

Experimental analysis of different multilayer insulated façade

Graziano Salvalai*

Highlights

The performance of different wall's technologies (ETICS wall and micro-ventilate wall) and insulators was investigated through a monitoring campaign, recording the temperature surface of different wall layers and indoor and outdoor conditions. The campaign has been conducted on two experimental test box during winter and summer seasons. The test comparing walls with similar U value and different thermal capacity.

Abstract

The presented work shows the results of the monitoring campaign conducted on two Cross Laminated Timber (CLT) test box equipped respectively with a micro ventilated facade and a thermal coat technology. Specifically, the experimental work was performed in order to compare the temperature levels of the Isotec® wall micro ventilated facade respect to traditional ETICS, with two different thermal mass, for facade insulation. The results showed that the micro ventilated façade, due to the shielding and air cavity comined effect contributes to reduce the summer heat stress with lower internal heat loads.

Keywords

In situ monitoring campaign, Micro ventilate façade, ETIC façade, Performance comparison

1. INTRODUCTION

Improving the energy performance of buildings is crucial, not only for achieving the objectives set for 2020, but also for achieving the longer-term results included in the roadmap to a low-carbon economy according to 2050 vision [1]. The EU has promoted programs, projects and directives, such as the energy performance of buildings directive [2] and the 2012/27/EU on energy efficiency [3] in order to implement tools, harmonize and shared criteria and technical solutions increasing the energy efficiency of existing and new buildings. In Italy, around 75% of the total energy absorbed by the construction sector is used for the conditioning of buildings (heating and

Graziano Salvalai

DABC - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e dell'ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, Milano, 20133, Italia

* Corresponding author
Tel.: +39-3486937648;
e-mail:
graziano.salvalai@polimi.it

cooling) [4]. The reduction in energy requirements depends, in winter, mainly on the resistive qualities of the opaque envelope, while in the summer on the thermal capacity of the envelope [5]. This aspect has been reiterated, even if in part, by the national legislation in terms of energy efficiency through the introduction of reference values regarding the time shift and the attenuation factor [6]. The response of the envelope to the summer stresses is not easy to determine due to the non-stationary system of the environmental conditions. The following document collects the results of the measurements carried out in an experimental chamber assembled within the “test facility” area of the Brianza Plastica Company located in Carate Brianza (Monza-Brianza). The objective of the work consists on the evaluation of the thermal behavior of a with micro-ventilated facade technology consisting of the ISOTEC® Parete polyurethane foam coupled with fibercement board system compared to traditional insulation technology (thermal coat) characterized by insulator material with different thermal capacities such as expanded polystyrene (EPS) and high density rock wool. The comparison of the different types of wall has been performed keeping constant the thermal resistance (obtained by varying the insulating thicknesses) regarding both the vertical closures and the roof. The measurements shown in the document refer to three specific tests (called in the text as Test 1, Test 2 and Test 3):

- Test 1: East Chamber with ventilated façade system and insulating polyurethane Isotec® wall, West chamber with expanded extruded polystyrene EPS. Observation period: 13 - 28 July 2016, for a total of 236 hours;
- Test 2: East Chamber with a ventilated façade system and insulating polyurethane Isotec® wall, West Chamber with high density mineral wool. Observation period: 7 September - 5 October 2016, for a total of 663 hours.
- Test 3: East Chamber with a ventilated façade system and insulating polyurethane Isotec® wall, West Chamber with high density mineral wool. Ventilation fan and grills for night natural ventilation (ventilation is set from 9 pm to 6 am). Observation period: 17 - 27 June 2017, for a total of 249 hours.

2. STATE OF THE ART

Considering the available market technologies different active and passive materials and techniques can being implemented in the design and construction of buildings increasing their overall energy efficiency by reducing their CO₂ emission. The passive heating concepts are connected mainly to the building

1. INTRODUZIONE

L'efficienza energetica degli edifici è uno dei temi più rilevanti e strategici che si stiano dibattendo in questi anni in ambito nazionale ed europeo. Quasi il 40% del consumo energetico finale (e il 36% delle emissioni di gas serra) deriva da case, uffici, negozi e altri edifici. Il miglioramento della prestazione energetica degli edifici è un aspetto di fondamentale importanza, non solo per il raggiungimento degli obiettivi fissati per il 2020, ma anche per il conseguimento dei risultati, più a lungo termine, con orizzonte al 2050 [1]. La UE si è fatta promotrice di programmi, progetti e direttive, come la 2010/31/UE sul rendimento energetico degli edifici [2] e la 2012/27/UE sull'efficienza energetica [3] al fine di mettere in campo strumenti, criteri e soluzioni armonizzate e condivise sul tema specifico dell'incremento dell'efficienza energetica degli edifici, sia di nuova costruzione che per interventi di riqualificazione. In Italia circa il 75% dell'energia totale assorbita dal settore edile è impiegato per il condizionamento degli edifici (riscaldamento e raffrescamento) [4]. La riduzione del fabbisogno di energia dipende, in fase invernale, dalle qualità resistive dell'involucro opaco mentre in fase estiva dalla capacità termica dei materiali che lo costituiscono e dalla posizione all'interno della soluzione tecnologica adottata [5]. Tale aspetto è stato ribadito, anche se in parte, dalla normativa nazionale in termini di efficienza energetica attraverso l'introduzione di valori di riferimento sia per quanto riguarda lo sfasamento che l'attenuazione dell'onda termica [6]. Il seguente documento raccoglie i risultati delle misure effettuate in un box sperimentale assemblato all'interno dell'area “test facility” dell'azienda Brianza Plastica Spa a Carate Brianza (Monza-Brianza). L'obiettivo del lavoro consiste nella valutazione in opera del comportamento termico di un sistema di chiusura con tecnologia a facciata micro-ventilata costituito dal sistema in poliuretano espanso ISOTEC® Parete rispetto a soluzioni di isolamento “a cappotto” tradizionali caratterizzate dall'uso di materiali isolanti a diversa capacità termica quali il polistirene espanso e lana di roccia ad alta densità. La comparazione dei diversi tipi di involucro è stata eseguita a parità di resistenza termica (ottenuta variando gli spessori isolanti) dell'involucro, sia per quanto riguarda le chiusure verticali che la copertura. Le misurazioni riportate nel documento si riferiscono a tre specifici test:

- *Test 1: Camera Est con sistema a facciata ventilata e isolante in poliuretano Isotec® parete, camera Ovest con polistirene espanso estruso EPS. Periodo di osservazione: 13 – 28 luglio 2016, per un totale di 236 ore;*
- *Test 2: Camera Est con sistema a facciata ventilata e isolante in poliuretano Isotec® parete, camera Ovest con lana minerale ad alta densità. Periodo di osservazione: 7 settembre – 5 ottobre 2016, per un totale di 663 ore;*
- *Test 3 Camera Est con sistema a facciata micro-ventilata e isolante in poliuretano Isotec® parete,*

geometry, orientation and quality of the building elements (windows, walls, and floors) since they have to collect, store, reflect, and distribute solar energy (heat) and keep it as long as possible. The passive cooling strategies in the other way have to reject/extract the heat or store it before it can enter in the internal space. Among different passive cooling strategies the opaque ventilated façades represent an effective solution to prevent the indoor summer overheating with a consequent reduction of the cooling energy demand. In the recent past year the use of ventilated façade has gain a big share of the market considering both new buildings and those under renovation. The performance of the façade is not easy to predict and different studies are presented in literature mainly related to specific application but they represent a useful background for further applications. Different approaches are normally used in ventilated façade technology analysis. Several studies have been demonstrated that ventilated walls can help to reduce the summer thermal loads due to direct solar radiation thanks to the ventilation rate inside the cavity and the shading effect of the external layer [8,12,15]. To characterize the behavior of the ventilated wall some investigations use experimental measurements [7-11] some other numerical methods validated by experimental results [12-17]. This paper reports the results of the experimental study on a micro ventilated facades made up with the Isotec® wall with fiberboard layer and a ventilation cavity of 37 mm. A specific small scale test has been built in Northern Italy in order to monitor the thermal performance of ventilated facades under typical temperate weather conditions. The experimental data was used to analyse the temperature levels of different façade layers showing the heat discharge related to the airflow established within the cavity of the external finishing. The experimental results presented in this paper can contribute to understand the impact of the micro ventilated facade on summer comfort and energy savings.

3. METHODOLOGY

In order to test experimentally the thermal behaviour of micro ventilated façade, a specific test site was built in Carate Brianza, Monza Brianza (Italy) (latitude 45° 41 North, longitude 9° 14 East, altitude 256 m) inside the Brianza Plastica company area. The experimental box is represented by two adjacent modules built with technology based on wood with CLT (Cross Laminated Timber) technology, of the same geometry and with the main axis oriented according to the east-west direction. The load-bearing panels are composed of three layers of mutually crossed and glued wooden boards. The physical and technical quantities of the wooden structure are shown below:

camera Ovest con lana minerale ad alta densità. Ventilatore e bocchette per ventilazione naturale notturna (attivazione programmata dalle 21 alle 6). Periodo di osservazione: 17 - 27 giugno 2017, per un totale di 249 ore.

2. STATO DELL'ARTE

Considerando le tecnologie disponibili sul mercato, nella progettazione e costruzione di edifici possono essere applicati differenti tecniche, attive e passive, al fine di aumentare l'efficienza energetica globale riducendo contemporaneamente le emissioni di CO₂ in atmosfera. I concetti di riscaldamento passivo sono collegati principalmente alla geometria e all'orientamento del volume e alla qualità degli elementi impiegati (tipologia di muratura solai e finestre), i quali devono raccogliere, immagazzinare, riflettere e distribuire l'energia solare (calore) e mantenerla all'interno il più a lungo possibile. In maniera opposta, le strategie di raffrescamento passivo devono contribuire a respingere il l'energia termica (o immagazzinarla) prima che possa entrare nello spazio interno. Tra le diverse strategie di raffrescamento passivo, le facciate ventilate opache rappresentano una soluzione efficace per evitare il surriscaldamento estivo degli ambienti interni con conseguente riduzione del fabbisogno di energia per il raffrescamento. Negli ultimi anni l'uso della facciata ventilata ha guadagnato una grande quota di mercato sia per le nuove costruzioni sia per quelle in fase di riqualificazione. Le prestazioni dei sistemi a facciata non sono facili da prevedere a causa della diversa natura dei diversi strati di cui tipicamente si compongono. In letteratura è possibile, comunque, trovare diversi studi, principalmente relativi ad applicazioni specifiche, che rappresentano un'utile base per ulteriori studi e applicazioni. Precedenti lavori presenti in letteratura hanno dimostrato come e con che efficacia le pareti ventilate possono contribuire a ridurre i carichi termici estivi dovuti principalmente alla radiazione solare diretta [8,12,15]. Per caratterizzarne il comportamento alcune ricerche si sono focalizzate nell'analisi di misure sperimentali [7-11] altri studi, invece, si sono concentrati sullo sviluppo di metodi numerici convalidati successivamente da risultati sperimentali [12-17]. Il seguente articolo, prendendo spunto dallo studio di ricerca precedenti, riporta i risultati delle analisi sperimentali condotte su una facciata micro-ventilata costituita da Isotec® Parete con uno strato esterno costituito da lastre in cemento portland fibrorinforzato applicato a 37 mm di distanza dallo strato isolante. Le analisi sono state eseguite su un edificio test specifico di piccola scala e localizzato in nord Italia, in clima tipico temperato e caratterizzato da estati molto calde. I dati sperimentali sono stati utilizzati per analizzare i livelli di temperatura dei diversi strati della facciata, comparandoli rispetto a soluzioni di facciate isolate tradizionali (tipologia a cappotto tradizionale). I risultati sperimentali presentati in questo documento costituiscono un'utile

- thermal conductivity: 0,13 W/mK;
- coefficient of resistance to vapor diffusion μ : 50;
- density: 550 kg/mc;
- specific heat capacity: 1600 J/kgK;

From the geometrical point of view the two test boxes have a plan surface equal to 5.18 m² while the covering and the wall facing south have a surface respectively equal to 6.6 m² and 4.6 m². The East Box is dedicated to the application and measurement of the performance of micro ventilated façade technology with expanded polyurethane insulation, while in the West Box different insulating materials are applied and tested, including EPS (Test 1) and high density rock wool (Test 2 and Test 3). The figures reported in Figure 1 shows the experimental building under preparation of the Test 1 (on the left side, EPS panels, on the right side panels of Isotec® wall).



