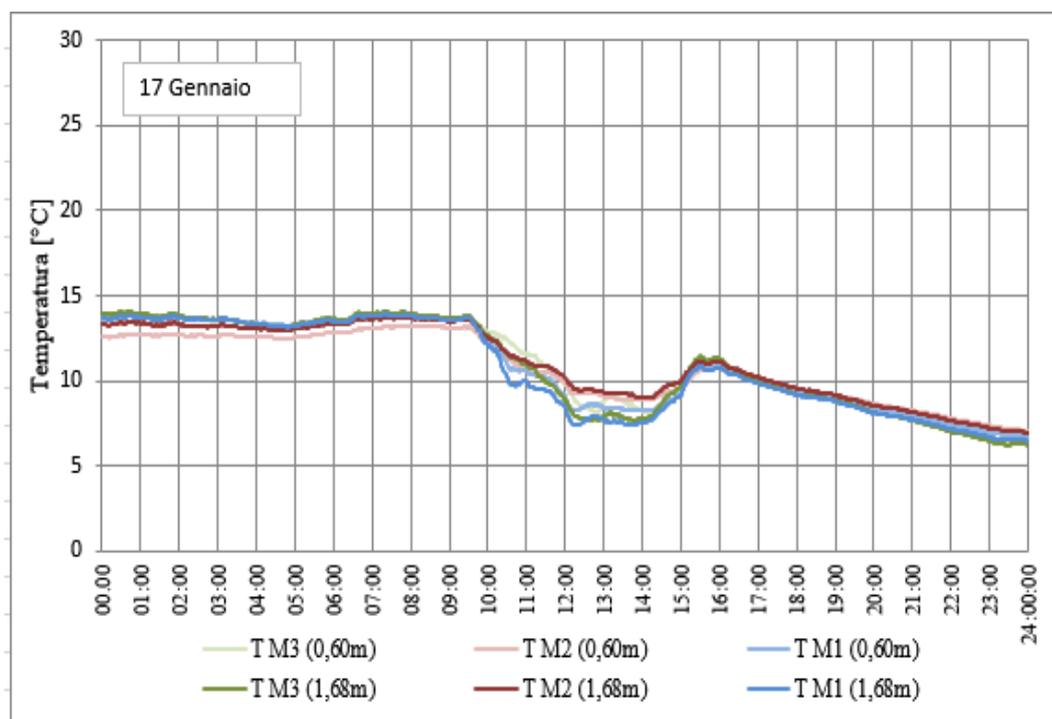


Grafico 20 – temperature 60 e 168 del 17 Gennaio 2018

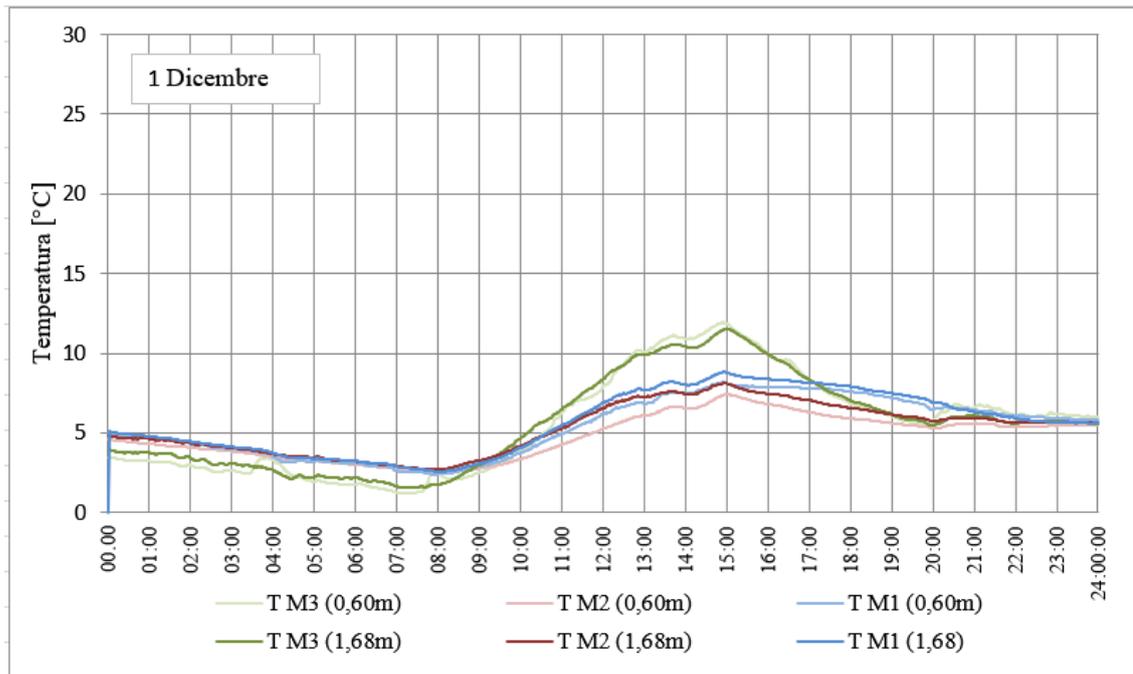


Grafico 21 – temperature 60 e 168 del 1 Dicembre 2017

In questa situazione osserviamo:

- nelle giornate di sole sia con vento che senza le temperature hanno un andamento quasi omogeneo
- lo scambio di calore continua ad essere continuo in entrambi i casi
- nelle giornate di pioggia il pannello con l'andamento della temperatura più omogeneo risulta essere quello con massa esterna.

## **CAPITOLO 4**

### **CONCLUSIONI**

Nella presente tesi è stato affrontato il tema del comportamento in fase invernale delle facciate ventilate in un edificio leggero fortemente isolato. Il ruolo della facciata in un edificio è quello di relazionarsi con il contesto e di regolare gli scambi di calore, aria e luce tra l'interno e l'esterno. Tra le possibili soluzioni tecnologiche, la parete ventilata offre molti vantaggi in termini di risparmio energetico, isolamento acustico, protezione della struttura, ma anche di valore architettonico. L'attività sperimentale condotta in situ ha consentito di mettere in luce il contributo fornito dall'applicazione di tre diversi pannelli di finitura esterna installata su una parete. La parete ventilata potenzia le prestazioni dei sistemi di isolamento esterni tradizionali (sistemi a cappotto), ed elimina gli svantaggi come il degrado del paramento esterno.

