

Investimenti a favore della crescita e
dell'occupazione FESR 2014-2020

Investitionen in Wachstum und Beschäftigung
EFRE 2014-2020

FESR LEGNATIVO

REPORT Milestone WP6 Studio dei prototipi

Partner | Projektpartner

eurac
research

 **Fraunhofer**
ITALIA

ATRIUM

Contatto | Kontakte: Riccardo Pinotti || riccardo.pinotti@eurac.edu

Contatto | Kontakte: Roberto Lollini || roberto.lollini@eurac.edu

M6 Report su attività Prototipi Progetto Legnattivo

Contents

- 1. [Introduzione](#)..... 2
- 2. [Test Prestazionali](#)..... 2
 - 2.1 [Descrizione del Provino](#)..... 2
 - 2.1.1 [Geometrie moduli prototipo](#)..... 6
 - 2.1.2 [Processo di costruzione](#) 7
 - 2.2 [Descrizione Laboratorio Multilab](#)..... 10
 - 2.3 [Descrizione test prestazionali](#) 11
 - 2.3.1 [Sensoristica](#) 12
 - 2.3.2 [Posizionamento sensori](#) 13
 - 2.4 [Descrizione dei risultati – test prestazionali](#) 17
 - 2.4.1 [Commenti sui risultati](#)..... 17
- 3. [Test Funzionali](#) 28
 - 2.1 [Descrizione dei Provini](#)..... 28
 - 3.1.1 [Pannelli Passivi](#) 28
 - 3.1.2 [Ancoraggio](#) 29
 - 2.2 [Descrizione Laboratorio - Flexilab](#)..... 34
 - 2.3 [Descrizione test funzionali](#) 35
 - 2.4 [Descrizione dei risultati – test funzionali](#) 45

1. Introduzione

All'interno del progetto FESR *LegnAttivo* è prevista la realizzazione di prototipi al fine di testare moduli prefabbricati di facciata in legno per la riqualificazione di edifici esistenti. I moduli progettati in *LegnAttivo* prevedono un sistema di fissaggio *Plug&Play* di aggancio/sgancio rapido in modo tale da consentire e agevolare possibili future integrazioni e manutenzioni del sistema di facciata. I pannelli, in struttura lignea, oltre ad avere la funzione di isolamento termico dell'edificio, prevedono integrazioni di macchine di ventilazione installabili al lato della finestra e di fotovoltaico per contribuire all'alimentazione di tali sistemi.

2. Test Prestazionali

Il progetto FESR *LegnAttivo* ha l'obiettivo di testare il comportamento termo-igrometrico dei pannelli isolanti, la tenuta all'acqua e all'aria con possibile rischio di infiltrazioni in prossimità dei giunti orizzontali e verticali. Altro focus della fase di test è il monitoraggio dei sistemi integrati nei moduli, valutando aspetti critici, possibili ponti termici e verifiche tra la produzione del modulo PV e l'energia richiesta dal sistema di ventilazione.

2.1 Descrizione del Prototipo

Il prototipo utilizzato, ai fini delle valutazioni termo-igrometriche del sistema installato nel laboratorio denominato "Multilab", comprende più pannelli prefabbricati di facciata con componenti attive integrate. I diversi elementi sono assemblati all'interno di un apposito telaio in legno (Figura 2) utilizzato per trasportare e fissare il prototipo nella camera climatica per i test presso il laboratorio esterno Eurac (Figura 1).

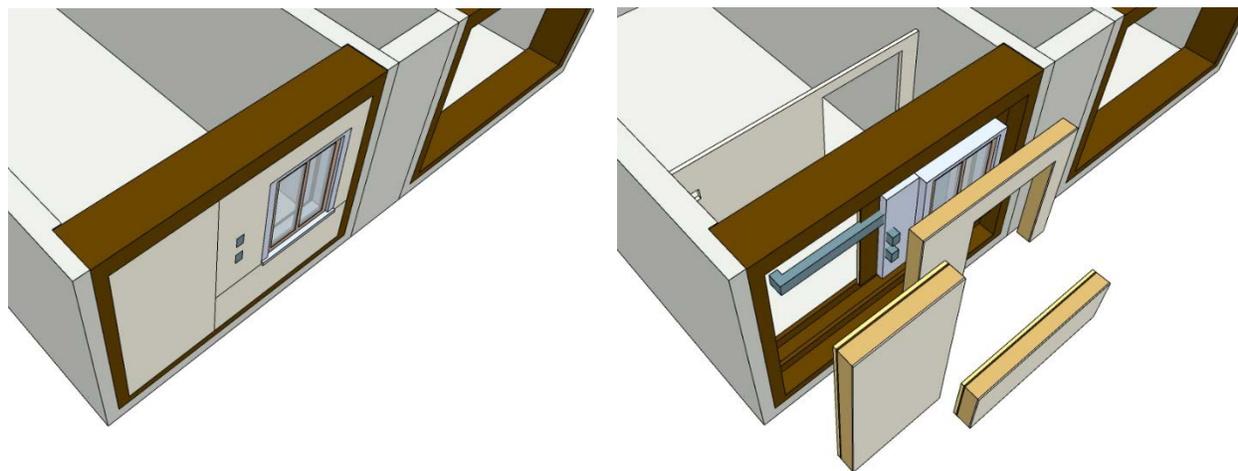


Figura 1 Idea di progetto del prototipo MultiLab con sistema di ventilazione integrato



Figura 2: Prototipo funzionale Legnattivo installato

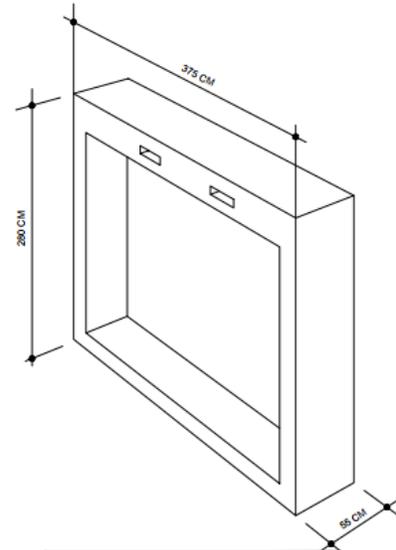


Figura 3: Telaio in legno

Il prototipo, con i suoi moduli, comprende:

- una **macchina di ventilazione decentralizzata** con relativi condotti dell'aria (Figura 3). Un esempio di macchina di ventilazione adatta all'integrazione può essere trovato al sito [Thesan Aircare ES: sistema VMC con recupero di calore](#).

La macchina è ispezionabile dall'interno attraverso un pannello removibile che consente l'estrazione tramite carrello della macchina di ventilazione dalla spalla laterale della finestra (Figura 4).



Figura 4: Sistema integrato di ventilazione



Figura 5: Vano per ispezione della macchina

Tabella 1: Dati tecnici macchina di ventilazione

(*) Velocità	(*) Portata [m ³ /h]	(*) Potenza sonora LwA [dB]	(**) Pressione sonora Lp (a 3m) [dB]	(***) Pressione sonora Lp [dB]	(*) Efficienza termica %	Assorbimento alla spina [W]
1	15	37	19	30	82	4,6
2	20	40	22	33	79	5,8
3	30	45	27	38	74	10,3
4	35	48	30	41	72	14,6
5	41	51	33	44	69	20,6

(*) Misure effettuate in conformità con la norma EN 13141-8.

(**) Valori indicati per consentire raffronti con le dichiarazioni della concorrenza.

(***) La valutazione si riferisce ad una rilevazione a centro stanza in un ambiente normalizzato. Per ambiente normalizzato si intende un ambiente con tempo di riverberazione pari a 0,5 secondi.

Certificato presso i laboratori TÜV SÜD e conforme alla norma armonizzata europea EN 60335.

Ha ottenuto il Sigillo di Qualità CasaClima.

- un **serramento** con vetrocamera stratificato antisfondamento e antinfortunio, come previsto da UNI 7697 cogente, con composizione: 33.1/15 gas argon TGI/33.1 b.e. Il telaio ha dimensioni 115 x 150cm, mentre la luce 105 x 145cm.

Tabella 2: Caratteristiche tecniche serramento

Caratteristiche Tecniche:	serie SERIE 68
Essenza:	Pino lamellare lista intera
Colore serramento in legno:	Laccato opaco Ral
Ferramenta:	ROTO NT cromata
Vetro camera:	Ug = 1,0 W/m ² K
Maniglia:	SICAMA modello, Schelby acciaio satinato o equivalenti
Entrata zero	no

- un **modulo fotovoltaico**. Il modello utilizzato e installato nel prototipo è di SunPower (Figura 5). I pannelli sono costruiti con materiali polimerici leggeri e consentono un facile trasporto e una flessione del pannello fino a 30 gradi. Le caratteristiche del pannello sono riportate in Tabella 3.



Figura 6: Modulo PV SunPower

Tabella 3: a) Dati di funzionamento b) Caratteristiche meccaniche

Typical Electrical Data at STC: 25° C, 1000 W/m ² and AM 1.5		
Model	SPR-E-Flex-110	SPR-E-Flex-100
Nominal Power (P _{nom})	110 W	100 W
Power Tolerance	+6/-3%	+6/-3%
Rated Voltage (V _{mpp})	18.8 V	17.1 V
Rated Current (I _{mpp})	5.9 A	5.9 A
Open-circuit voltage (V _{oc})	22.8 V	21.4 V
Short-circuit current (I _{sc})	6.3 A	6.3 A
Power Temp Coefficient	-0.30%/° C	-0.35%/° C
Voltage Temp Coefficient	-55.8 mV/° C	-58.9 mV/° C
Current Temp Coefficient	3.5 mA/° C	2.6 mA/° C
Max. System Voltage	1000 V DC IEC, 600 V DC UL	
Series Fuse Rating	15 A	

Mechanical Data	
Solar Cells	Prime monocrystalline 25% and 23% efficiency SunPower IBC cells
Junction Box	TE 1-21-2152049-1 with by-pass diode
Connectors	Tyco (PV4-S)
Cables	4 mm ² , 12 AWG, 450 mm long
Grommets	316 Stainless Steel
Charge Controller	None provided
Weight	2 kg
Panel Dimensions	1165 x 556 x 20 mm with Jbox, 2 mm w/o Jbox

La stratigrafia base dei pannelli è definita dal progetto LegnAttivo (Figura 6):

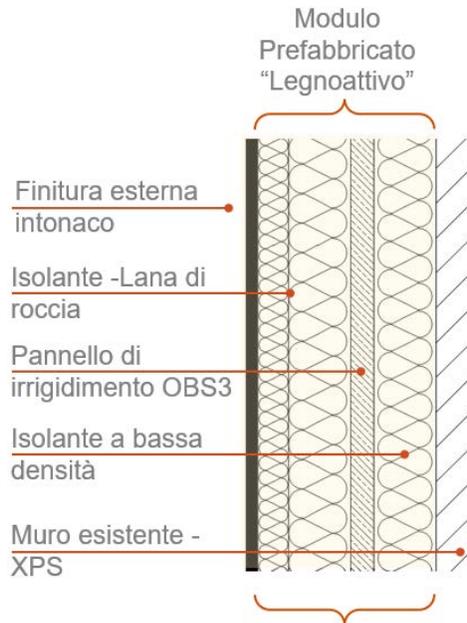


Figura 7 Strati del modulo LegnAttivo + strato aggiuntivo in XPS

Tabella 4: Caratteristiche tecniche strati pannello

Strato	Spessore	Massa Volumica	Conducibilita' Termica λ	Calore Specifico
	cm	kg/m ³	mK/W	J/kgK
1- Intonaco	1.5	1800	0.7	1000
2- Pannello intonacabile in fibra di legno	12	145	0.040	2250
3- OSB - 3	3	620-580	0.1	1500
4- Pannello isolante in fibra di legno	8	50	0.038	2100
5- XPS	5	33±10%	0.033	1450
6- Nastro isolante espandente	5.5x4	19	0.043	1260

A completare la stratigrafia del prototipo è stato aggiunto (oltre agli strati previsti dal modulo LegnAttivo) uno strato aggiuntivo in XPS di 5 cm sul lato interno, con pannelli di dimensioni pari a 60x125 cm. Tale strato ha la funzione di simulare la parete esistente di un edificio nel quale verrebbe installata la facciata prefabbricata LegnAttivo in un progetto reale di risanamento energetico.

2.1.1 Geometrie moduli prototipo

Il prototipo è composto da un pannello principale (218x243 cm Figura 7) con integrato il serramento, la macchina di ventilazione e il PV. Inoltre, al fine di valutare la tenuta dei giunti orizzontali e verticali di spessore 4 cm, sono previsti due ulteriori pannelli (121x119.5 cm Figura 8) senza integrazioni attive.