Figure 1. Images of the test box in preparation for the test n°1: comparison between EPS insulation, and micro-ventilated façade made with Isotec® parete.

The micro ventilated façade technology is composed applying to the wood structure a panel of Isotec® wall coupled with fiber-reinforced Portland concrete slabs with subsequent mesh and plaster finish. The coat solution, both in the case of EPS insulation (Test 1) and in the solution with rock wool (Test 2 and Test 3), was finished with a plaster and smoothing mesh. Both finishes applied to the test boxes have an emissivity of 0.96. The specific thermal characteristics of the wall solutions (insulation plus wood structure) are shown in Table 1.

Technology	Thickness [mm]	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]	Y _{ie} [W/m ² K]	Φ [h]	fa [-]
CLT+ Polyurethane insulator	220	6.157	0.162	0.066	7.71	0.41
CLT+Eps insulator	260	5.384	0.186	0.076	7.66	0.41
CLT+ Mineral wool insulator	300	6.288	0.159	0.041	11.7	0.26

Table 1. Physical-technical characteristics of the solutions applied on the wall. The volumetric thermal capacity of the materials is as follows: EPS: 13.1 Wh/m³, high density rock wool: 38.6 Wh/m³, Polyurethane: 14.7 Wh/m³.

base per la comprensione delle performance in opera di sistemi di facciata micro-ventilati e, le analisi comparative eseguite, forniscono dei dati utili a facilitare il processo di scelta nella fase di scelta e successiva progettazione.

2. METODOLOGIA

Al fine di testare sperimentalmente il comportamento termico della facciata micro-ventilata, è stata realizzata una zona di prova localizzata a Carate Brianza, Monza Brianza (Italia) (latitudine 45° 41 Nord, longitudine 9° 14 Est, altitudine 256 m) all'interno dell'azienda Brianza Plastica. Il box sperimentale è rappresentato da due moduli adiacenti costruiti con tecnologia a base di legno CLT (Cross Laminated Timber), di uguale geometria e con l'asse principale orientato secondo la direzione est-ovest. I pannelli portanti d'involucro sono composti da tre strati di tavole in legno di conifera reciprocamente incrociati ed incollati. Le grandezze

fisico tecniche della struttura in legno sono di seguito riportate:

- conducibilità termica: 0,13 W/mK;
- coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore μ : 50;
- densità: 550 kg/mc;
- capacità termica specifica: 1600 J/kgK;

Dal punto di vista geometrico le due camere test presentano una superficie in pianta pari a 5,18 m² mentre la copertura e la parete rivolta a sud presentano una superficie rispettivamente pari a 6,6 m² e 4,6 m². La Camera Est è dedicata all'applicazione e alla misura delle



Figure 2. Picture of the three tested wall. Left: Polyurethane foam Isotec® Parete; Center: EPS panel; Right: double panel in high density rock wool.

The Figure 2 shows the schematic sections of the tested wall solutions. The measurement of the performance of the insulation systems was carried out using sensors able to detect the precise surface temperature level of the wall materials as well as the internal and external environmental conditions.

prestazioni della tecnologia di facciata micro-ventilata con isolamento in poliuretano espanso mentre nella Camera Ovest sono applicati e testati materiali isolanti differenti, tra cui EPS (Test 1) e lana di roccia ad alta densità (Test 2 e Test 3). Le immagini di Figura 1 mostrano l'edificio

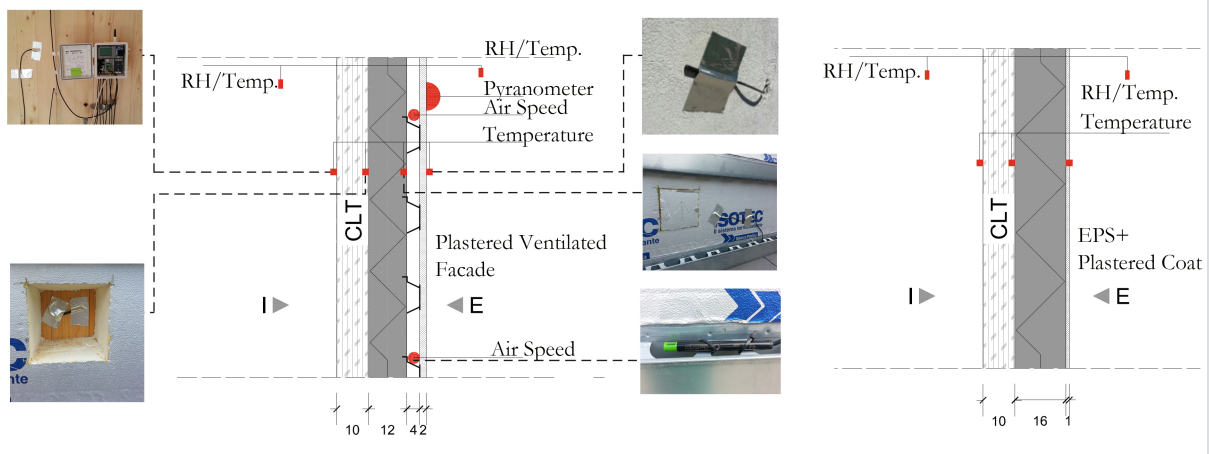


Figure 3. Schematic section with identification of the installed sensors.