Dallo studio sperimentale, si è visto che nel periodo invernale le situazioni non variano a seconda se siamo in giornate di sole o di pioggia, ma il pannello che ci dà risultati più ottimali è quello con la massa esterna, l'isolamento esterno continuo rende la protezione termica della facciata omogenea, eliminando i ponti termici, migliorando le prestazioni energetiche dell'edificio. L'aria che entra nell'intercapedine dal basso verso l'alto infatti crea un efficace flusso aerato che sviluppa le funzioni di traspirazione della facciata ed eliminazione dell'umidità, e nel periodo invernale, quindi, questa ventilazione favorisce la rapida eliminazione del vapore acqueo proveniente dall'interno; in questo modo si riduce sensibilmente il fenomeno della condensa e vengono drasticamente eliminati gli effetti negativi di eventuali penetrazioni di acqua con conseguente riduzione della quantità di calore che esce dall'edificio, ecco perché le temperature rimangono pressoché costanti. Oltretutto il paramento esterno della parete ventilata protegge la muratura perimetrale dall'azione degli agenti atmosferici, tra cui soprattutto la pioggia, mantenendola asciutta ed eliminando il rischio di distacchi e infiltrazioni ed in più dà la possibilità, ad architetti e progettisti, di sfruttare le potenzialità estetiche del paramento di rivestimento, lasciando una grande libertà compositiva.

### **BIBLIOGRAFIA:**

- Dispense impianti Univpm, prof.re Costanzo di Perna
- Template tirocinio eseguito all'Univpm con la prof.ssa Stazi  
Francesca

### **SITOGRAFIA**

- ELSEVIER - [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
  - [www.edilportale.com](http://www.edilportale.com)