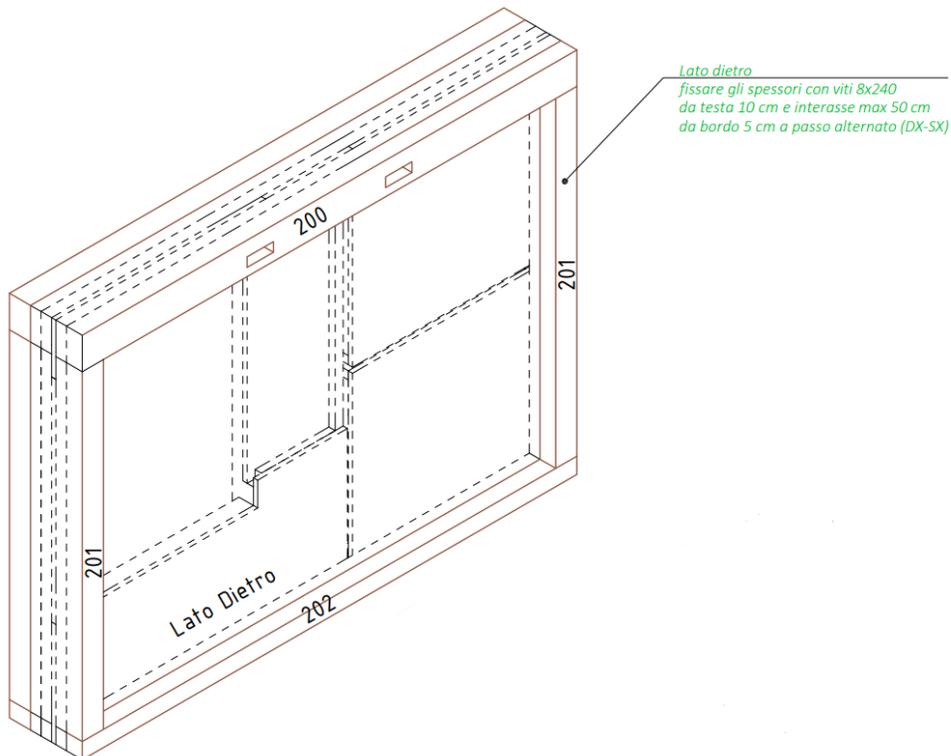


Figura 8: 3D Pannello Principale

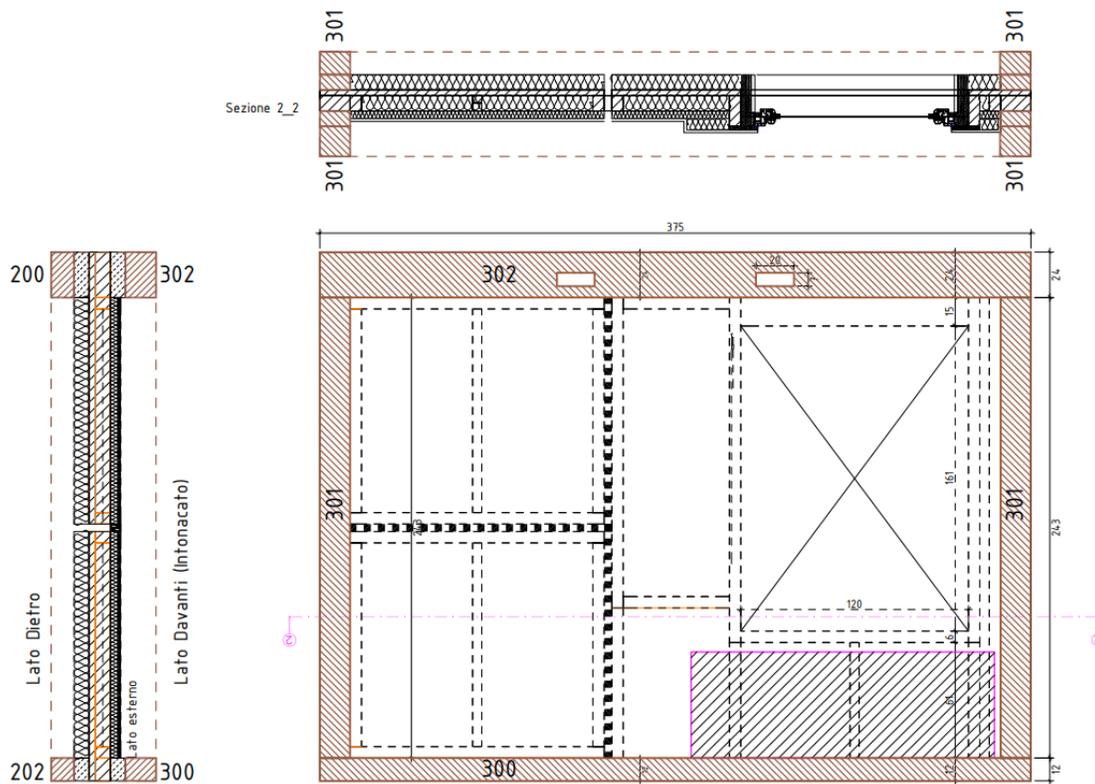


Figura 9: Sezione e prospetto pannello

2.1.2 Processo di costruzione

Di seguito sono riportate le immagini più significative del processo di costruzione.

La struttura portante di questi pannelli (Figura 9) è composta da un telaio in legno lamellare di abete (GL24H), controventato da un pannello in multistrato, calcolato appositamente per garantire la stabilità necessaria a soddisfare tutti i requisiti richiesti. Le giunzioni tra elementi portanti eseguite con viti a tutto filetto con diametri e lunghezze variabili in base alle necessità. Tale struttura è stata realizzata in 30 minuti da due operatori.



Figura 10: Struttura portante dei pannelli

Più complessa è stata la realizzazione della struttura portante del prototipo di facciata integrata (Figura 10). La struttura è stata studiata per accogliere e installare la VMC con i suoi canali, il serramento e un pannello fotovoltaico. Struttura completata in circa 90 minuti, con due operatori. Di seguito è possibile vedere la struttura portante terminata con il pannello multistrato da 32 mm



Figura 11: Struttura portante prototipo facciata integrata

L'efficiamento energetico è garantito dall'utilizzo di pannelli di fibra di legno ad alta densità, fissati meccanicamente alla struttura in legno, con rosette, che garantiscono le prestazioni energetiche necessarie alla creazione di un vero e proprio cappotto termico. Di seguito si osserva che la fibra di legno non intonacabile posizionata tra i montanti e traversi della struttura in legno mentre la fibra di legno intonacabile ricopre l'intera superficie del pannello (Figura 11).



Figura 12: Composizione strato isolante

In Figura 12 si osserva che sono presenti due tagli (giunto orizzontale e verticale) che verranno studiati per valutare le prestazioni termiche. Il prototipo, pur essendo stato realizzato in un'unica struttura per agevolare la fabbricazione, vuole simulare la compresenza di tre diversi pannelli LegnAttivo con discontinuità e giunti che si riscontrerebbero in un caso reale. Nei giunti è presente una guarnizione per garantire la tenuta all'aria e all'acqua tra i diversi pannelli della facciata.



Figura 13: Composizione pannello – Giunti

In Figura 13 è possibile osservare i sistemi integrati al pannello come la macchina di ventilazione, il nuovo infisso e il pannello fotovoltaico.

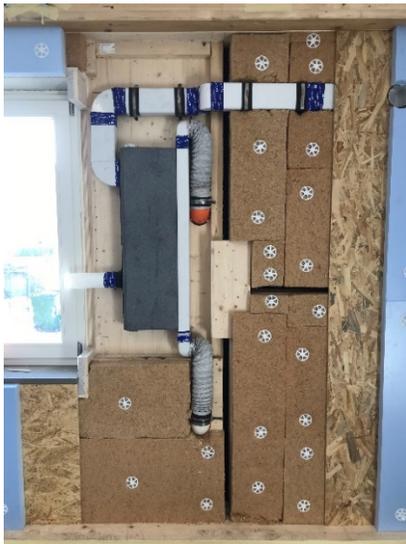


Figura 14: Pannello prototipo con sistemi integrati

2.2 Descrizione Laboratorio Multilab

Il “Façade System Interactions Lab” di Eurac Research, è stato realizzato per valutare l’interazione tra gli elementi che costituiscono un edificio e l’ambiente interno. L’infrastruttura consente di studiare l’influenza dei sistemi su scala reale. Il laboratorio è in grado di valutare in condizioni di funzionamento realistiche le prestazioni energetiche e la qualità degli ambienti interni determinate da sistemi di facciata.

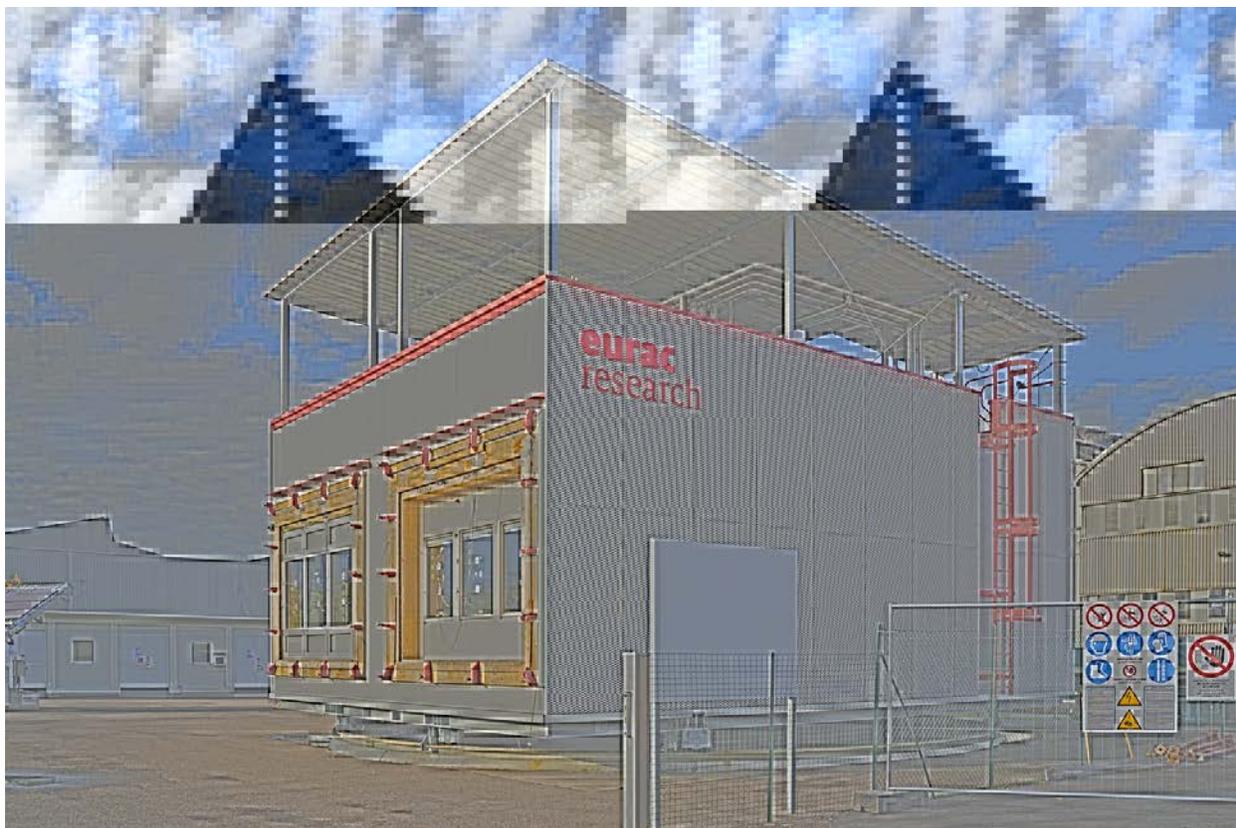


Figura 15: Façade System Interactions Lab - Eurac Research

L'infrastruttura è costituita da due camere di prova montate su una piattaforma rotante per riprodurre l'orientazione di qualsiasi struttura reale. In ciascuna camera di prova è possibile ospitare un provino di facciata di dimensioni massime 3,7 x 2,8 x 0,5 metri. La temperatura dell'aria e delle superfici, l'umidità relativa e le modalità di ventilazione sono controllabili in funzione delle esigenze sperimentali. Inoltre, gli spazi interni possono essere allestiti come si preferisce a seconda della tipologia di prove. Per le facciate inserite si possono valutare le prestazioni termiche, energetiche e ottiche ed è inoltre possibile valutare la qualità degli ambienti interni.

2.3 Descrizione test prestazionali

I test sono finalizzati a valutare il comportamento termo-igrometrico dei pannelli isolanti di progetto, la tenuta all'acqua e all'aria e il possibile rischio di infiltrazioni in prossimità dei giunti orizzontali e verticali.

Verranno individuati i nodi critici delle varie integrazioni delle componenti attive per cui gli aspetti termici ed igrometrici verranno analizzati tramite l'uso di PT100 e sensori Umidità. In particolare, viene posta attenzione a:

- Termo-igrometria nelle aree del pannello prefabbricato adiacenti ai condotti integrati della macchina di ventilazione centralizzata.

- Termo-igrometria della parte di modulo prefabbricato nelle aree adiacenti alla macchina decentralizzata.
- Termo-igrometria zona retrostante a modulo PV
- Termo-igrometria zona che integra le componenti elettriche per collegamento PV/macchina ventilazione.
- Validità del sistema accoppiamento PV/Ventilazione centralizzata

Il prototipo, inoltre, ha la funzione di verificare la praticità o gli aspetti migliorabili di un'integrazione della macchina di ventilazione al lato del serramento. Questa caratteristica, fortemente perseguita nel progetto LegnAttivo, consente di agevolare le fasi manutentive della macchina, permettendo una facile estrazione e ispezione

2.3.1 Sensoristica

Ai fini del monitoraggio termo-igrometrico del prototipo di facciata, sono stati installati i seguenti sensori:

EE060 – Sensore di temperatura e umidità

Le sonde EE060 (Figura 15) sono state installate per le misurazioni dei valori di umidità relativa e di temperatura dei diversi strati del pacchetto LegnAttivo e dei giunti tra pannelli.



Figura 16: Sonda EE060

Tabella 5: Dati Funzionamento sonda EE060

Relative humidity	
Working range	0...100 % RH
Analogue output 0...100 % RH	0 - 10 V (-1.0 mA < I _L < 1.0 mA)
	0 - 5 V (-0.2 mA < I _L < 0.2 mA)
	0 - 1 V (-0.1 mA < I _L < 0.1 mA)
Accuracy at 24 V DC, 20 °C (68 °F) ¹⁾	± 2.5 % RH
Temperature	
Analogue output	0 - 10 V (-1.0 mA < I _L < 1.0 mA)
T scale no code: -40...+60 °C (-40...140°F)	0 - 5 V (-0.5 mA < I _L < 0.5 mA)
SBH80: -40...+80 °C (-40...176°F)	0 - 1 V (-0.1 mA < I _L < 0.1 mA)
Accuracy at 24 V DC, 20 °C (68 °F)	± 0.3 °C (± 0.5 °F)

Termocoppie Pt 100

Per una maggiore precisione nella misurazione della temperatura del sistema di ventilazione (in prossimità della macchina, delle canalizzazioni e delle bocchette di mandata e di ripresa) e per valutare un probabile rischio di surriscaldamento della superficie adiacente al PV, sono state installate termocoppie Pt100 a 4 fili classe 1/10 DIN simili al modello riportato in Figura 16.



Figura 17 Sensore di temperatura Pt100

Sono riportati di seguito le caratteristiche di tali sensori:

- Elemento Pt100 a film sottile a norma IEC 60751 classe 1/10: 2008
- Accuratezza dell'elemento: $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ equivalente alla accuratezza di un sensore normale migliore di $\pm 0,06^{\circ}\text{C}$ a 0°C
- Questa sonda ha 4 fili, ma può essere facilmente adoperata in applicazioni a 3 fili lasciando scollegato uno dei fili bianchi
- Lunghezza minima di immersione consigliata: di norma almeno 150 mm
- Zona di rilevazione: i primi 20 mm dalla punta
- Temperatura di funzionamento: da -50°C a 250°C
- Guaina: acciaio inossidabile AISI 316L, diametro esterno 3 o 6 mm x lunghezza 250 mm
- Cavo: 2 metri con isolamento in PFA

2.3.2 Posizionamento sensori

Nei prospetti del prototipo (Figura 17 e Figura 18) è riportato il posizionamento dei sensori. Il codice T_{xx} identifica le termocoppie, mentre T/RH_{xx} identifica i sensori E+E per il rilevamento dei dati di temperatura e umidità relativa. Quest'ultimi sono stati utilizzati principalmente all'interno degli strati del pannello e in prossimità dei giunti tra pannelli. Nella tabella che segue (Tabella 6) sono riportati i sensori installati ed utilizzati nella fase monitoraggio del prototipo.

