

Francesco Asdrubali^{1*}, Luca Evangelisti¹, Claudia Guattari¹, Arianna Marzi¹, Marta Roncone¹

Monitoraggio e simulazione dinamica di un edificio pilota dotato di tetto verde

Monitoring and dynamic simulation of a pilot building equipped with a green roof

¹ Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi Roma TRE, Roma, Italia

*Corresponding author:

Prof. Francesco Asdrubali

Dipartimento di Ingegneria
Università degli Studi Roma TRE
via Vito Volterra 62, 00146, Roma
francesco.asdrubali@uniroma3.it
+390657336487

DOI: 10.36164/AiCARRJ.59.06.04

Sommario

La realizzazione di *Edifici a energia Zero* (ZEBs) e *Quasi Zero* (nZEBs) è oggi possibile sia ricorrendo alla progettazione "ex novo", sia attuando profondi interventi di riqualificazione delle costruzioni esistenti mediante l'impiego di strategie attive e passive.

In particolare, tra i sistemi passivi, i *tetti verdi* possono essere considerati una soluzione efficace poiché permettono di ottenere risparmi energetici non trascurabili, contrastando inoltre il fenomeno "isola di calore urbana".

In questa ricerca è stato studiato un sistema *tetto verde* analizzando gli scambi termici coinvolti, quantificati grazie all'installazione di un'apposita strumentazione di misura, quali sonde di temperatura superficiale, sonde di temperatura dell'aria e piastre termoflussimetriche.

Confrontando le prestazioni del sistema *tetto verde* con il tetto tradizionale, è stato possibile definire due diversi comportamenti dal punto di vista termico, evidenziando nella soluzione con copertura verde i vantaggi dovuti a una maggiore inerzia termica e a una trasmittanza termica inferiore, oltre a un maggiore risparmio energetico e a migliori condizioni di comfort interno per gli occupanti dell'edificio.

Parole chiave:

- ▶ Tetto verde
- ▶ Isola di calore urbana
- ▶ Edifici a energia Zero (ZEBs)
- ▶ Edifici a energia quasi Zero (nZEBs)
- ▶ Scambi termici

Abstract

Nowadays, Zero Energy Buildings (ZEBs) and Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) can be achieved on one hand through the new construction, on the other hand, by implementing significant retrofit interventions on the existing buildings, both by means of active and passive strategies.

In particular, among the existing passive strategies, green roofs can be considered an effective solution leading to not negligible energy savings, also countering the urban heat island phenomenon. In this research a green roof system was analyzed by studying its thermal behavior through an appropriate measurement setup, such as surface temperature probes, air temperature probes and heat flow meter plates.

Comparing the thermal performance of the green roof to the traditional one, the advantages of this system in terms of thermal inertia and thermal transmittance were highlighted, as well as higher energy savings and better indoor thermal conditions for building users.

Keywords:

- ▶ Green roof
- ▶ Urban Heat Island (UHI)
- ▶ Zero Energy Buildings (ZEBs)
- ▶ Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs)
- ▶ Heat exchanges

Introduzione

Nell'ultimo secolo, a causa del continuo incremento del surriscaldamento globale, il fenomeno isola di calore urbana si è fortemente intensificato. Definita come un fenomeno di inquinamento termico locale, l'isola di calore consiste in un aumento localizzato della temperatura nelle aree urbane a elevata densità abitativa rispetto alle aree rurali che circondano le città (Mohajerani et al, 2017). Le alte temperature raggiunte nel periodo estivo non solo determinano impatti negativi dal punto di vista ambientale, energetico, economico e sociale ma comportano anche conseguenze dannose sulla salute degli esseri viventi.

Se da un lato risulta possibile controllare le temperature interne per stabilire condizioni di comfort, ciò che accade nell'ambiente esterno non è facilmente governabile e le strategie a esso applicabili devono passare necessariamente attraverso l'impiego di operazioni di mitigazione volte anche a ridurre gli effetti dell'inquinamento per stabilire condizioni climatiche confortevoli.