Specifically, with regard to vertical closure to the south, several thermocouples were inserted between each material interfaces in order to check the temperature levels at different depths (Figure 3). The behavior of the ventilated cavity was, instead, investigated through the positioning of two hotwire anemometers, one at the base and one at the top of the wall, at a reciprocal distance of two meters, in order to check the velocity of the air flow. The external environmental conditions have been detected by means of a thermohygrometer, for measuring the temperature and humidity of the air, and a pyranometer, positioned in adherence to the south façade, to measure the global solar radiation on the vertical surface. The sensors are connected to two data logger connected via web.

sperimentale in fase di allestimento del Test 1 (sul lato sinistro pannelli in EPS, sul lato destro pannelli in poliuretano Isotec® parete). Nel caso della soluzione con facciata micro-ventilata, la finitura superficiale è stata eseguita applicando lastre in cemento portland fibrorinforzate con successiva rete e finitura ad intonaco. La soluzione a cappotto, sia nel caso di isolante EPS (Test 1) che nella soluzione con lana di roccia (Test 2 e Test 3), è stata rifinita con rete porta intonaco e rasante. Entrambe le finiture applicate sulle camere test presentano un'emissività pari a 0,96. Le caratteristiche termiche specifiche delle soluzioni murarie (isolamento e struttura in legno) sono riportate in Tabella 1. La Fig. 2 riporta le sezioni schematiche delle soluzioni di parete testate. La misura in opera delle prestazioni dei sistemi isolanti è stata condotta attraverso strumenti e sensori in grado

4. RESULTS

The results are reported separately according to the test performed and in terms of comparison between investigated solutions. In the case of the microventilated solution, on clear sky days characterized by high air temperatures (34°C) and with maximum sola radiation on the vertical surface of more than 450 W/m², the combined effect of the outer screen layer and the ventilation cavity (with chimney effect) allows a reduction in temperatures of the external surface of the insulation layer (48.07 °C), with a reduction of about 8 °C with respect to the temperature level of the outer layer (56.01 °C) (Figure 4).

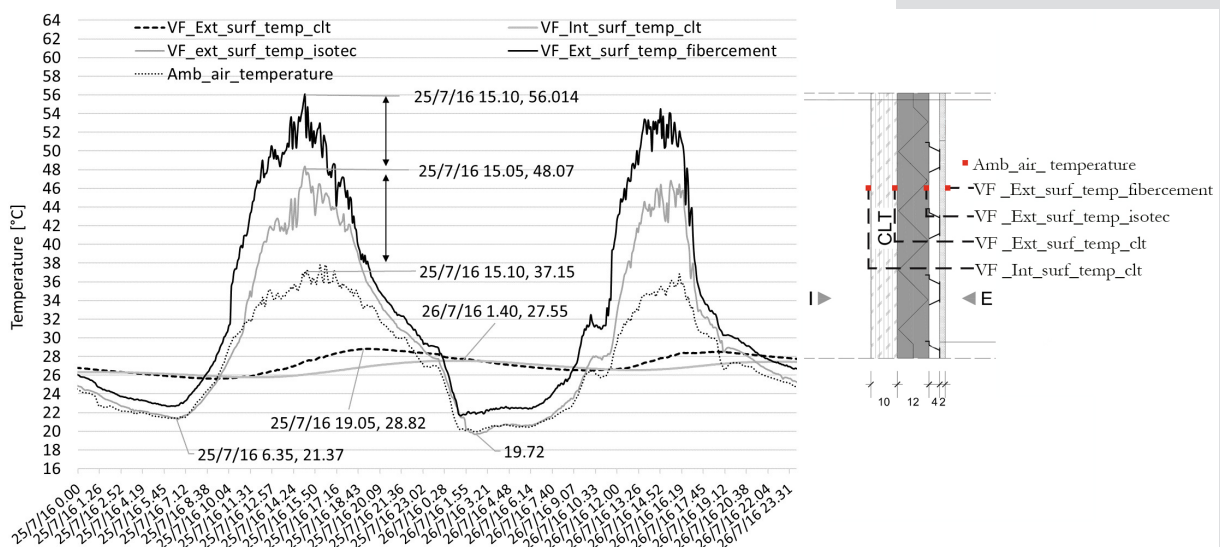


Figure 4. Technological solution with micro ventilated façade.
Surface temperature levels of the wall layers. Time of recording: 25-27 July 2016.

The thermal insulation (polyurethane foam) behind the air cavity contributes, as expected, to a further reduction in the surface temperature level of the subsequent layer represented by the wood wall. At this point the measured temperature level is equal to 28.82 °C. In addition to attenuating the thermal wave (with an attenuation factor equal to 0.2), the insulation layer allows a phase shift (Θ) of about 4 hours and 30 minutes, determining the maximum thermal load in the evening hours, a time in which the ambient temperature level can be suitable used for high effect natural ventilative cooling. During the night hours the release of the thermal energy and the consequent reduction of the temperatures of the two outer layers (concrete slab and polyurethane insulation) occurs simultaneously and with the same intensity reaching the minimum level between 1 and 3 am (according to the Figure 5, in July 26, the minimum surface temperature of the polyurethane insulation was recorded at

di rilevare le condizioni puntuali di temperatura superficiale dei materiali impiegati nonché le condizioni ambientali interne ed esterne.

Nello specifico, per quanto riguarda la chiusura verticale a sud, sono state inserite delle termocoppie ad ogni cambio di materiale al fine di verificare i livelli di temperatura alle diverse profondità (Figura 3). Il comportamento della cavità ventilata è stata, invece, indagata attraverso il posizionamento di due anemometri a filo caldo, uno alla base ed uno in sommità della parete, a distanza reciproca di 2 metri, al fine di verificare l'intensità del flusso d'aria. Le condizioni ambientali esterne sono state rilevate attraverso un termoisgrometro, per la misura della temperatura e dell'umidità dell'aria, ed un piranometro, posizionato in aderenza alla facciata sud, per la

misura della radiazione solare globale sul piano verticale. I sensori sono collegati a due centrali di raccolta ed elaborazione dati connesse via web.