Tabella 6: Lista sensori

	ID	T/RH	T (termocoppie)	Piranometro	Altro
TOTALE		14	7	1	3
Comportamento pannello passivo					
Tenuta aria/acqua giunto verticale P1	T/RH_1	1			
Tenuta aria/acqua giunto verticale P2	T/RH_2	1			
Tenuta aria/acqua giunto intersezione	T/RH_3	1			
Tenuta aria/acqua giunto orizzontale	T/RH_4	1			
Interfaccia con superficie esistente P1	T/RH_5	1			
Interfaccia con superficie esistente P2	T/RH_6	1			
Strato LVL-strato di adattamento P1	T/RH_7	1			
Strato LVL-strato di adattamento P2	T/RH_8	1			
Serramento					
Lato vano macchina	T/RH_9	1			
Lato vano macchina ponti termici, in prossimità del controtelaio	T_1-2		2		
Impianto aria					
Presa aria esterna fredda	T/RH_10 + T_3	1	1		
Condotto aria, temperatura e rischio condensa	T/RH_11 + T_4	1	1		
Bocchetta di estrazione aria interna	T/RH_12 + T_5	1	1		
Consumo macchina di ventilazione					1
PV					
Rischio ponte termico sistema di ancoraggio	T_6-7		2		
T/RH intercapedine PV - superficie esterna	T/RH_13-14	2			
Radiazione				1	
Produzione PV					1
Qualità aria interna					
					1

Tali sensori sono suddivisi in base all'ambito di studio ed il loro posizionamento è riportato nei prospetti del prototipo.

Tenuta aria e acqua dei giunti

Sono stati installati in prossimità dei giunti orizzontali e verticali un totale di n. 4 sensori di umidità E+E tra il nastro isolante e il filo interno del pannello (Figura 17). Due per il giunto verticale, uno per il giunto orizzontale e un sensore per valutare il comportamento nell'intersezione tra il giunto verticale e quello orizzontale.

Comportamento termo-igrometrico degli strati del pannello Legnattivo e interfaccia con l'esistente

La parete esistente è stata simulata con un pannello XPS di 5 cm con valori di trasmittanza $1.37 \text{ W/m}^2\text{K}$ (valore ricavato dal Progetto Tabula per muro in mattoni), lo scopo è di verificare il rischio di concentrazione di umidità nello strato di interfaccia tra pannello prefabbricato e superficie esistente.

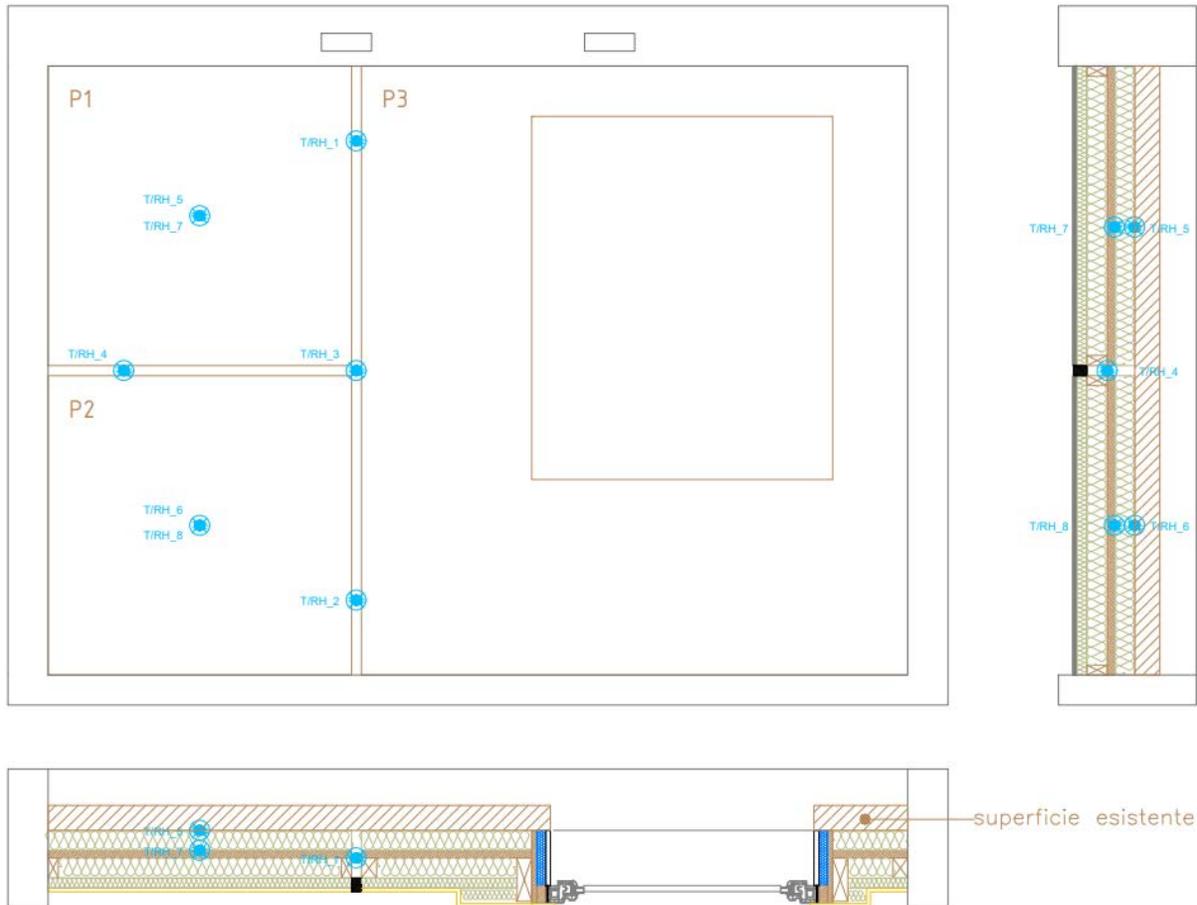


Figura 18: Posizionamento sensori nel prototipo, strati e giunti

Finestra

Il vano, creato per ospitare la macchina di ventilazione estraibile tramite carrello, risulta essere un punto debole dal punto di vista dell'isolamento verso l'esterno dato il modesto spessore dello strato isolante. L'area del vano meno isolata, date le caratteristiche del prototipo, risulta essere quella più prossima al serramento. Al fine di valutare l'alto rischio di ponte termico, sono stati posizionati i sensori T_1 e T_2 adiacenti all'infisso (Figura 18).

Comportamento termo-igrometrico area macchina di ventilazione e condotti

Sono stati installati, per ulteriori valutazioni di tenuta all'aria e rischi condensa in prossimità del sistema di ventilazione, tre termocoppie e tre sensori $E+E$ (Figura 18):

- I sensori T_3 e T/RH_{10} adiacenti alla presa aria esterna.
- I sensori T_4 e T/RH_{11} in prossimità del canale di distribuzione.
- I sensori T_5 e T/RH_{12} adiacenti alla bocchetta di mandata nell'ambiente.

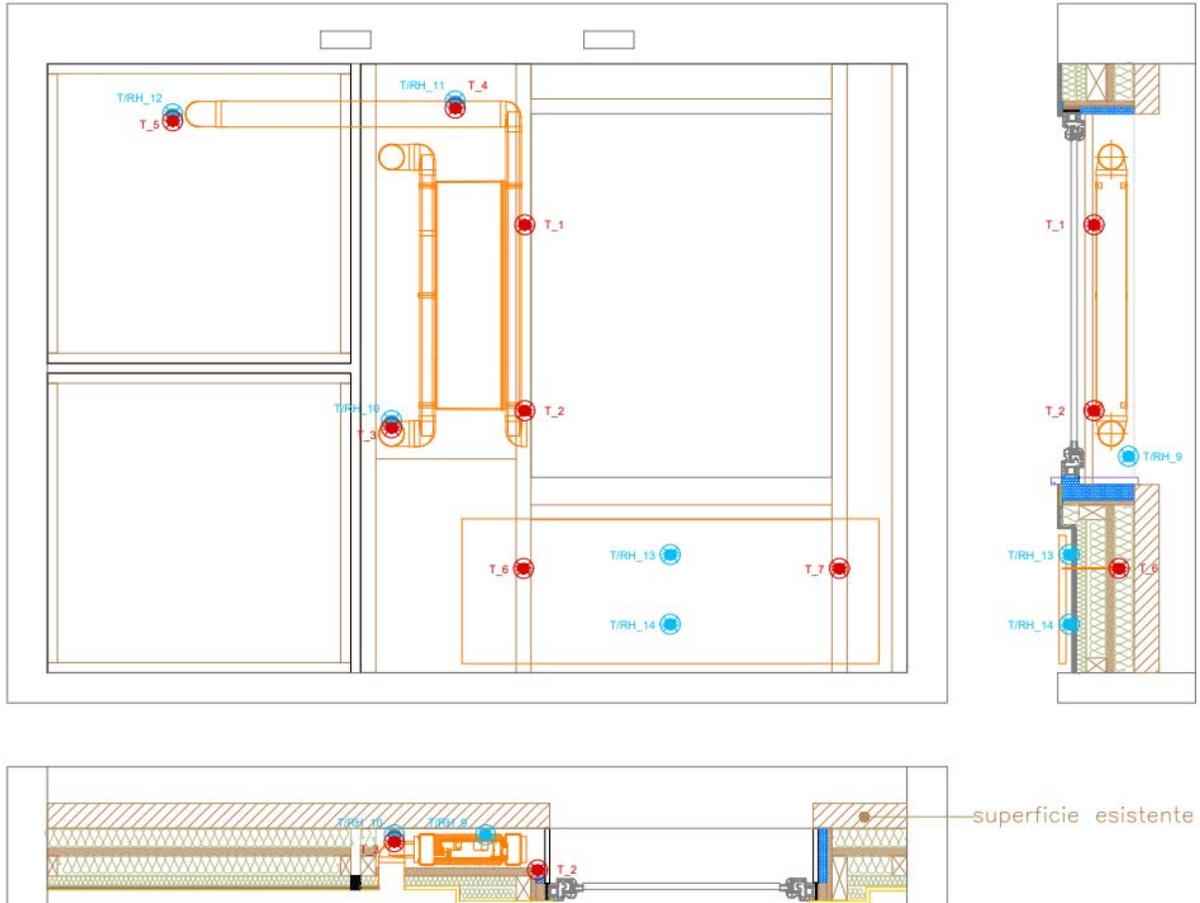


Figura 19: Posizionamento dei sensori nel prototipo, sistemi integrati

Comportamento termico area PV

Ulteriore aspetto di analisi nel pannello con integrazioni attive, è la valutazione di possibili ponti termici in prossimità dei sistemi di ancoraggio del pannello PV. Sono stati installati, al tal fine, n. 4 sensori di temperatura $Pt100$ in prossimità degli elementi di fissaggio (sensori T_6 e T_7 in Figura 18), fissati nel lato interno del pannello irrigidente, area adiacente a quella che dovrebbe essere la parete esistente. Ulteriori due sensori di umidità relativa e temperatura sono stati installati nel retro del pannello fotovoltaico, al fine di valutare un possibile surriscaldamento di tale superficie (T/RH_{13} e T/RH_{14} in Figura 18).

Infine, è stato installato un piranometro per valutare la radiazione incidente sul pannello fotovoltaico)

Consumi elettrici della macchina e produzione PV

Uno dei concetti che propone la facciata prefabbricata LegnAttivo è quello dello scambio di energia tra PV e macchina di ventilazione installata sul modulo stesso.

Per necessità legate al prototipo è stato installato un singolo modulo. In un contesto reale, tuttavia, potrebbero essere installati moduli di facciata che integrino solo pannelli PV, moduli di facciata che integrino solo macchina di ventilazione e moduli che abbiano entrambe. In ognuno di questi casi la produzione di PV potrebbe contribuire ad alimentare le macchine di ventilazione.

Di conseguenza vi era la necessità di valutare in che modo/percentuale il carico della macchina potesse essere coperto da 1 solo PV (in questo caso con esposizione a sud ed usando i dati del piranometro per quantificare i W/m^2 incidenti nel modulo). Viene fatto, quindi, un semplice confronto tra curva di produzione PV e curva del consumo della macchina, verificando la percentuale di copertura del carico ed ipotizzando il numero di moduli necessari (con stessa esposizione) per coprire il fabbisogno al 100%.

2.4 Descrizione dei risultati – test prestazionali

Durata dei test: 1 mese di analisi dal 29 Ottobre 2021 al 18 Dicembre 2021

I test si suddividono in due fasi principali, in una prima fase di test è stato valutato il comportamento passivo del modulo prefabbricato a macchina spenta. Una seconda fase successiva, invece, ha tenuto conto del funzionamento del sistema di ventilazione.

I Test – dal 29/10 al 26/11	
T_{in} °C	20
RH_{in} %	50
T_{out}	real
RH_{out} %	real
VMC	OFF
II Test – dal 27/11 al 18/12	
T_{in} °C	20
RH_{in} %	50
T_{out}	real
RH_{out} %	real
VMC	ON (max velocità)

2.4.1 Commenti sui risultati

MACCHINA DI VENTILAZIONE

Un primo confronto riguarda i sensori posti in prossimità della macchina di ventilazione. È possibile osservare nel Grafico 1 e Grafico 2: il sensore T3, in prossimità della bocchetta della presa aria esterna, ha temperature assimilabili a quelle esterne. Tale sensore non trovandosi direttamente all'interno del canale, ma installato negli strati del pannello prossimi alla presa d'aria, ci indica la scarsa qualità di isolamento e di tenuta dell'area circoscritta alle prese di aria, evidenziando un necessario miglioramento del dettaglio tecnico e miglioramento delle qualità dei materiali utilizzati. Mentre T5, posto in prossimità della bocchetta di mandata, ha delle temperature prossime a quelle dell'ambiente interno.

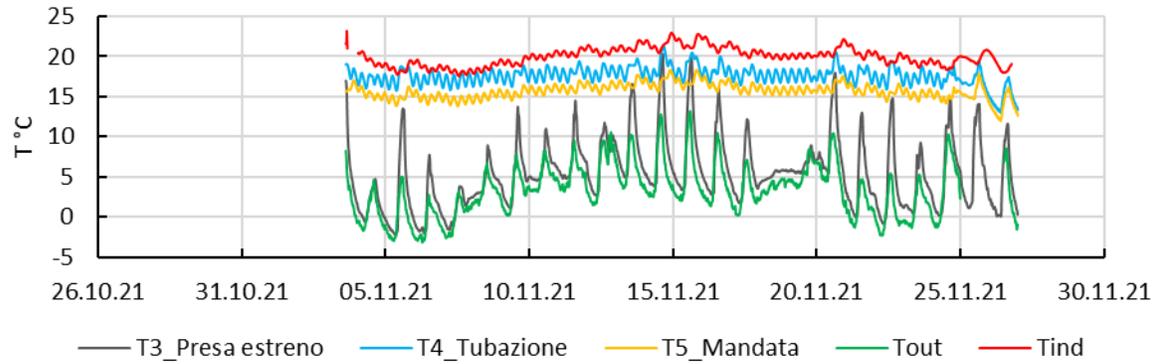


Grafico 1: Temperature bocchette macchina di ventilazione_Test I

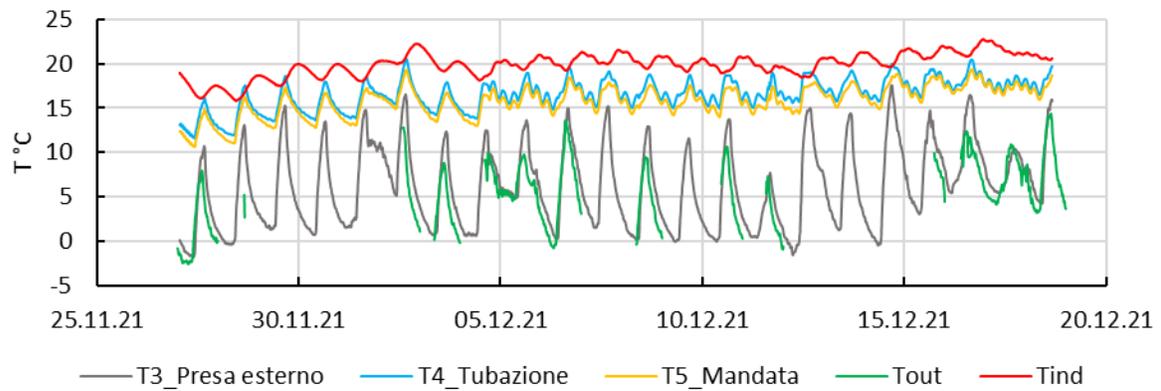


Grafico 2: Temperature bocchette macchina di ventilazione_Test II



Figura 20: Sensore T3_Presa Esterno

Guardando l'umidità, nelle medesime zone (Grafico 3 e Grafico 4), si osserva che in prossimità della bocchetta (T/RH10), che prende aria dall'esterno si misurano altri valori, influenzati dalle condizioni

esterne, che posso provocare problemi di condensa superficiale. Mentre, in prossimità della bocchetta di mandata (T/RH12) si hanno valori di umidità molto più bassi.