Di conseguenza, il fenomeno isola di calore urbana è oggetto di numerosi studi volti a definirne l'intensità e a trovare soluzioni per mitigarne gli effetti, quali ad esempio strategie mirate per la progettazione degli edifici (Imran et al., 2018). La quantificazione del fenomeno isola di calore, infatti, può essere estremamente utile per progettare adeguatamente gli impianti e valutare il consumo energetico degli edifici, ma anche per individuare interventi mirati a una diminuzione della sua intensità (Yang et al., 2018). Alcuni degli studi presenti in letteratura riguardano la correlazione tra isola di calore urbana e gas inquinanti presenti in atmosfera (Wang et al., 2017): l'obiettivo è ridurre la quantità di inquinanti rilasciati nell'aria (Zhang et al., 2015) e il consumo di energia in contesti urbani (Imran et al., 2018), attraverso la progettazione di *smart buildings*, ma anche attraverso la riduzione delle emissioni causate dai mezzi di trasporto o dalle industrie. Altre misure di mitigazione sono legate, ad esempio, all'impiego di materiali da costruzione caratterizzati da un alto valore di albedo. Tra i possibili interventi di mitigazione esistenti, di seguito vengono analizzate le potenzialità di un sistema tetto verde, valutandone le caratteristiche termofisiche per definire l'effettivo beneficio di tale soluzione sull'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici (Teotonio et al., 2018) e la riduzione dei consumi energetici (Huang et al., 2018).

Metodologia

Per valutare le caratteristiche termiche di un *tetto verde* e i benefici indotti dalla sua installazione, è stata condotta una campagna di monitoraggio su un *tetto verde* installato su un edificio a un piano situato vicino Roma (zona climatica D). Il sistema, in Figura 1, è dotato di sub-irrigazione, di pozzi, di una pompa per la circolazione dell'acqua, di tubi di scarico dell'acqua e di una grondaia per il recupero dell'acqua. L'installazione del prato è avvenuta su una metà esatta della copertura dell'edificio, seguendo le istruzioni del produttore, mentre l'altra metà del tetto è stata lasciata nelle condizioni originali.

L'edificio, attualmente adibito a uso ufficio, è una vecchia costruzione;

Tabella 1 – Specifiche tecniche degli strumenti di misura

Table 1 – Technical specifications of the measuring instruments

Strumento di misura	Fabbricante	Modello	Range di misura	Risoluzione	Precisione
Piastra termoflussimetrica	Hukseflux	HFP01	-2000÷2000 W/m ²	0.01 W/m ²	5% on 12 h
Sensore di temperatura aria	LSI	Pt100	-40÷80 °C	0.01 °C	0.10 °C (0 °C)
Sensore di temperatura a contatto	LSI	EST124	-40÷80 °C	0.01 °C	0.15 °C (0 °C)



Figura 1 – Il tetto verde oggetto di studio

Figure 1 – The analyzed green roof

la copertura è una lastra di cemento di spessore pari a circa 8 cm, rinforzato e coperto con tegole. I due locali sottostanti, adibiti a uffici, presentano la stessa esposizione, la stessa superficie, sono entrambi climatizzati con pompa di calore e hanno lo stesso tasso di occupazione, quindi i carichi endogeni sono equivalenti in entità e tempo. L'edificio è a pianta rettangolare, è isolato (non sono presenti altri edifici nell'intorno che possano determinare ombreggiatura) ed è composto da diversi ambienti. In particolare, gli ambienti scelti per il monitoraggio sono esposti entrambi a nord e sono uguali per dimensione, geometria, numero e tipologia di finestre, poiché derivano dalla suddivisione di un ambiente inizialmente unico.

Per studiare le caratteristiche termofisiche del *tetto verde* e determinare le prestazioni energetiche del sistema, è stata installata una strumentazione per misurare il flusso termico, la temperatura dell'aria interna e di quella esterna e le temperature superficiali interne ed esterne. Non è stata considerata l'influenza dell'irraggiamento solare perché la posizione degli ambienti è tale che il contributo solare è esattamente lo stesso e quindi non di interesse in questo caso in cui si vuole solo fare un confronto tra la soluzione con tetto verde e quella con tegole.