4. RISULTATI

I risultati sono riportati separatamente in funzione del test eseguito ed in termini di confronto tra le soluzioni tecnologiche indagate. Nel caso della soluzione micro-ventilata, in giornate serene caratterizzate da elevate temperature dell'aria e con radiazione massima sulla superficie verticale superiore a 450 W/m², l'effetto combinato dello strato protettivo esterno e della camera di ventilazione determina una riduzione delle temperature dello strato di isolante sottostante facendo registrare temperatura massime dello stesso pari a 48.07 °C, con una riduzione di circa 8°C rispetto alla temperatura dello strato esterno (pari a 56.01 °C) (Figura 4).

La presenza dello strato isolante in poliuretano retrostante l'intercapedine concorre, come

2:35 am). This behavior demonstrates that the presence of ventilated cavity favors the discharge of absorbed energy with a consequent reduction in the temperature levels of the insulation layer. The micro ventilated solution with shows, moreover, a temporal delay of the propagation of the thermal wave towards the wall with a difference of about two hours respect to the EPS wall (Figure 5).

aspettato, in un'ulteriore riduzione della temperatura superficiale del layer successivo rappresentato dalla parete di CLT. In tale punto il livello di temperatura rilevato è pari a 28.82 °C. Il rivestimento isolante oltre ad attenuare l'onda termica (con un fattore di attenuazione pari a 0.2) permette uno sfasamento (Θ) di 4 ore e 30 minuti determinando il massimo carico termico nelle ore serali, periodo in cui la temperatura ambientale

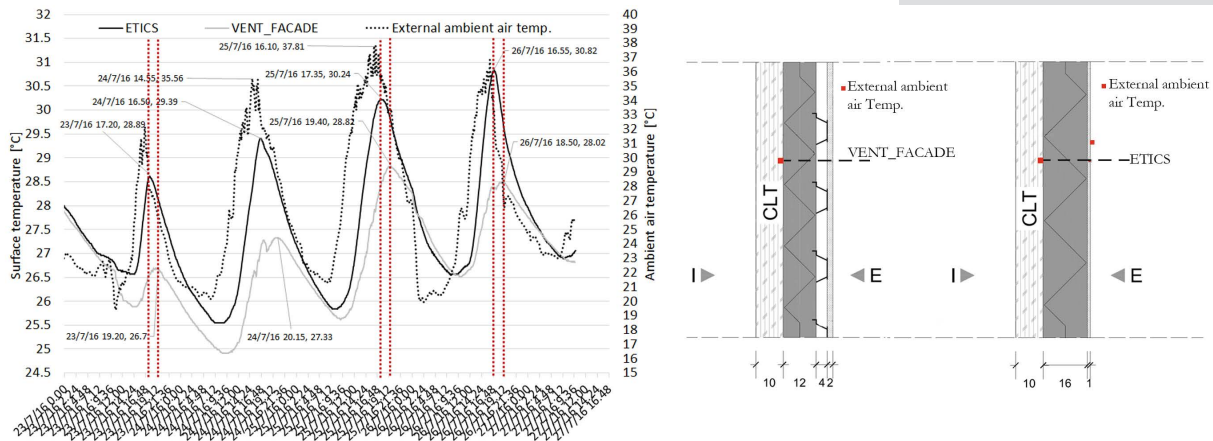


Figure 5. Comparison of the temperature levels measured on the inner surface of the East box 's insulation compared to the levels measured on the west box. Recorded time: 22 - 25 July 2016.

The positive effect of the ventilation box is also qualitatively and quantitatively evident in the infrared image of the Figure 6 taken in a frontal position with respect to the south facade. In fact, the east side of the text box shows a temperature level of 4-5 °C lower than which one recorded on the west text box.

esterna può essere utilizzata per raffreddare attraverso un ricambio dell'aria con ventilazione naturale. Durante le ore notturne il rilascio dell'energia termica e la conseguente riduzione delle temperature dei due strati esterni (lastra in cemento ed isolante in poliuretano) avviene

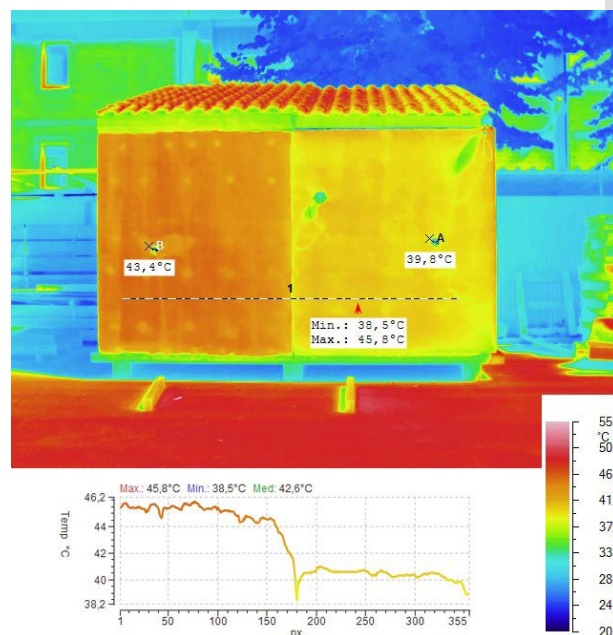


Figure 6. Analysis through Flir T640 thermal camera. Radiometric image. Comparison of the surface temperature levels of the southern face recorded on August 3rd at 10:31 (ambient relative humidity 50%, ambient air temperature 29.4 °C).

The lower temperature level registered in the micro ventilated facade is due to chimney effect of the air cavity behind the fibercement layer. The Figure 7 shows the correlation between the air velocity and the solar radiation.

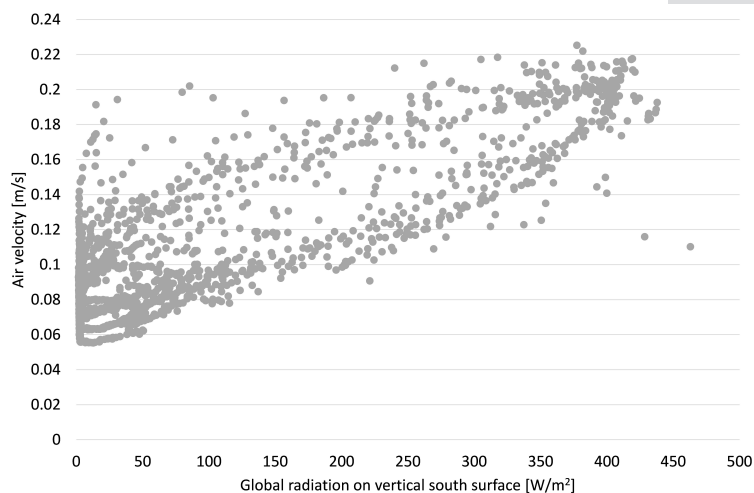


Figure 7. Analysis through Flir T640 thermal camera. Radiometric image. Comparison of the surface temperature levels of the southern face recorded on August 3rd at 10:31 (ambient relative humidity 50%, ambient air temperature 29.4 ° C).