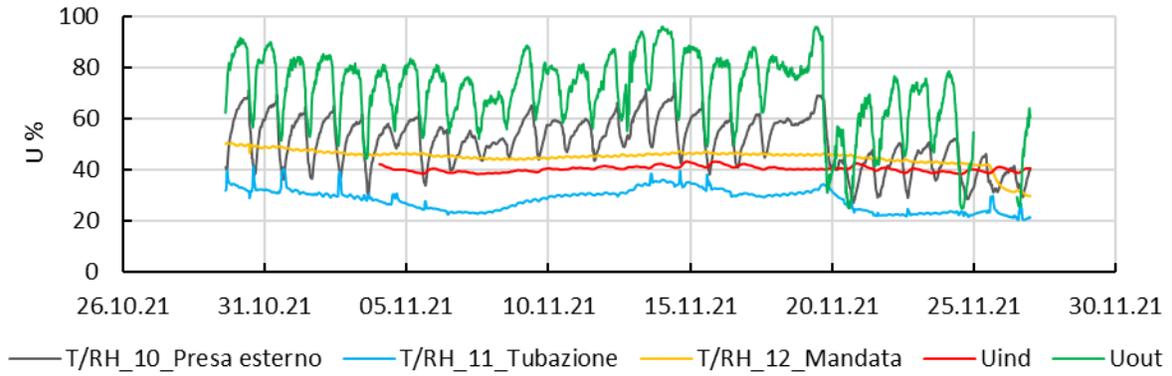


Grafico 3: Umidità bocchette macchina di ventilazione_Test I

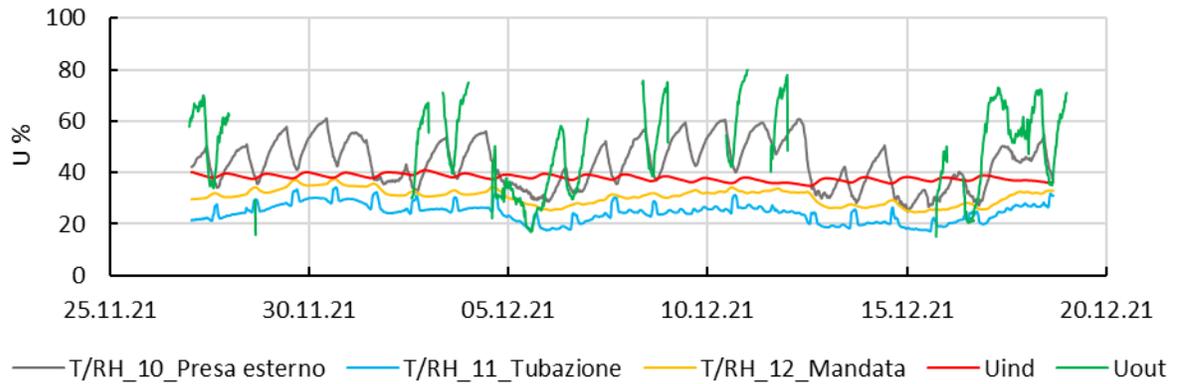


Grafico 4: Umidità bocchette macchina di ventilazione_Test II



Figura 21: Sensore T/RH_12

Nel Grafico 5 e Grafico 6 si osserva che il sensore T/RH9 è condizionato molto dalla scarsa qualità del canale di presa di aria esterna (Figura 21); infatti, sono state registrate temperature molto basse, a differenza dei sensori T1 e T2, che essendo più distanti dal canale, misurano valori più simili alle temperature dell'ambiente interno. Queste variazioni sono legate all'aspirazione dell'aria fredda dall'esterno.

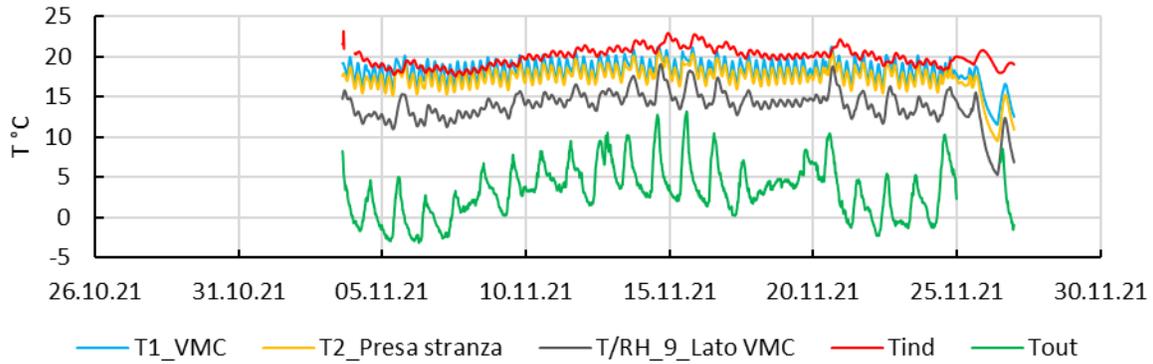


Grafico 5: Temperatura in prossimità della macchina di ventilazione_Test I

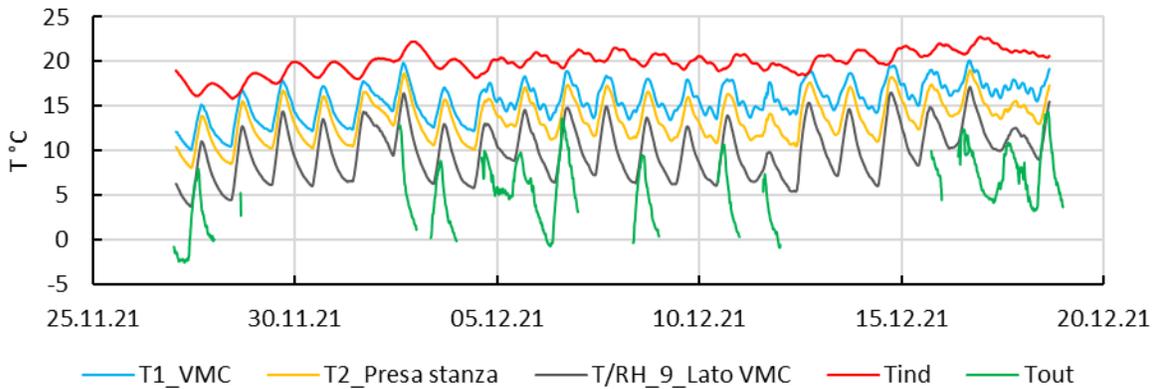


Grafico 6: Temperatura in prossimità della macchina di ventilazione_Test II



Figura 22: Sensore T/RH_9

SURRISCALDAMENTO PANNELLI

Nei grafici seguenti si valuta l'influenza del pannello fotovoltaico in termini di temperatura e umidità per gli stati superficiali e interni.

Nel Grafico 7, Grafico 8, Grafico 9 e Grafico 10 si osserva che le temperature tra il PV e la superficie esterna del pannello passivo sono molto alte, si raggiungono anche i 40°C, nei periodi di irraggiamento. Una buona ventilazione al di sotto del pannello fotovoltaico permetterebbe di evitare temperature eccessive.

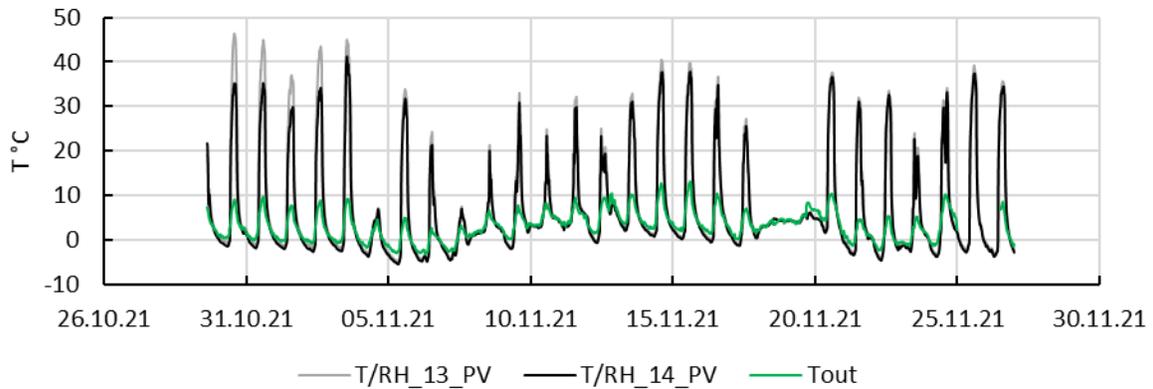


Grafico 7: Influenza pannello fotovoltaico - temperatura strati superficiali_Test I

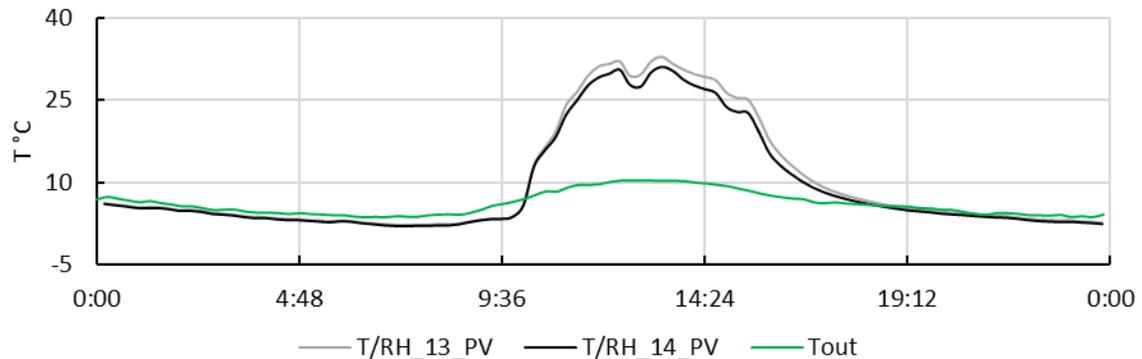


Grafico 8: Influenza pannello fotovoltaico - temperatura strati superficiali- Dettaglio_Test I

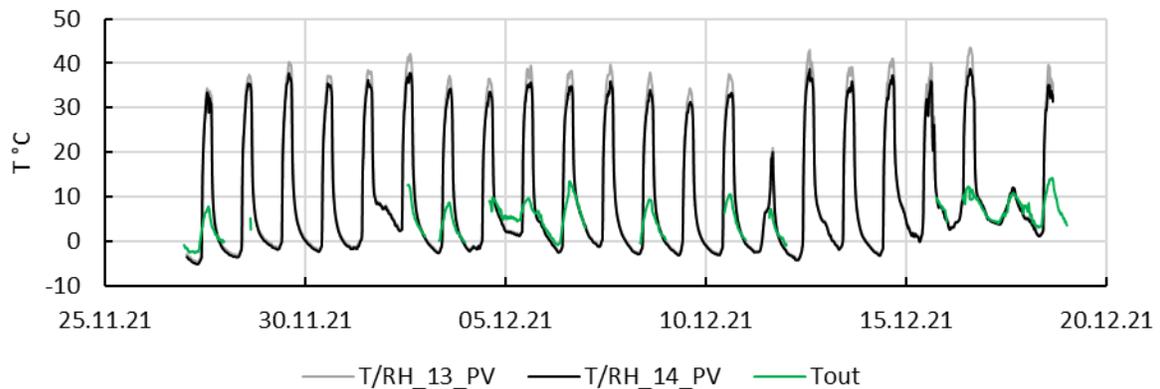


Grafico 9: Influenza pannello fotovoltaico - temperatura strati superficiali_Test II

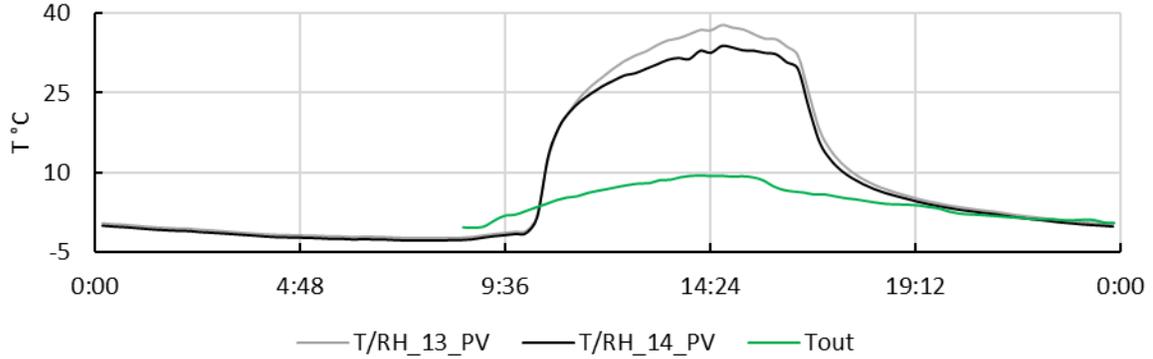


Grafico 10: Influenza pannello fotovoltaico - temperatura strati superficiali- Dettaglio_Test II

In termini di umidità relativa si può evidenziare un andamento simile (Grafico 11 e Grafico 12).