L'apparato di misura, il cui schema è riportato in Figura 2, consente il monitoraggio del comportamento del tetto, rendendo così possibile la valutazione delle sue prestazioni e la quantificazione dei

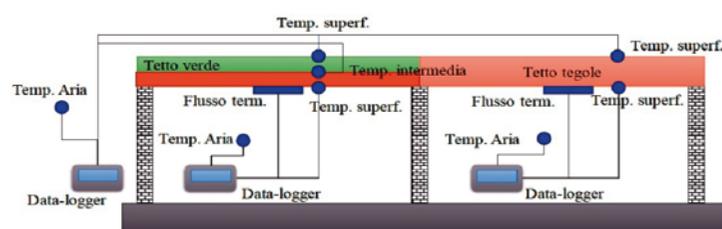


Figura 2 – Rappresentazione schematica del sistema di misurazione (sezione dell'edificio esaminato)

Figure 2 – Simplified representation of the measurement system (section of the investigated building)

vantaggi che possono derivare dall'installazione di un sistema di questo tipo. Tutti gli strumenti, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1, sono collegati a data-logger, che registrano i valori dei parametri misurati attraverso le diverse sonde collegate ogni 10 minuti, per 24 ore al giorno. Vale la pena di precisare che il sensore di temperatura superficiale posto in prossimità dello strato più esterno del tetto verde è stato inserito nello strato più alto del terreno, immediatamente sotto l'erba.

Risultati e discussione

Il monitoraggio sperimentale

Il primo monitoraggio di controllo è stato effettuato tra il 20 settembre 2018 e il 4 ottobre 2018. I valori di flusso termico, di temperature superficiali e temperature dell'aria registrati nella stagione autunnale mostrano un comportamento termico stabile della parte del tetto su cui è stato installato il prato. Osservando la Figura 3, gli andamenti delle temperature superficiali esterne e interne (curve verdi tratteggiate) sono sempre chiaramente distinti tra loro, senza sovrapposizioni. Inoltre, la temperatura superficiale esterna del tetto tradizionale (caratterizzato da tegole), rappresentata in Figura 3 dalla curva tratteggiata nera, mostra valori massimi più elevati rispetto all'analogo parametro registrato per la quota parte di tetto coperto dal prato, con variazioni nel tempo estremamente marcate, tipiche di una struttura che presenta una copertura caratterizzata da un elevato coefficiente di assorbimento solare.

Confrontando le temperature superficiali esterne delle due parti di copertura e la temperatura dell'aria esterna (curva rossa continua) è possibile notare come le variazioni della temperatura superficiale del tetto tradizionale siano in fase con la temperatura dell'aria esterna,

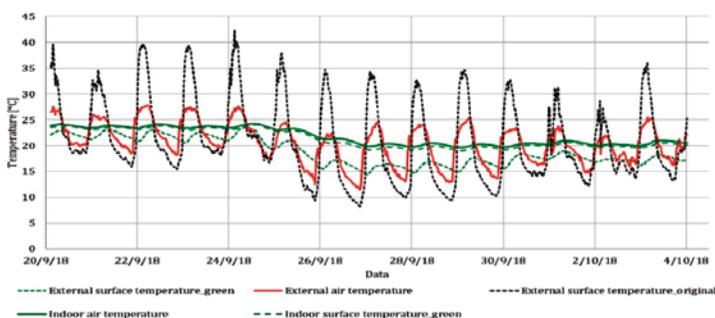


Figura 3 – Temperature superficiali e temperature dell'aria registrate dal 20/09/18 al 4/10/18

Figure 3 – Surface temperatures and air temperatures acquired from 20/09/18 to 4/10/18