The Test 2 allowed the comparison of the micro ventilated facade solution with the coat solution characterized by high density mineral wool insulation ($\rho=135 \text{ kg/m}^3$, three times more than that of the polyuretane foam $\rho=35 \text{ kg/m}^3$). The reported data refer to the week between September 7th and September 15th, characterized by typical summer temperatures and with maximum average global radiation levels in the vertical plane equal to 600 W/m^2 . As shown in the graph in Figure 8, the presence of the protection screen and of the ventilated cavity determines the reduction of the temperature levels in the wall layers behind the screen compensating, in part, the difference in thermal inertia of the insulating material. Analyzing the temperature level of the interface layer between the insulation and the load bearing structure in CLT, it is observed that the phase shift of the thermal wave is constant for both solutions and equal to 3.5 hours. The attenuation of the peak temperature, on the other hand, is slightly greater in the case of the rock wool solution with however limited differences between 0.40 and $0.60 \text{ }^\circ\text{C}$.

The Test 3 analyses the same envelope configuration of the Test 2, considering in addition, the effect of the night ventilation on the internal temperature levels. As shown in the Figure 9 the two experimental box were equipped with two commerciale ventilation extractor fan with a constant flow rate of $70 \text{ m}^3/\text{h}$ activated from 9 pm to 6 am. The Fans have been installed on the top of the north facades and the air grill on the bottom to take advantage of the displacement ventilation.

contemporaneamente e con la stessa intensità raggiungendo il livello minimo tra l'una e le tre di notte (nel caso del 26 luglio la temperatura minima superficiale dell'isolante in poliuretano è stata registrata

alle ore 2:35). Tale comportamento dimostra che la presenza della micro ventilazione favorisce lo scarico di energia dell'intercapedine con conseguente riduzione dei livelli di temperatura dell'isolante. La soluzione micro-ventilata con poliuretano mostra, inoltre, un ritardo temporale della propagazione dell'onda termica attraverso la parete maggiore rispetto alla soluzione in EPS, con una differenza di circa 2 ore (Figura 5).

L'effetto positivo della camera di ventilazione è evidente nell'immagine termica riportata in Figura 6 scattata in posizione frontale rispetto al prospetto sud. La porzione ad est presenta, infatti, una temperatura in media più bassa di $4\text{-}5^\circ\text{C}$ rispetto alla porzione ovest del box sperimentale.

Il livello di temperatura più basso registrato nella facciata micro-ventilata è dovuto all'effetto camino dell'intercapedine d'aria dietro lo strato di fibrocemento. La Figura 7 mostra la correlazione tra la velocità dell'aria e la radiazione solare globale sulla superficie verticale sud.

Il Test 2 ha permesso il confronto della soluzione a facciata micro-ventilata con la soluzione a cappotto caratterizzata da isolante in lana minerale ad alta densità ($\rho = 135 \text{ kg/m}^3$, tre volte maggiore rispetto al poliuretano $\rho = 35 \text{ kg/m}^3$). I dati riportati si riferiscono alla settimana compresa tra il 7 ed il 15 settembre caratterizzata da temperature tipicamente estive e con livelli di radiazione globale media massima sul piano verticale pari a 600 W/m^2 . Come riportato nel grafico di Figura 8 la presenza dello schermo di protezione e della retrostante ventilazione determina la riduzione dei livelli di temperatura nei diversi strati di parete compensando, in parte, la differenza di inerzia termica

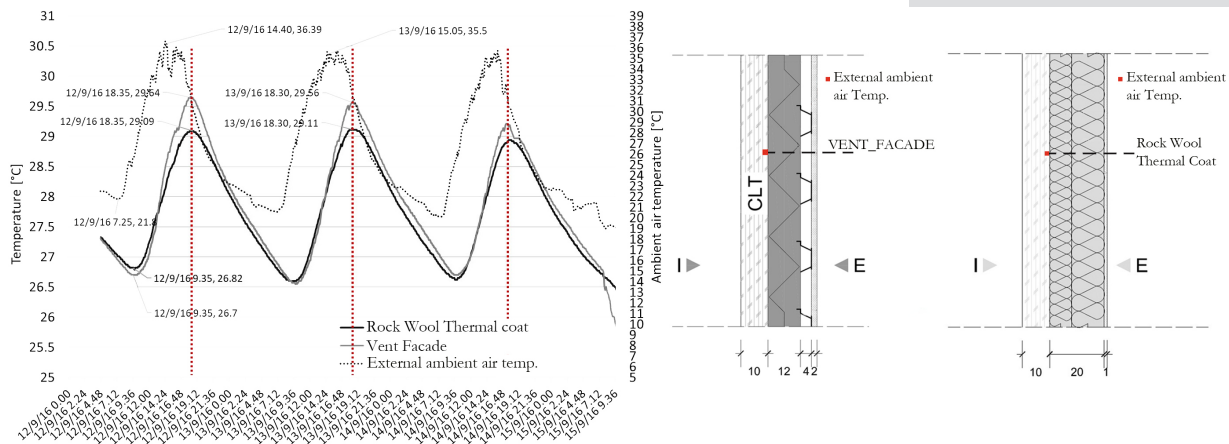


Figure 8. Comparison of the temperature levels measured on the inner surface of the East box 's insulation compared to the levels measured on the west chamber. Recorded time: 12 - 15 September 2016.