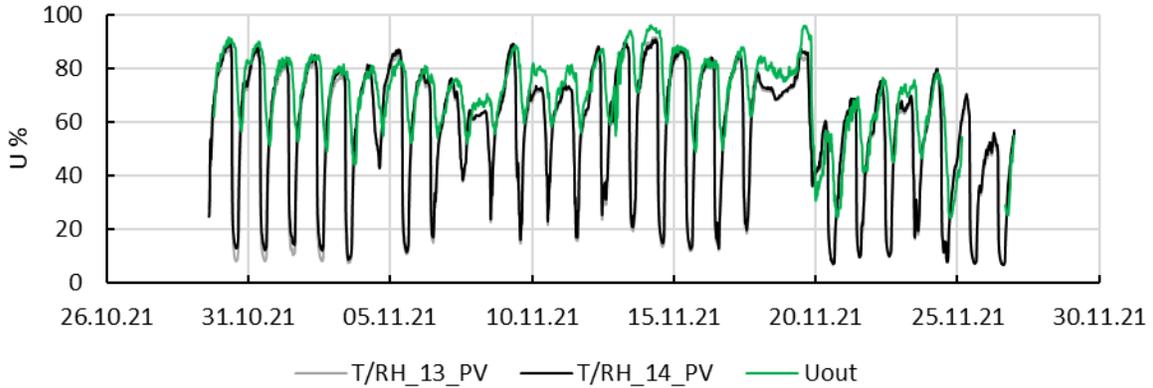


Grafico 11: : Influenza pannello fotovoltaico – umidità strati superficiali_Test I

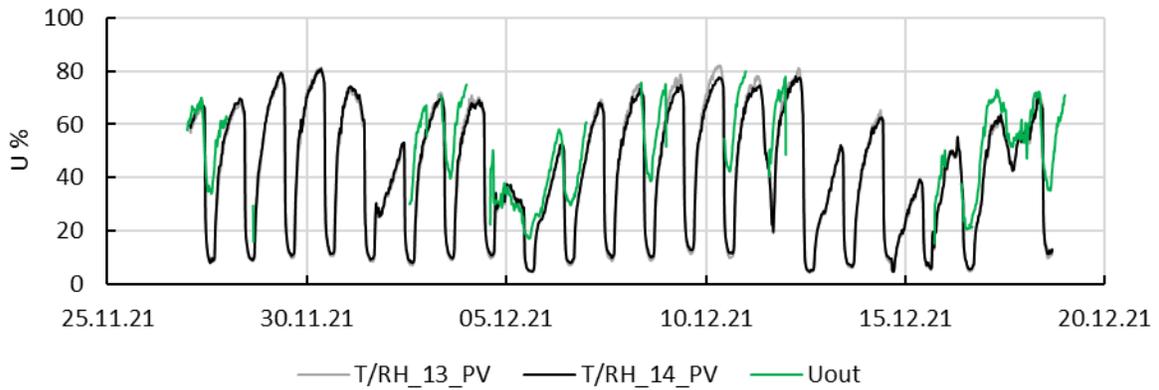


Grafico 12: Influenza pannello fotovoltaico – umidità strati superficiali_Test II

Nel Grafico 13 e Grafico 14 si osserva che le temperature interne in prossimità dello strato di isolante a bassa densità sono simili nei tre pannelli. Accendendo la macchina si sono misurate temperature leggermente più alte.

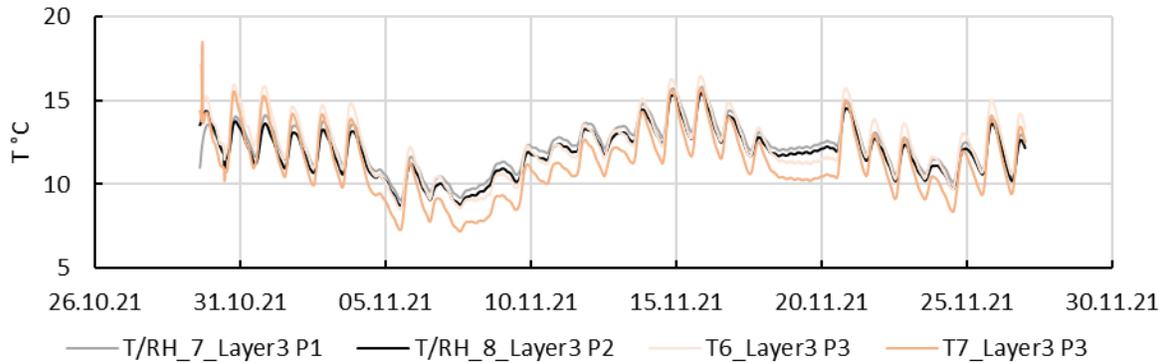


Grafico 13: Sensori strato isolante a bassa densità_Test I

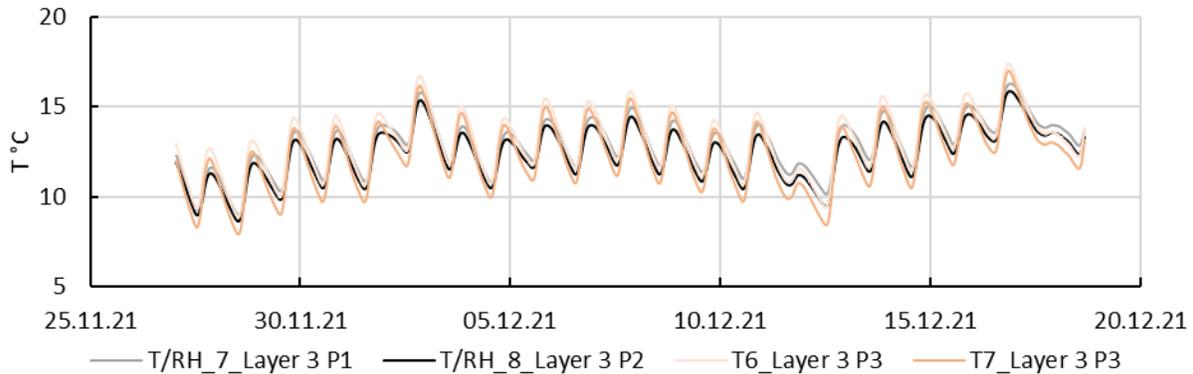


Grafico 14: Sensori strato isolante a bassa densità_Test II

GIUNTI

Nel Grafico 15 e Grafico 16 sono riportate le temperature in prossimità dei giunti verticali ed orizzontali. In primo luogo, il sensore T/RH1, installato nell'area occupata dalla macchina, con meno strato isolante, è fortemente influenzato dalle condizioni dell'ambiente interno essendo a diretto contatto con esso; quindi, i valori di questo sensore non possono fornire una risposta attendibile per valutare il funzionamento effettivo del nastro isolante nel giunto. Gli altri sensori, T/RH_2 per il giunto verticale, T/RH_3 nell'intersezione tra i giunti e T/RH_4 per il giunto orizzontale, hanno andamenti delle curve più vicini alla temperatura esterna. Bisogna evidenziare, tuttavia, che pur formandosi ponti termici in prossimità dei giunti, i nastri isolanti hanno svolto in parte la loro funzione raggiungendo in alcuni casi, rispetto alle temperature esterne, delta di 5-10 °C.

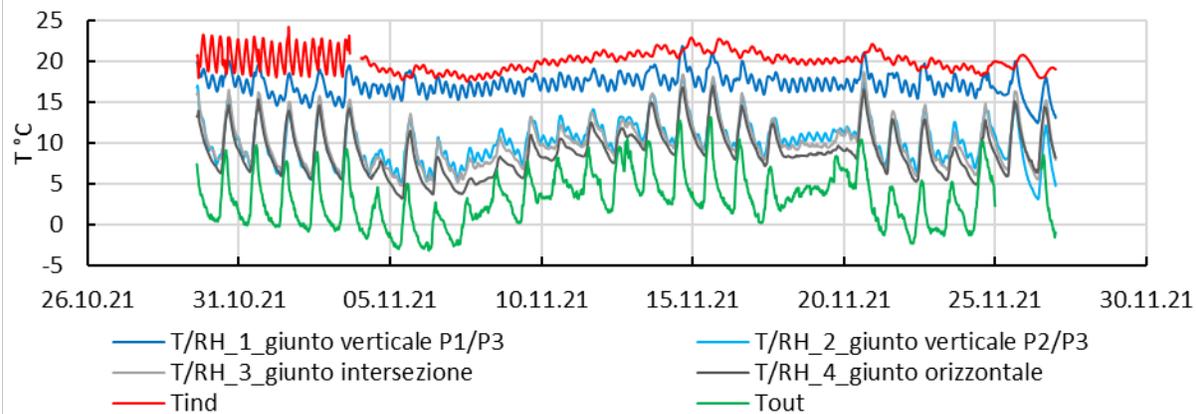


Grafico 15: Temperature lungo i giunti_Test I

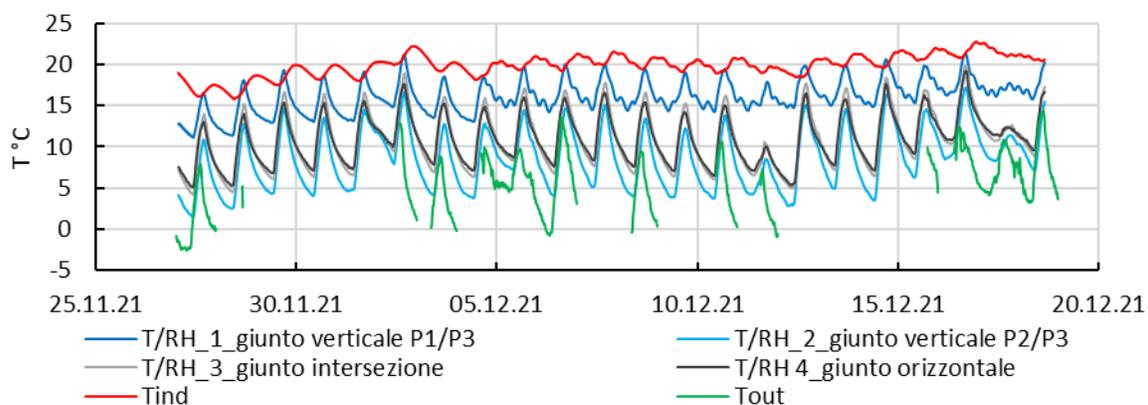


Grafico 16: Temperature lungo i giunti_Test II

Il comportamento in termini di umidità risulta simile. Il posizionamento, tuttavia, di un freno vapore lungo tutti i giunti, rimane di vitale importanza per evitare un rischio condensa superficiale, come mostrato in Grafico 17 e Grafico 18.

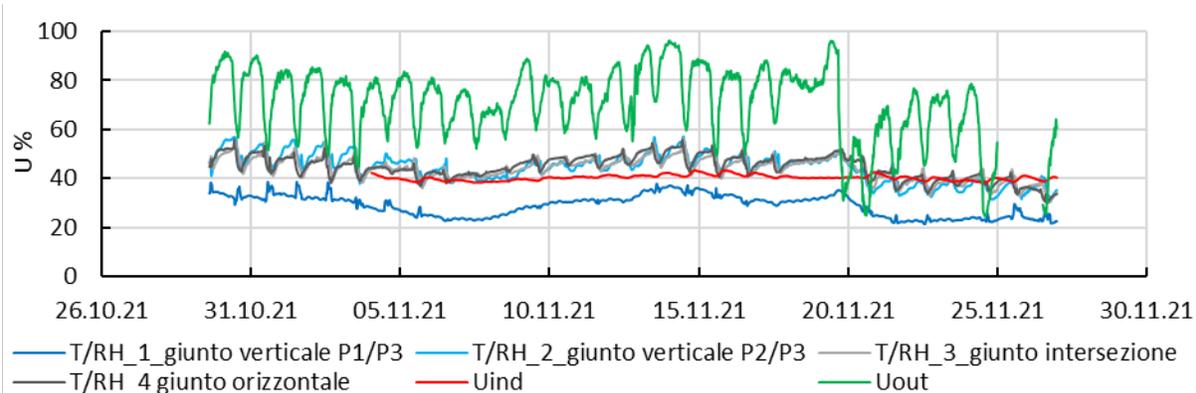


Grafico 17: Umidità lungo i giunti_Testi I

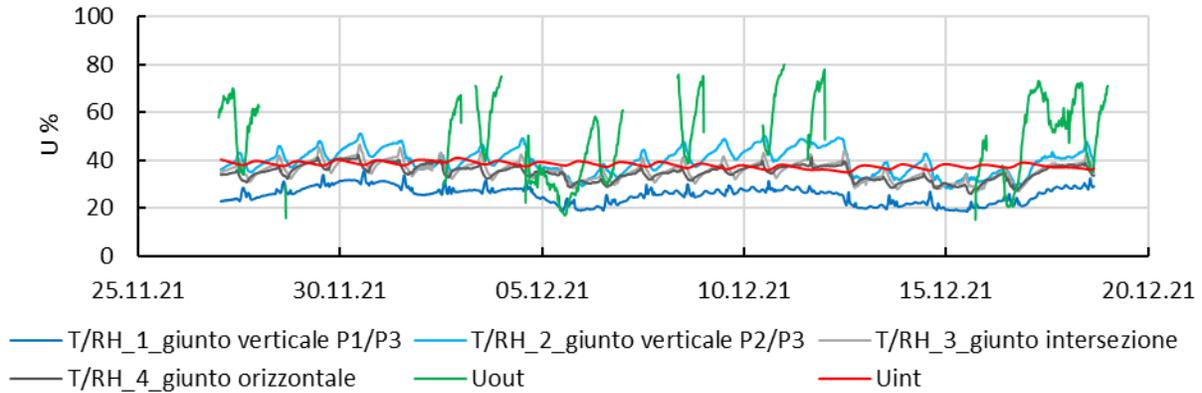


Grafico 18: Umidità lungo i giunti_Test II

Il Grafico 19 e Grafico 20 confermano che le zone in prossimità dei giunti sono molto influenzate dalle condizioni esterne, la situazione migliora con l'accensione della macchina di ventilazione.

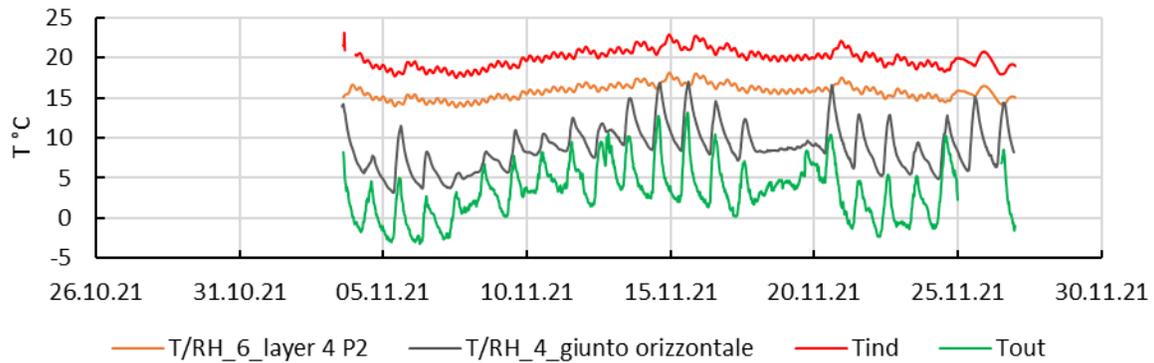


Grafico 19: Temperature giunto-strato interno_Test I

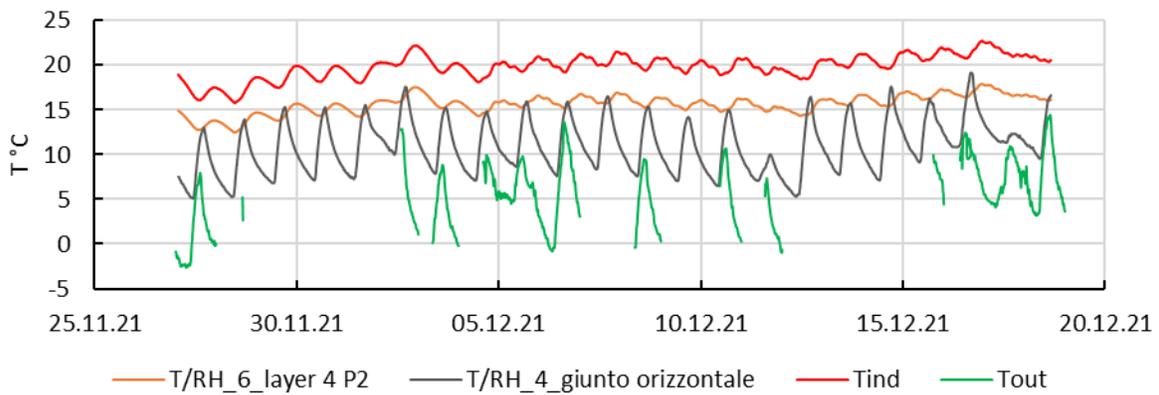


Grafico 20: Temperature giunto-strato interno_Test II

PANNELLI PASSIVI

Nei Grafico 21 e Grafico 22 si osservano le temperature dei pannelli passivi (P3 e P2) in corrispondenza del pannello di irrigidimento (layer 3) e lo strato di isolante a bassa densità (layer 4). I sensori dello strato più interno (T/RH6 e 5) misurano temperature più vicine a quelle dell'ambiente interno, dimostrando le proprietà isolanti del pannello passivo.