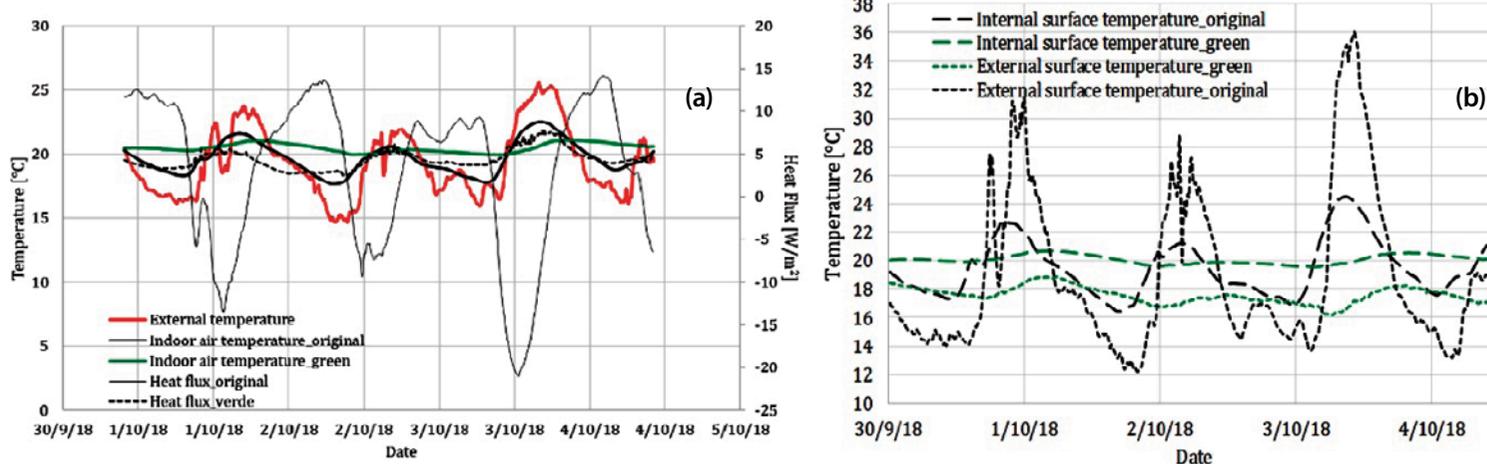


Figura 4 – Flussi termici, temperature dell'aria (a) e temperature superficiali (b) dal 30/09/18 al 4/10/18

Figure 4 – Heat fluxes, air temperatures (a) and surface temperatures (b) from 30/09/2018 to 04/10/2018

cosa che non accade nel caso del tetto verde (curva verde). Come temperatura superficiale esterna del tetto tradizionale, si intende la temperatura della superficie esterna delle tegole. È opportuno specificare che il coefficiente di assorbimento è una caratteristica propria del tetto che, proprio per tale motivo, ne determina il comportamento e il raggiungimento di elevati valori di temperatura superficiale esterna.

Per effettuare un'analisi più dettagliata, in Figura 4 è possibile osservare l'andamento dei flussi termici, delle temperature dell'aria interna, della temperatura dell'aria esterna e delle temperature superficiali interne ed esterne, per il periodo più breve 30 settembre – 4 ottobre.

Partendo dal confronto dei flussi termici, si osserva una maggiore stabilità delle prestazioni del *tetto verde*, caratterizzato da valori di flusso sempre positivi. Al contrario, la copertura originale è caratterizzata da forti variazioni dell'andamento del flusso termico, in Figura 4a, tipiche di una struttura leggera con scarsa capacità inerziale e soggetta al fenomeno dell'inversione termica. Lo studio del comportamento termico dinamico è stato effettuato attraverso la valutazione dello sfasamento e dell'attenuazione delle onde termiche, una struttura più leggera presenta oscillazioni chiaramente più marcate. Inoltre, l'ambiente coperto dal *tetto verde* mostra valori della temperatura dell'aria interna caratterizzati da minori fluttuazioni rispetto ai valori della temperatura dell'aria interna misurati nell'ambiente sottostante il tetto originale, come mostrato sempre in Figura 4a. Evidentemente gli impianti a split, raffreddati ad aria, non riescono a garantire condizioni stabili e corrispondenti al punto fisso e si riscontrano quindi migliori condizioni ambientali nel locale sotto il tetto verde. Le condizioni interne, in termini di carichi endogeni, sono le stesse nei due ambienti monitorati, ciò in cui differiscono è la tipologia di copertura. Pavimento, tamponature, superfici opache e trasparenti sono le medesime per gli ambienti analizzati. Le condizioni ambientali esterne si ripercuotono all'interno in maniera maggiormente filtrata se il tetto ha una capacità di accumulo termico maggiore.

La maggiore stabilità di comportamento dimostrata dal *tetto verde* viene ulteriormente evidenziata se si osserva in Figura 4b l'andamento delle temperature superficiali interne ed esterne nel tempo e si effettua il confronto con le analoghe grandezze misurate in corrispondenza del tetto tradizionale.