Figure 9. North façade of the test box. The white elements on the façade represent the ventilation extract fans and the ventilation grilles. The Test 3 was set to analyze the night ventilation effect on the two analyzed envelope technologies.

The Figure 9 shows the trend of the hourly values of the internal air temperature. The data referred on two days (18-19 of June) characterized by typical summer air ambient temperature and high solar radiation. Considering the recorded results the temperature trend of the two walls looks similar: the two walls shows an equal time lag (of the temperature peak) of about 8 h and an attenuation factor between 0.25 and 0.30.

Observing the temperature level during the night, when the natural ventilation is activated, the micro ventilated facade shows a faster temperature reduction respect to that observed in the box with high density rock wool. The minimum temperature level is recorded in the early morning reaching for both the box the same temperature level. When the ventilation stops the box equipped with the high density insulator shows a sudden increase of the internal air temperature due to higher heat capacity.

del materiale isolante. Analizzando il livello di temperatura dello strato di interfaccia tra isolante e struttura portante in CLT, si osserva come lo sfasamento dell'onda termica risulti costante per entrambi le soluzioni e pari a 3.5 ore. L'attenuazione risulta, invece, leggermente maggiore nel caso della soluzione con lana di roccia con differenze comunque limitate e comprese tra 0.40 e 0.60°C.

Il Test 3 analizza la stessa configurazione d'involucro applicato al Test 2, considerando, in questo caso però, anche l'effetto della ventilazione notturna sui livelli di temperatura interna. Come mostrato in Figura 9, i due box sperimentali sono stati dotati di due aspiratori (ventilatori) commerciali con portata costante di 70 m³/h attivati dalle ore 21.00 fino alle 6.00. Le ventole sono state installate sulla parte superiore delle facciate nord e la griglia di aerazione sulla parte inferiore per trarre vantaggio da una ventilazione del tipo a dislocamento per il completo lavaggio del locale.

La Figura 10 mostra l'andamento dei

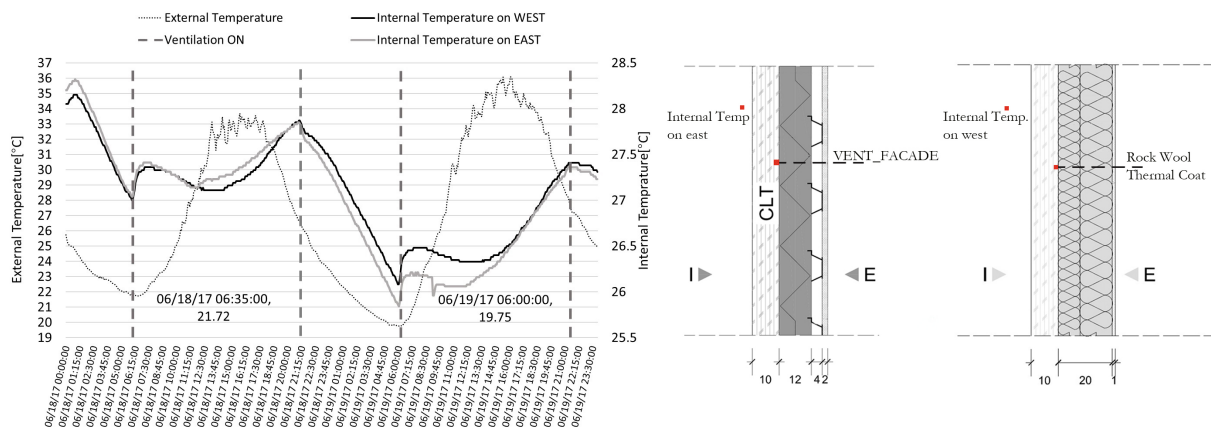


Figure 10. Comparison of the surface temperature measured on the internal surface of the East box's insulation and on the internal surface of the West box with ventilation on summer night. Recorded time: 18-19 June 2017.

5. CONCLUSIONS

The use of the ventilated walls is becoming more and more diffuse, but their application requires a careful design. The different experimental test has been carried out in order to compare the effect different wall technologies. Considering the results the micro ventilated wall is an alternative solution to the “thermal coat”, allowing to decrease the wall temperatures level during the cooling period. The following paragraph reports in synthesis the results of the experimental measurements carried out on an experimental chamber equipped with three different wall solutions. From the analysis of the data the following main considerations have been derived:

- the technological system of micro ventilated facade allows an average attenuation factor (fa) ranging from 0.2-0.3 and a time shift is higher than 10 hours;
- the external protective screen of the micro ventilated solution causes a reduction in the surface temperatures of the insulating layer between 10-12 °C on average (on days with global radiation in the vertical plane greater than 500 W/m²);
- the airspeed of the air gap varies (with liner correlation) according to the solar radiation intensity. The maximum air velocity is equal to 0.2 m/s (with air flow rates of the cavities ranging from 0.35 and 1.5 l/s).
- the micro ventilated solution, thanks to both the scree layer and the ventilated cavity effect, increases the phase shift of the thermal wave. Considering the inner surface temperature of the insulation layer, the maximum temperature is reached after two hours compared to the solution with EPS insulation;
- the Test 2 shows a similar thermal behaviour of the micro ventilated façade

valori orari della temperatura dell'aria interna. I dati si riferiscono a due giorni (18-19 giugno) caratterizzati da una tipica temperatura estiva e da un'elevata radiazione solare. Considerando l'andamento dei livelli di temperatura registrati le due dimostrano un comportamento molto simile: sono stati registrati, infatti, uguali livelli di sfasamento e attenuazione dei picchi di temperatura con valori rispettivamente pari a circa 8 (sfasamento temporale) e tra 0,25 e 0,30 (attenuazione). Osservando l'andamento della temperatura durante il periodo notturno, quando cioè la ventilazione naturale risulta attivata, la facciata micro-ventilata mostra una riduzione di temperatura più rapida rispetto a quella osservata nella camera test isolata con la lana di roccia ad alta densità. La minima temperatura viene registrata nelle prime ore del mattino, con valori pressoché identici per entrambi i box. È interessante notare che, quando la ventilazione si interrompe (6:00 del mattino), il box dotato di isolamento ad alta densità mostra un improvviso aumento della temperatura interna del box dovuto ad una maggiore capacità di accumulo di calore del materiale stesso.