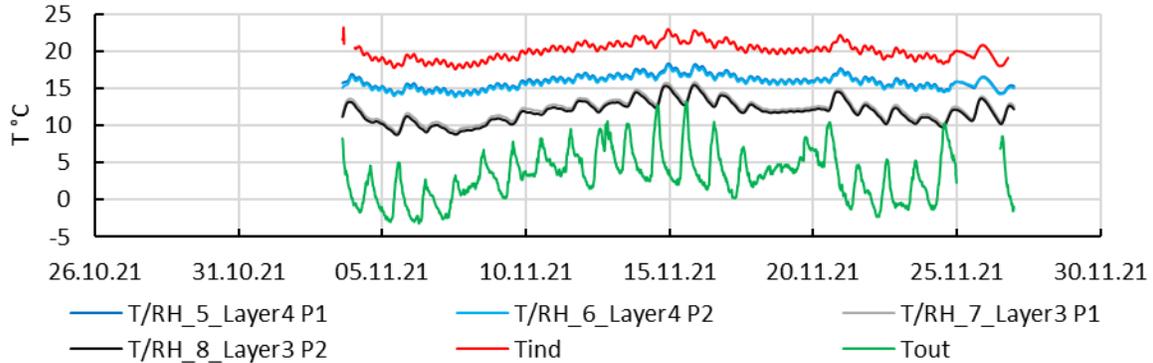


Grafico 21: Temperature strati interne pannelli passivi_Test I

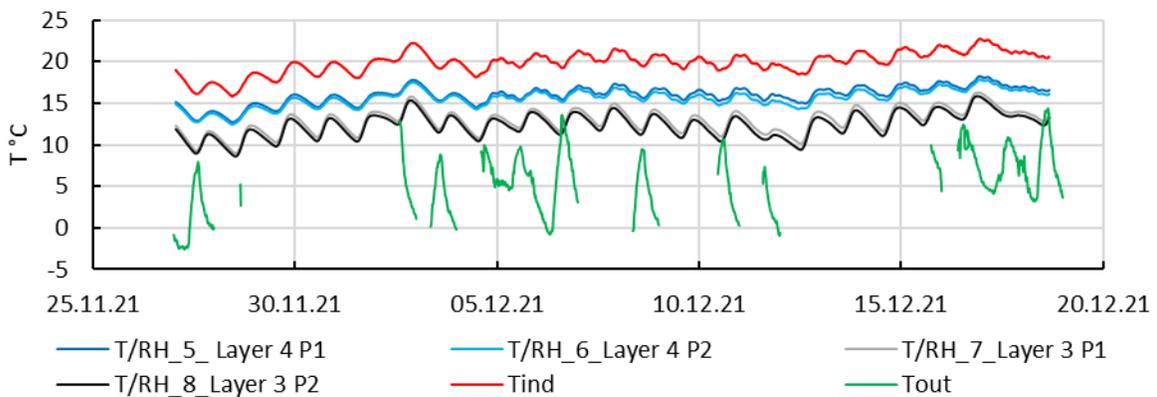


Grafico 22: Temperature strati interne pannelli passivi_Test II

Gli strati più interni (T/RH5-6) hanno valori di umidità prossimi a quelli della stanza, mentre gli strati più esterni (T/RH 7-8) hanno valori intermedi tra quelli dell'ambiente interno ed esterno (Grafico 23 e Grafico 24). I valori di umidità misurati nel pannello 1, in entrambi layer, tendono ad abbassarsi rispetto quelli del pannello 2 con l'accensione della macchina.

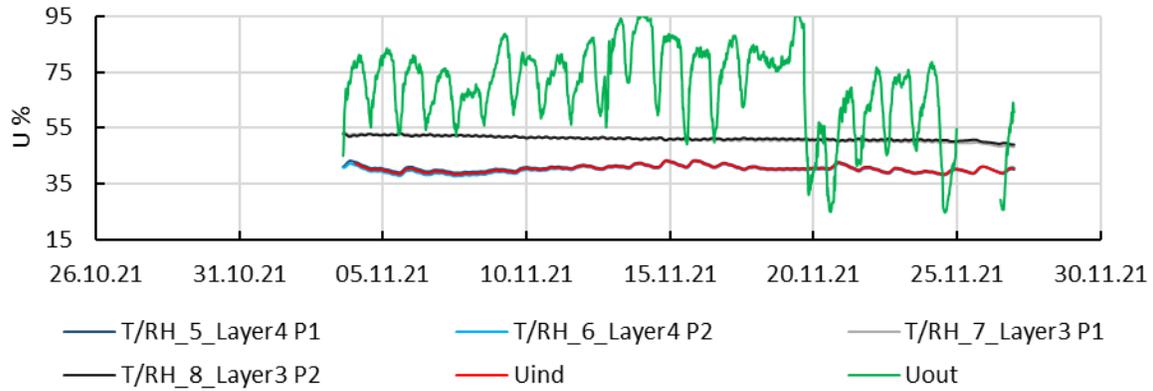


Grafico 23: Umidità strati interne pannelli passivi_Test I

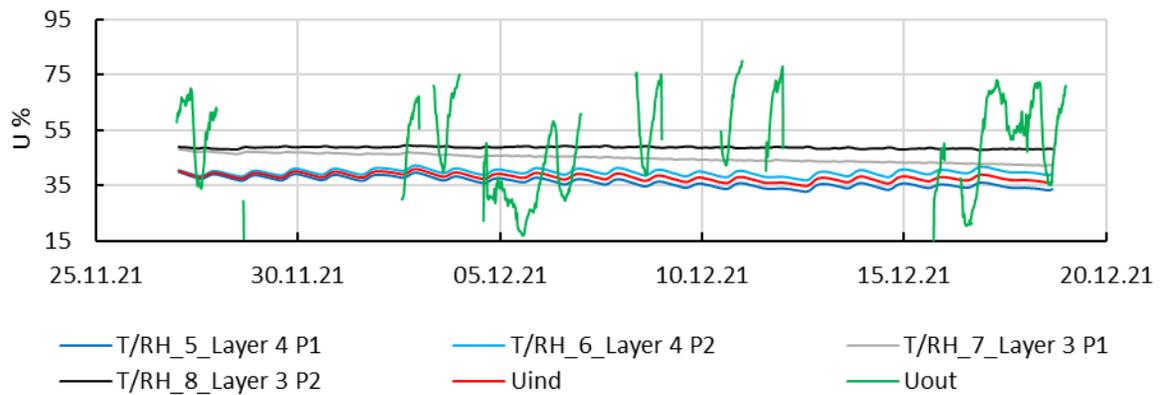


Grafico 24: Umidità strati interne pannelli passivi_Test II

PANNELLO FOTOVOLTAICO

Durante il periodo di accensione della VMC si è misurata la potenza prodotta dal pannello fotovoltaico; e risulta che per circa 6 ore al giorno è in grado di soddisfare la richiesta della macchina di ventilazione posta alla massima potenza (20.6W).

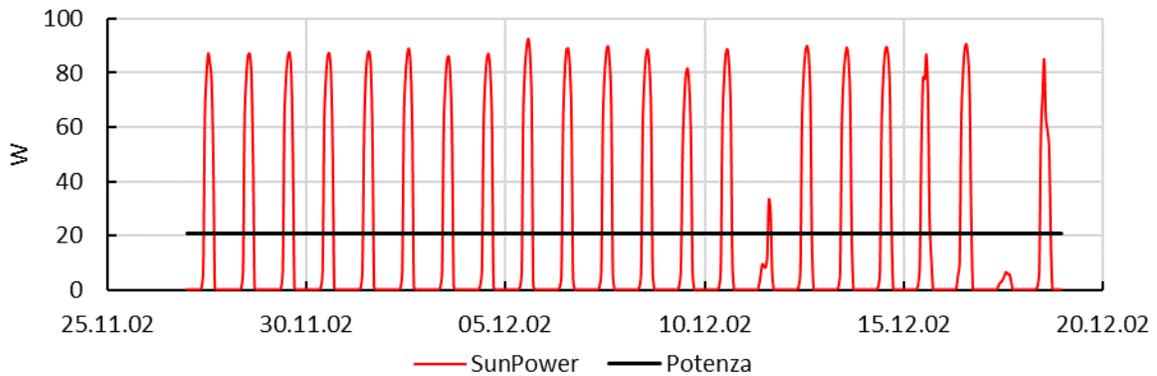


Grafico 25: Contemporaneità produzione domanda – PV/VMC

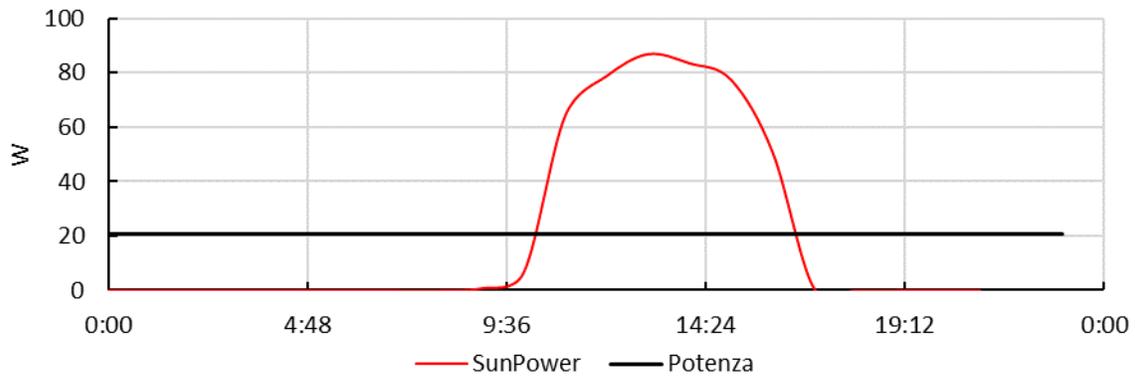


Grafico 26: Contemporaneità produzione domanda – PV/VMC- dettaglio

3. Test Funzionali

Il progetto FESR LegnAttivo ha l'obiettivo di valutare la facilità, la sequenza, le problematiche e i tempi di installazione e smontaggio dei pannelli passivi. In quanto si vuole verificare che la riqualificazione energetica con pannelli multifunzionali prefabbricati abbia tempi di installazione minori rispetto a un sistema tradizionale, garantendo la sicurezza in cantiere e un basso impatto sugli occupanti, poiché il montaggio dei moduli verrà effettuato dall'esterno con minimi interventi interni di finitura. Per fare ciò si sono eseguite due test presso i laboratori outdoor di Eurac Research.

2.1 Descrizione dei Provini

3.1.1 Pannelli Passivi

La stratigrafia base dei pannelli passivi è descritta precedentemente nel capitolo 2.1.

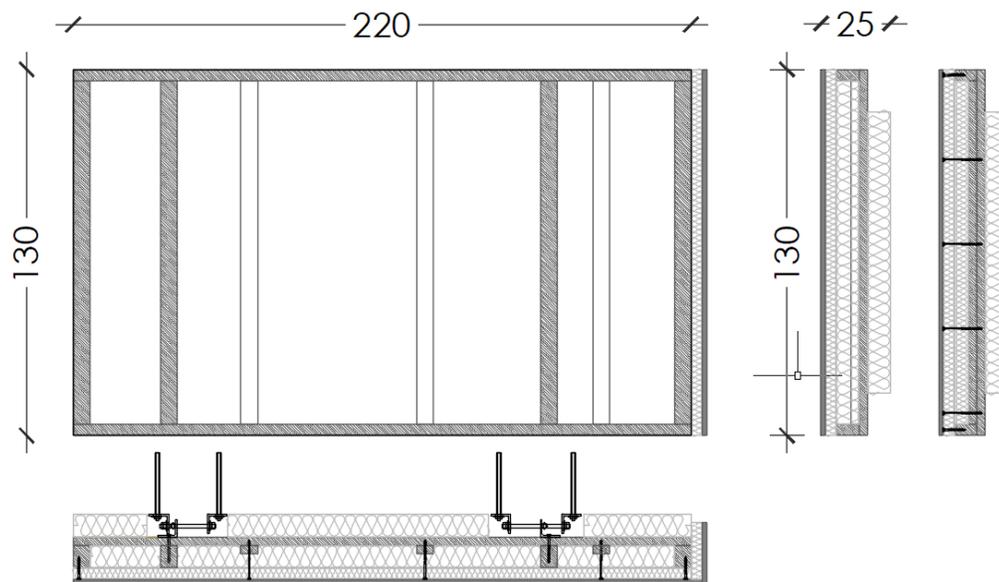


Figura 23: Dimensioni Prototipi moduli passivi



Figura 24: Prototipi moduli passivi

3.1.2 Ancoraggio

L'ancoraggio sviluppato è costituito da staffe, tasselli ganci e bulloni, ed è stato progettato per consentire la rimozione ed installazione facilitata di un singolo modulo, senza intaccare i moduli circostanti.



Figura 25: Modello 3D sistema di ancoraggio metallico

L'ancoraggio presenta i seguenti componenti:

Elemento	ID	Immagine
Gancio	A.1 Gancio a C	
	A.2 Gancio a U	
	A.3 Gancio a C con boccola saldata	-

Distanziatore	B.1	
Staffe	C.1 Staffe a L	
	C.2 Piastre a L per collegamento con profilato ad Omega	
Bullone	D.1 M12 C8.8	

Di seguito sono riportate le dimensioni geometriche dei singoli elementi prodotti da Leviat a CRH company.