Tenendo conto di un periodo di osservazione più lungo, dal 4 ottobre al 3 dicembre, in Figura 5 viene mostrato l'andamento nel tempo dei flussi termici che caratterizzano il comportamento del *tetto verde* (curva verde tratteggiata) e del tetto originale (curva nera tratteggiata), nonché le temperature dell'aria interna registrate negli ambienti

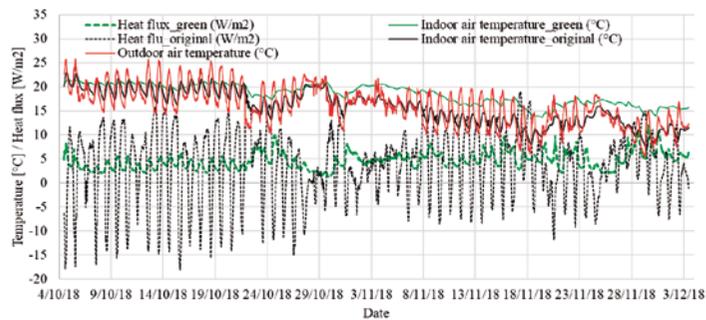


Figura 5 – Flussi termici e temperature dell’aria dal 4/10/18 al 3/12/18

Figure 5 – Heat fluxes and internal air temperatures from 4/10/18 to 3/12/18

Tabella 2 – Confronto tra i valori di trasmittanza termica del tetto verde e del tetto tradizionale

Table 2 – Comparison between the thermal transmittance values of the green roof and the traditional one

	Trasmittanza Termica [W/m²K]	Percentuale di differenza tra tetto verde e tetto tradizionale
Tetto verde	1,4	-56%
Tetto originale	3,2	-

sottostanti le due diverse coperture (rispettivamente le curve verde e nera continue) e la temperatura dell’aria esterna (curva continua rossa).

Confrontando i valori delle temperature superficiali interne che sono state registrate in corrispondenza di condizioni climatiche esterne rigide (novembre), è possibile osservare valori di temperatura superficiale interna dell’ambiente caratterizzato dal *tetto verde* più alti e caratterizzati da minori oscillazioni. Ciò è rappresentativo di come il *tetto verde* sia in grado di svolgere in maniera soddisfacente la funzione di isolante termico, mostrando inoltre una maggiore capacità di accumulo termico.

Ponendo l’attenzione sulla performance della copertura originale, si riscontra una significativa oscillazione dell’andamento del flusso termico, il quale assume valori positivi e negativi durante il periodo di osservazione. Questo risultato dimostra come la copertura tradizionale abbia scarse capacità di isolare termicamente l’ambiente sottostante e di mantenere un valore stabile di temperatura dell’aria interna, con conseguenti condizioni di comfort soddisfacenti.

Sono state, inoltre, calcolate la trasmittanza termica del tetto originale e quella relativa al *tetto verde*. La Tabella 2 riassume i risultati ottenuti attraverso il processo di elaborazione dei dati. La differenza percentuale riscontrata tra le trasmittanze termiche del *tetto verde* e del tetto originale è pari al 56%. Ciò significa che la copertura originale è caratterizzata da un valore di trasmittanza termica pari a circa il doppio del valore ottenuto per il *tetto verde*.

Per completezza, di seguito vengono illustrati i risultati relativi a un estratto del monitoraggio estivo, i dati mostrati riguardano il mese di giugno e, nello specifico, è stato analizzato il periodo dal 01/06/2019 al 26/06/2019, caratterizzato da temperature esterne mediamente pari a 25 °C.

In Figura 6 sono riportati i valori delle temperature superficiali esterne registrate per le due coperture. È possibile notare come per la copertura tradizionale le temperature superficiali misurate siano molto elevate, con picchi anche superiori ai 50 °C, mentre per il *tetto verde* questi valori siano di gran lunga inferiori raggiungendo al massimo i 25 °C.

La motivazione principale per spiegare tali risultati va chiaramente

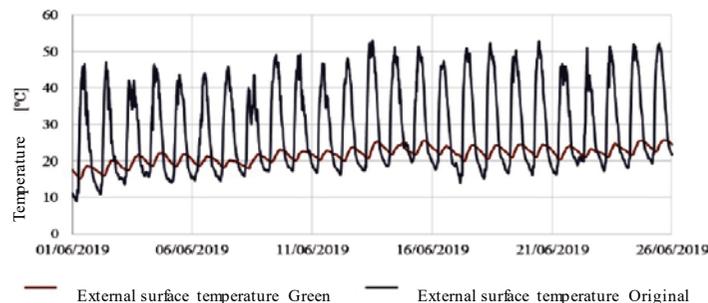


Figura 6 – Temperature superficiali esterne registrati per il tetto verde e per il tetto tradizionale

Figure 6 – External surface temperatures values registered on the green roof and traditional one