5. CONCLUSIONI

L'utilizzo della tecnologia di parete a facciata ventilata per la costruzione di edifici, sia di nuova costruzione che di riqualificazione, risulta in crescente diffusione. Tuttavia come già evidenziato la loro applicazione richiede un'attenta progettazione al fine di stimarne correttamente i costi benefici. A tale supporto, le prove sperimentali presentate, sono state effettuate per fornire dati utili al progettista a supporto del processo decisionale. Considerando i risultati riportati nel documento, la parete micro-ventilata risulta sicuramente una valida alternativa al “cappotto termico” evidenziando, a parità di proprietà resistive della parete stessa, un miglior comportamento ai carichi termici estivi. Il paragrafo seguente riporta in sintesi i risultati delle misurazioni sperimentali effettuate. Dall'analisi dei dati sono state tratte le seguenti considerazioni principali:

respect to the high density thermal coat. The presence of the protective screen and the air cavity of the micro ventilated façade compensates the effect of a lower thermal capacity of the thermal insulation.

- the micro ventilated facade and the high density rock wool thermal coat solution show a similar attenuation factor, ranging respectively from 0.2 to 0.3 (micro ventilated façade) and 0.15-0.25 (rock wool thermal coat).

6. REFERENCES

- [1] European Commission. 2012. Roadmap 2050. Policy: 1–9. doi:10.2833/10759.
- [2] EU. 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union: 13–35. doi:10.3000/17252555.L_2010.153.eng.
- [3] European Parliament. 2012. Directive 2012/27/EU. Official Journal of the European Union L315/1: 1–56. doi:10.3000/19770677.L_2012.315.eng.
- [4] Enea. 2014. Rapporto Annuale Efficienza energetica (RAEE). Igarss 2014. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [5] Němeček, Martin, and Miloš Kalousek. 2015. Influence of thermal storage mass on summer thermal stability in a passive wooden house in the Czech Republic. *Energy and Buildings* 107: 68–75. doi:10.1016/j.enbuild.2015.07.068.
- [6] Ministero dello Sviluppo Economico. 2015. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.
- [7] Sanjuan C., José Suárez M., Blanco E., del Rosario Heras M. 2011. Development and experimental validation of a simulation model for open joint ventilated facades. *Energy and Buildings* 43. doi: 10.1016/j.solener.2011.04.028
- [8] Seferis, P., Strachan, P., Dimoudi, A., Androutopoulos, A., Investigation of the performance of a ventilated wall. *Energy Buildings* 43: 2167–2178. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.04.023.
- [9] Buratti, C., Palladino, D., Moretti, E., Di Palma R. Development and optimization of a new ventilated brick wall: CFD analysis and experimental validation. *Energy and Buildings* 168: 284–297. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.03.041.
- [10] Serra, V., Zanghirella, F., Perino, M., Experimental evaluation of a climate facade: energy efficiency and thermal comfort performance, *Energy Buildings* 42: 50–62. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.07.010.
- [11] Stazi, F., F. Tomassoni, A. Vegliò, and C. Di Perna. 2011. Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy* 36: 3373–3385. doi:10.1016/j.renene.2011.05.016.
- [12] Sanjuan, C., Suárez M., J., Gonzalez, M., Pistono, J., Blanco E. Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity façade. *Solar Energy* 85: 1851-1863. doi:10.1016/j.solener.2011.04.028
- [13] Marinoscia, C., Strachan P.A., Semprinia G., Morinia, G.L. Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen façade building. *Energy and Buildings* 43: 853-863. Doi: 10.1016/j.enbuild.2010.12.005
- [14] De Gracia, A., Castell, A. Navarro, L. Oró, E., Cabeza, L.F. Numerical modelling of ventilated facades: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 22: 539–549. doi: 10.1016/j.rser.2013.02.029.
- [15] Ciampi, M., Leccese, G., Tuoni, G., Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy* 75: 491-502. doi:10.1016/j.solener.2003.09.010.
- [16] Guillén, Ignacio, Vicente Gómez-Lozano, José María Fran, and P. Amparo López-Jiménez. 2014. Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype. *Energy and Buildings* 79: 184–190. doi:10.1016/j.enbuild.2014.05.006.
- [17] Marinosci C., Strachan, P.A., Semprini, G., Morini, G.,L. Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen facade building. *Energy and Buildings* 43: 853-863. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.12.005.

- Il sistema tecnologico della facciata micro-ventilata permette un fattore medio di attenuazione (fa) che va da 0.2-0.3 e sfasamento superiore alle 10 ore;
- Lo schermo protettivo esterno presente nella soluzione micro-ventilata provoca una riduzione della temperatura superficiale dello strato isolante compreso tra 10-12 °C in media (nei giorni in cui la radiazione globale sul piano verticale è superiore a 500 W/m²);
- La velocità dell'aria nell'intercapedine varia (con correlazione lineare) a seconda dell'intensità della radiazione solare. La velocità massima dell'aria è pari a 0.2 m/s (con portate d'aria delle cavità comprese tra 0.35 e 1.5 l/s).
- La soluzione micro-ventilata, grazie allo strato dello schermo e all'effetto della cavità ventilata, aumenta lo sfasamento dell'onda termica. Considerando la temperatura superficiale interna dello strato isolante, la temperatura massima registrata nella soluzione micro-ventilata viene raggiunta dopo due ore rispetto alla soluzione con isolamento in EPS;
- Il test 2 mostra un comportamento termico della facciata micro-ventilata simile a quello del cappotto termico ad alta densità. La presenza dello schermo protettivo e dell'intercapedine d'aria della facciata micro-ventilata compensa l'effetto di una minore capacità termica dello strato isolante applicato.
- La facciata micro-ventilata e la soluzione di rivestimento termico in lana di roccia ad alta densità presentano un fattore di attenuazione simile, con intervalli rispettivamente da 0,2 a 0,3 (facciata micro-ventilata) e da 0,15 a 0,25 (cappotto termico in lana minerale).