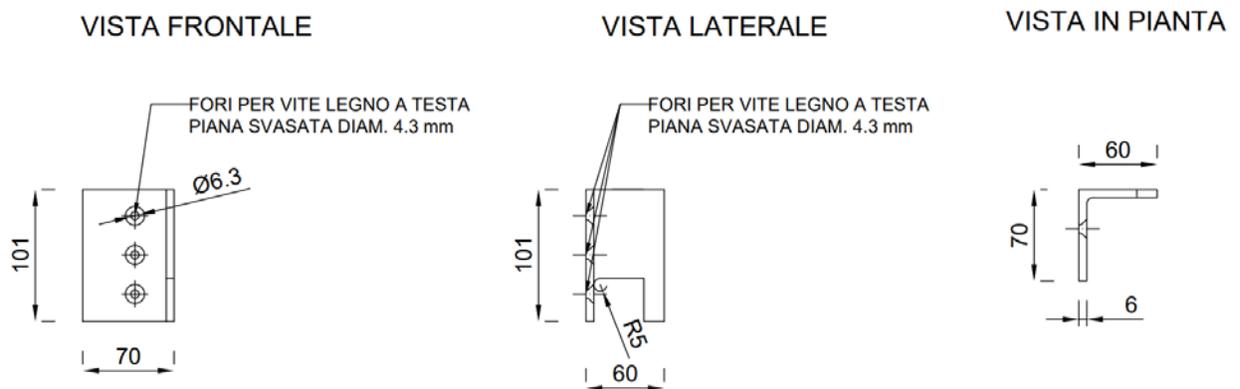
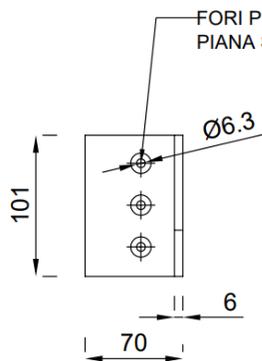
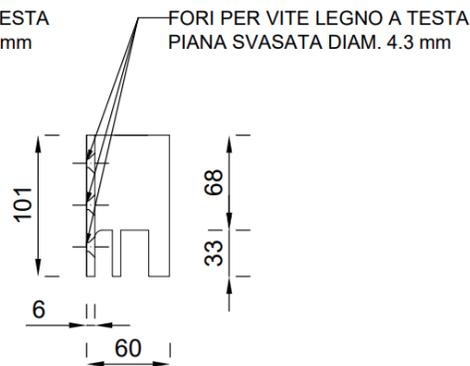


Figura 26: Gancio a C_A1

VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



VISTA IN PIANTA

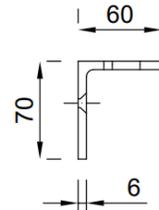
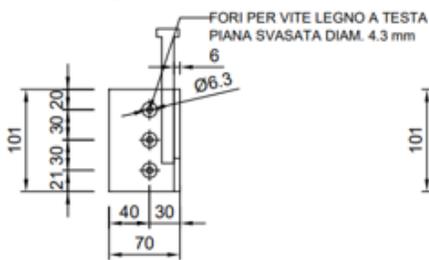
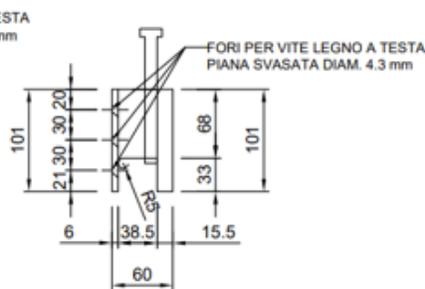


Figura 27: Gancio a U_A2

VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE



VISTA IN PIANTA

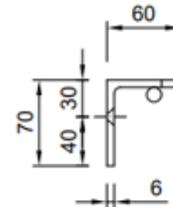


Figura 28: Gancio a C_A3

FORI PER VITE LEGNO A TESTA PIANA SVASATA DIAM. 4.3 mm

FORO FILETTATO PER VITE TESTA ESAGONALE M6

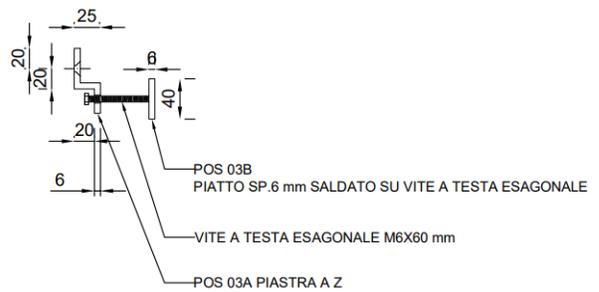
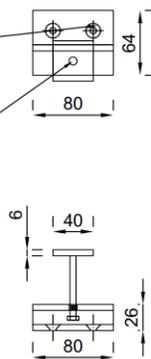
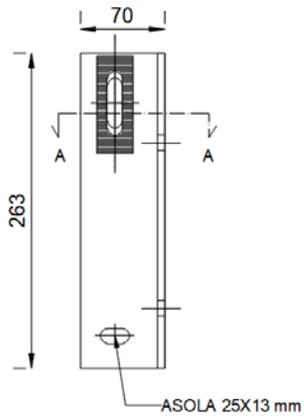
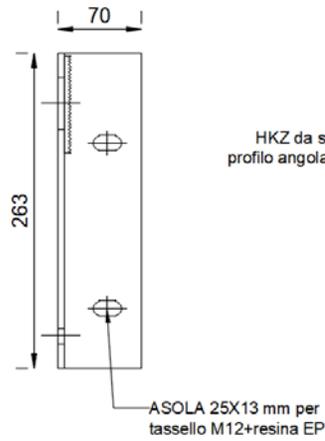


Figura 29: Distanziatore_B1

VISTA LATERALE



VISTA FRONTALE



SEZIONE AA VISTA ORIZZONTALE

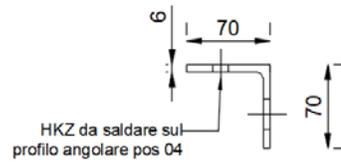
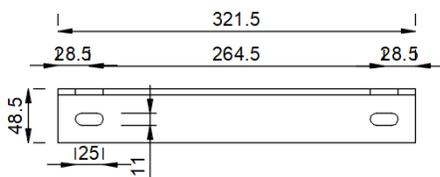
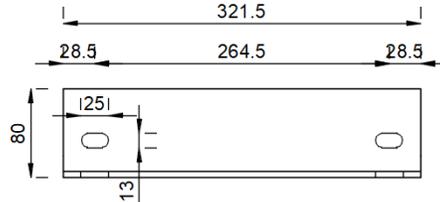


Figura 30: Staffe a L_C1

VISTA DALL'ALTO



VISTA FRONTALE



VISTA LATERALE

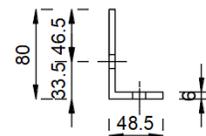


Figura 31: Piastre a L_C2

Per svolgere i test si sono ipotizzate tre configurazioni, che sono riportare di seguito.

Tipologia A: Gancio a C con boccia superiormente e a U inferiormente

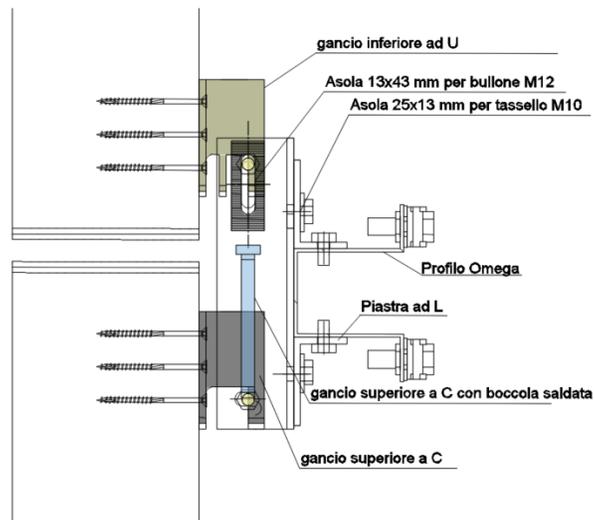


Figura 32: Ancoraggio Tipologia A_ sezione verticale

Tipologia B: Gancio a C con boccola superiormente e gancio a C inferiormente

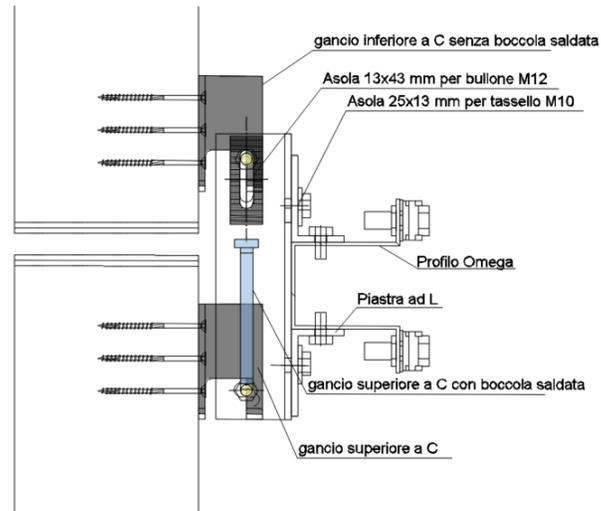


Figura 33: Ancoraggio Tipologia B_ sezione verticale

Tipologia C: Gancio a C con boccola superiormente e gancio a C inferiormente e distanziatori

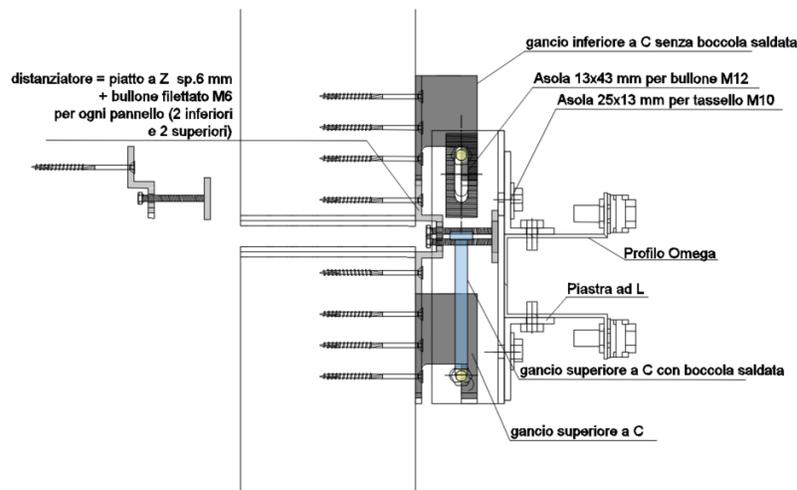


Figura 34: Ancoraggio Tipologia C_ sezione verticale

2.2 Descrizione Laboratorio - Flexilab

Il banco prova outdoor BiPV è realizzato con una struttura a telaio in acciaio con destinazione d'uso di un mock-up di facciata. La struttura è costituita da n. 6 colonne portanti in profili di acciaio doppio T o C laminati a caldo, queste sono fissate, tramite idonei tirafondi, ai plinti in c.a. I traversi sono realizzati con profili di acciaio doppio T laminati a caldo o profili tubolari quadri. In sommità è realizzata una copertura per la protezione dall'acqua.

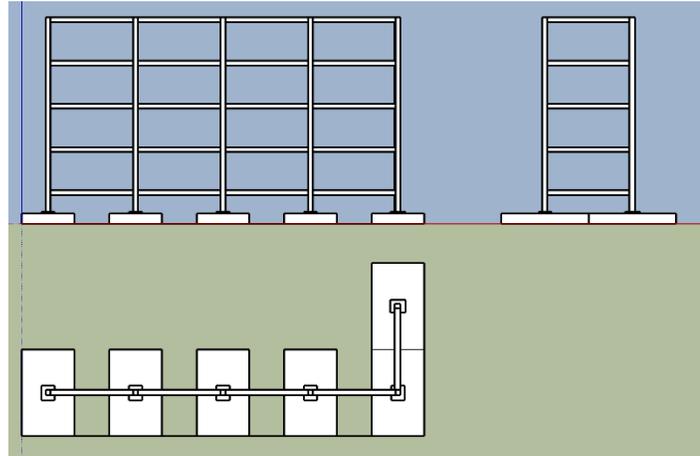


Figura 35 a) Mockup facciata - Eurac Research b) Prospetti e pianta struttura metallica

Tale struttura consente di effettuare prove di montaggio e smontaggio di moduli di facciata, anche con scala 1:1, tale infrastruttura può essere usata per l'integrazione di sistemi fotovoltaici per edifici.

2.3 Descrizione test funzionali

Si prevede di effettuare due prove in modo da poter valutare la facilità, la sequenza, le problematiche e i tempi di installazione dei pannelli passivi; non è previsto l'uso di sensoristica.

Per valutare le tempistiche di attacco e stacco sono state prese più misurazioni in modo da ottenere un valore più realistico, sono previste delle schede da compilare durante l'esecuzione dei test per le varie fasi. Mentre per la facilità di esecuzione è stato richiesto un feedback agli installatori con una valutazione da 1 a 6.

Le prove prevedono una fase di installazione e una fase di smontaggio, è presente una leggera non planarità della superficie, realizzata con l'inserimento di un tassello (Figura 35) tra il sistema di ancoraggio e il profilo ad omega in modo da riprodurre le imperfezioni della superficie esistente. Tale tassello avrà uno spessore diverso tra il profilo ad omega superiore e inferiore del singolo pannello (0 - 10 mm).

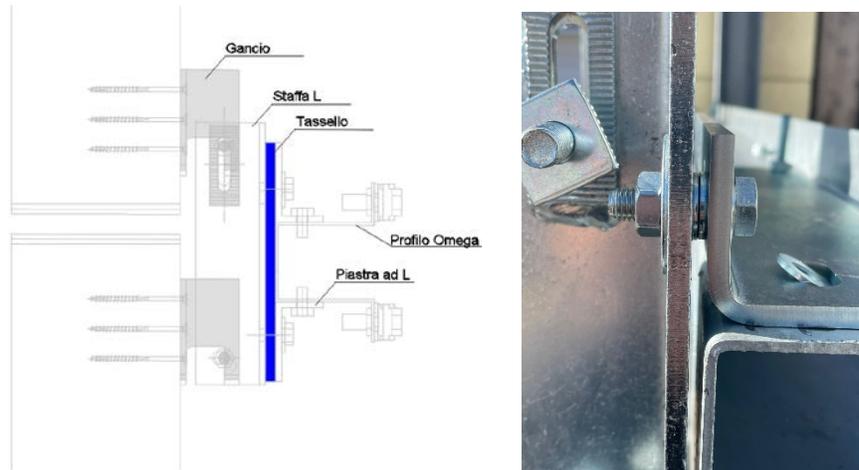


Figura 36: Tassello per non complanarità

La prima prova denominata “**Prova I**” prevede l’installazione dei tre moduli passivi in disposizione verticale, si effettueranno diversi test variando:

- la tipologia di ancoraggio A, B e C
- la sequenza di installazione,
- la sequenza di smontaggio.

Tabella 7: Prova I

Test	Tipologia Ancoraggio	Sequenza Installazione	Sequenza Disinstallazione
I.A.1	A	1 - 2 - 3	modulo 2
I.A.2	A	modulo 2	3 - 2 - 1
I.B.1	B	1 - 2 - 3	modulo 2
I.B.2	B	modulo 2	3 - 2 - 1
I.C.1	C	1 - 2 - 3	modulo 2
I.C.2	C	modulo 2	3 - 2 - 1

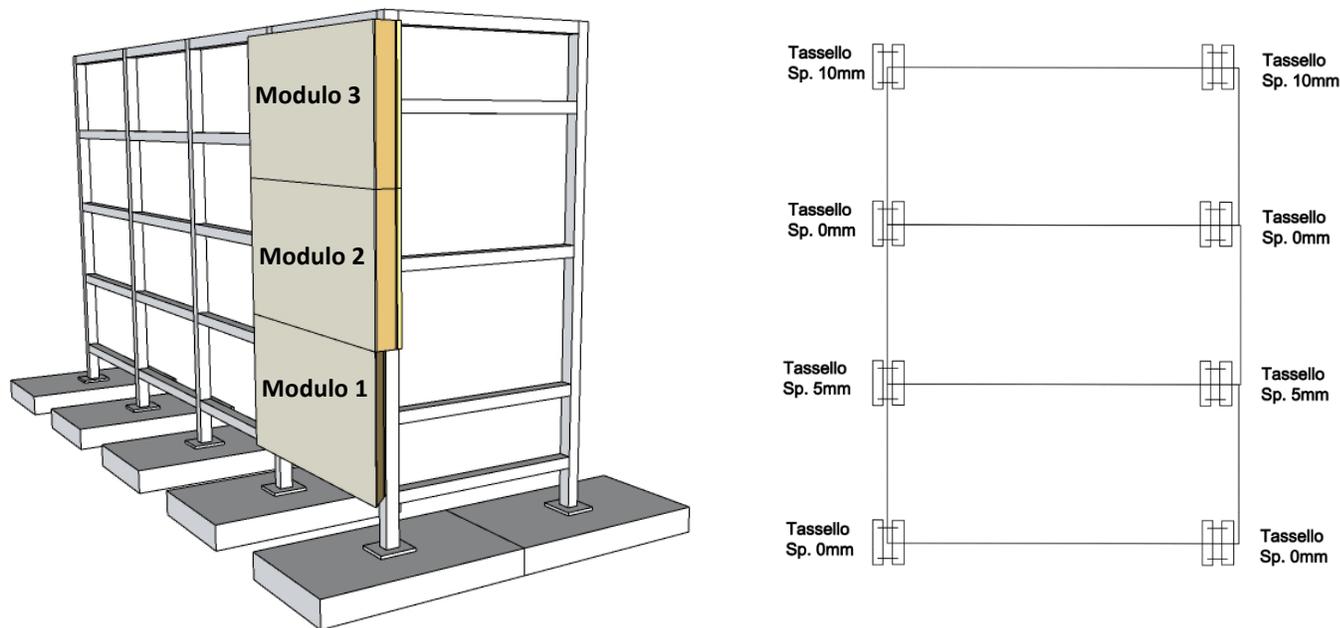


Figura 37: a) Disposizione moduli Prova I b) Spessore tassello per non complanarità

Per problemi di mal funzionamento del gancio a C con boccola, descritto nei paragrafi precedenti, e poiché il gancio a U ha dimostrato avere un buon comportamento sia in termini di installazione che di stabilità del pannello. Si è studiata una sola configurazione del sistema di ancoraggio: configurazione A con l'aggiunta dei distanziatori, composta da un gancio a C senza boccola superiormente e gancio a U inferiormente.

In tale disposizione la direzione longitudinale è regolata dal posizionamento delle staffe metalliche, la direzione trasversale tramite i bulloni orizzontali. Inferiormente il gancio a U fornisce buona stabilità al pannello, poiché questa configurazione ha una minore tolleranza rispetto al gancio a C. I distanziatori vengono inseriti per fornire un'ulteriore regolazione in direzione trasversale e dare maggiore stabilità al pannello evitando rotazioni aggiuntive, che potrebbero non essere limitate dal gancio a C, avendo un gioco maggiore.

Di seguito si riporta una sezione verticale del sistema testato (Figura 37):

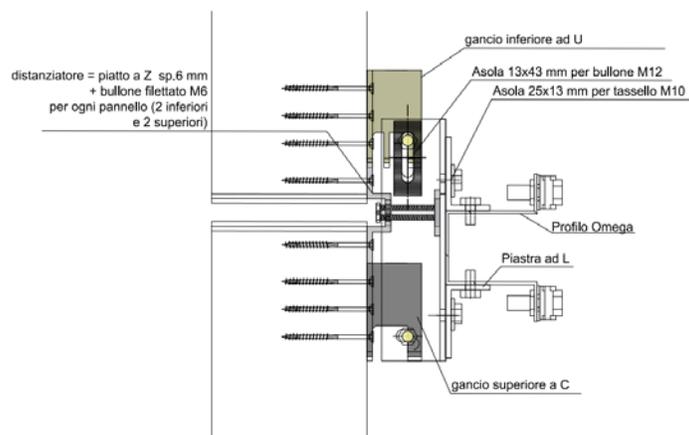


Figura 38: Configurazione testata_ sezione verticale

Il sistema con gancio e boccia saldata grazie alla rotazione del perno interno alla boccia avrebbe permesso una regolazione lungo l'asse verticale del pannello, e quindi mettere in bolla il pannello senza dover smontare e rimontare i ganci. Questo sistema deve risultare compatibile con la direzione delle asole nelle staffe.

La seconda prova, denominata "**Prova II**", prevede l'installazione dei tre moduli passivi in disposizione ad angolo, a differenza della *Prova I*, si sceglie una sola tipologia di ancoraggio, quella che abbia ottenuto migliori prestazioni nella prima prova. Nel caso in esame è scelta la configurazione A con l'aggiunta di distanziatori.

Tabella 8: Prova II

Test	Tipologia Ancoraggio	Sequenza Installazione	Sequenza Disinstallazione
II	A/B/C	1-2-3	1-2-3

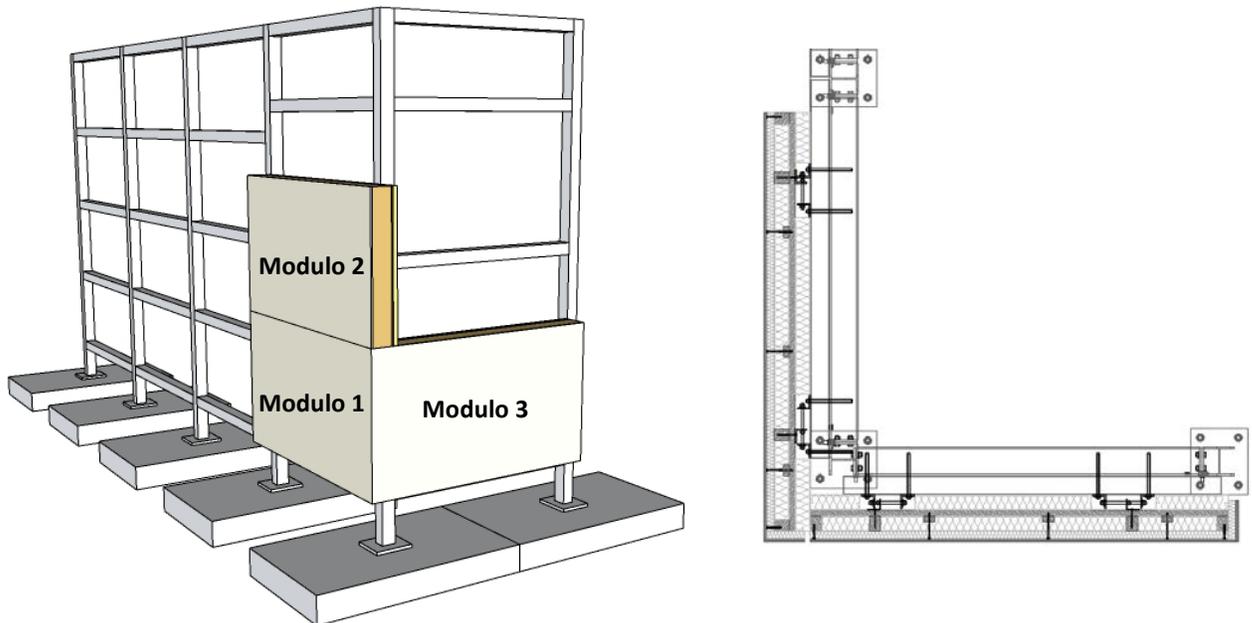


Figura 39: a) Disposizione moduli Prova II b) Vista dall'altro

Di seguito è riportata la sequenza di installazione e di smontaggio.

Le fasi di installazione possono essere riassunte nei seguenti punti:

1. Individuare posizione ancoraggi lato esistete
2. Posizionare ancoraggi lato esistente (staffa a L su profilo ad Omega)



Figura 40: Posizione ancoraggi



Figura 41: Posizione ancoraggi Flexilab

3. Fissaggio ganci e distanziatori nel caso siano presenti sul pannello prefabbricato

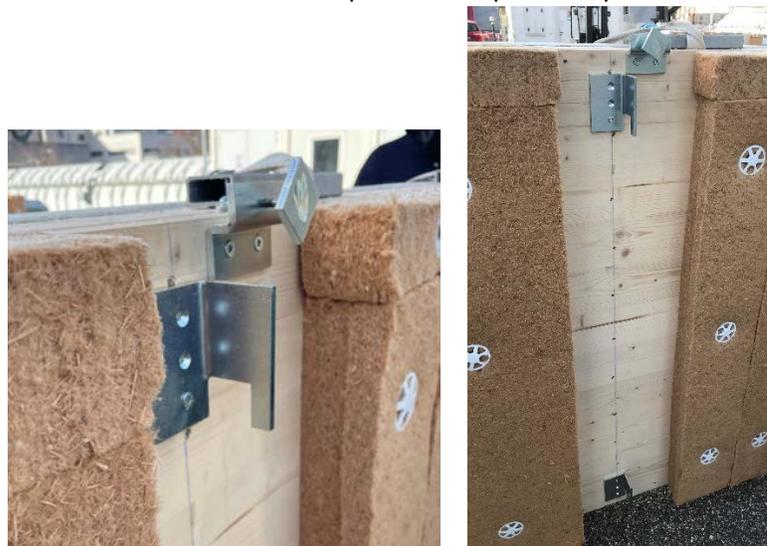


Figura 42: Posizionamento ganci e distanziatori

4. Posizionare nastro isolante espandente, nei giunti orizzontale lungo il lato superiore del pannello
5. Posizionare nastro isolante nei giunti verticali (solo in caso di *Prova II* nel modulo 1)
6. Legare il pannello
7. Sollevare il pannello



Figura 43: Legare il pannello



Figura 44: Sollevare il pannello

8. Installare il pannello dal basso verso l'altro, avendo i ganci superiori e inferiori stesso gioco avvicinare il pannello alla struttura in acciaio e appoggiarlo tutto insieme, in modo da ancorare i quattro angoli contemporaneamente.

9. Regolazione tridimensionale ancoraggio: la direzione longitudinale (direzione x) è regolata grazie all'installazione delle staffe, mentre quella trasversale (direzione y) dai bulloni, nel caso in cui non è presente la planarità provare a regolare la posizione trasversale dei ganci, avendo un gioco di 2cm gancio a U e di 4cm per il gancio a C. È necessario effettuare anche una regolazione dei distanziatori presenti, questi permettono un'ulteriore regolazione trasversale, e maggiore stabilità al pannello. La direzione verticale, nel caso in esame, non può essere regolata; poiché è permessa solo dall'asola verticale superiore presente nella staffa.

Le fasi 4 e 5 per mancanza di tempo non sono state effettuate, poiché il nastro espandente, a causa delle basse temperature, impiega circa una giornata per espandersi.



Figura 45: Bloccaggio ganci



Figura 46: Regolazione distanziatore



Figura 47: Installazione pannelli- configurazione frontale- Prova I



Figura 48: Installazione pannelli - configurazione angolo - Prova II

Le fasi di smontaggio si possono riassumere in:

1. Togliere nastro isolante nei giunti
2. Legare il pannello

3. Sollevare leggermente il pannello
4. Sbloccare gancio dal bullone orizzontale
5. Ribaltare pannello su bancale e bloccare con vite
6. Posizionare il pannello a terra



Figura 49: Fasi di smontaggio pannello centrale

2.4 Descrizione dei risultati – test funzionali

I test sono stati svolti il 20 Dicembre 2021 insieme alla collaborazione dei tecnici di laboratorio Eurac Research e gli operai specializzati dell'azienda Marlegno, produttore dei prototipi.

In Tabella 9 sono riportate le tempistiche delle varie fasi dei test.

Tabella 9: Risultati test

Fasi Installazione

Tempo installazione ancoraggio lato esistente	13min (4staffe+2 bulloni orizzontali)	Strumenti:chiavi Operai: 1 specializzato Facilità installazione: 6 Commenti: mettere in asse le staffe - tolleranze asole
Tempo installazione ganci sui pannelli passivi	10 min (4ganci +4 distanziatori) 5 min (modulo 3 angolo)	Strumenti:muletto - trapano -metro Operai: 2 specializzati - 1 muletto Facilità installazione: 4-5 Commenti: giunto angolo corretto
Tempo necessario per legare il pannello	2 min	Strumenti:muletto - fasce - golfari Operai: 2 specializzati -1 muletto Facilità installazione: 6 Commenti: Pannello legato tramite golfari estremità superiore
Tempo di posa (incluse regolazioni per planarità)	5 min (1 pannello)	Strumenti:muletto - palanchino Operai: 2 specializzati -1 muletto Facilità installazione: 3 Commenti: stabilità del pannello sospeso stata garantita - alcune problematiche potevano essere risolte con boccia filettata che avrebbe permesso la regolazione verticale, metre in questo caso era assente

Fasi smontaggio

Tempo di sbloccaggio pannello - struttura	10 min (1 pannello centrale) 3min (pannello superiore)	Strumenti:muletto - bancale - fasce -palanchino Operai: 2 specializzati -1 muletto Facilità installazione: 5 Commenti: lunghezza denti ganci
--	---	---

Nello svolgere i test sono state riscontrare alcune criticità da parete degli installatori, di seguito elencate:

1. Aumentare/migliorare tolleranza con le asole.
2. Boccia nei ganci avrebbe aiutato la regolazione verticale e “mettere in bolla” il pannello senza dover smontare e rimontare in ganci.
3. Bulloni orizzontali lisci: si elimina attrito e permette di far scorrere il gancio.
4. Forma del gancio non a 90° ma meglio stondato.
5. Direzione asole staffa a L.
6. Ganci più lunghi almeno 1 cm per avere maggior tolleranza.
7. Lunghezza dente del gancio 2 cm essendo il giunto da 3 cm.

8. Distanziatore: elemento quadrato deve avere un comportamento indipendente dal bullone altrimenti può causare problemi nello smontaggio di un pannello nel caso non è disposto nella corretta direzione. Attualmente il quadrato in acciaio ruota insieme al bullone. Il quadrato in acciaio dovrebbe essere in asse con il resto dell'elemento.