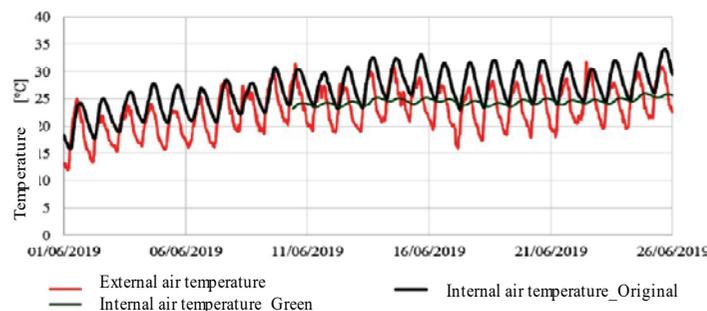


Figura 7 – Confronto tra i valori delle temperature dell’aria interna e quelli della temperatura dell’aria esterna

Figure 7 – Comparison between the internal air temperatures values and the external air temperature ones

ricercata nelle caratteristiche termofisiche dei materiali. Materiali edilizi come quelli delle classiche tegole di copertura dei tetti, infatti, hanno un alto coefficiente di assorbimento della radiazione al contrario delle coperture verdi che sono caratterizzate da fenomeni evapotraspirativi.

In Figura 7 vengono riportate le temperature dell’aria interna dei due ambienti in esame, caratterizzati da una differente copertura (*tetto verde* e tetto tradizionale), e vengono poste a confronto con i valori registrati di temperatura dell’aria esterna.

Si può osservare come la temperatura dell’aria interna registrata nella porzione dello stabile sottostante il *tetto verde* assuma valori più stabili, se confrontati con le temperature interne misurate nell’ambiente caratterizzato dalla quota parte di copertura tradizionale. La minore oscillazione delle temperature dell’aria interna, unita a valori più elevati delle temperature superficiali interne, consente di dedurre il vantaggio, in termini di comfort, che è possibile ottenere dall’applicazione di un *tetto verde* grazie alle sue caratteristiche termofisiche. È possibile affermare questo poiché lo scopo dello studio è quello di fornire informazioni sul comportamento della copertura, gli altri contributi sono considerati del tutto comparabili date le condizioni dei due ambienti. La copertura fornisce un contributo significativo sulle condizioni di comfort, a parità di condizioni interne nei due ambienti oggetto di studio, per questo è stato analizzato il suo contributo separatamente da altri parametri.

La simulazione energetica

Attraverso una simulazione energetica in regime dinamico è stato possibile valutare la riduzione del fabbisogno energetico dell’edificio oggetto di studio (Gori et al., 2016); ottenuta mediante l’installazione del *tetto verde* (Figura 8). La simulazione energetica è stata effettuata utilizzando il software di simulazione energetica dinamica Energy Plus associato al software di modellazione Design Builder, tenendo opportunamente conto delle condizioni climatiche dell’area in cui si

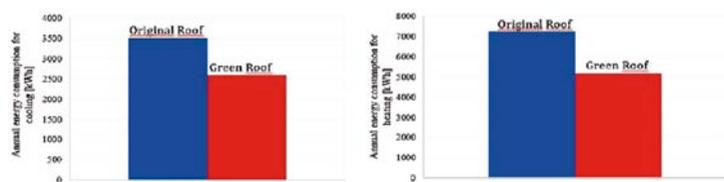


Figura 8 – Consumo energetico annuale per raffrescamento (a sinistra) e riscaldamento (a destra)

Figure 8 – Yearly energy consumption for cooling (left) and for heating (right)

trova l'edificio analizzato, delle caratteristiche geometriche dell'edificio stesso, della sua destinazione d'uso, del suo tasso di occupazione, delle caratteristiche termofisiche dei materiali e delle caratteristiche degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Le caratteristiche termofisiche del sistema prato-tetto sono state definite simulando precedentemente il tetto verde come un layer di proprietà equivalenti, attraverso uno studio preliminare effettuato mediante il software di simulazione agli elementi finiti COMSOL Multiphysics (Evangelisti et al., 2018; Gori et al., 2016).

Gli ambienti sono climatizzati attraverso pompa di calore, nelle simulazioni è stata impostata una temperatura di set-point estiva di 26 °C ed invernale di 20 °C e un COP pari a 3,2. Considerando il consumo complessivo di energia elettrica per alimentare l'impianto di raffrescamento, la simulazione dell'ambiente sottostante il tetto tradizionale ha determinato un valore di 3508 kWh rispetto ai 2594 kWh

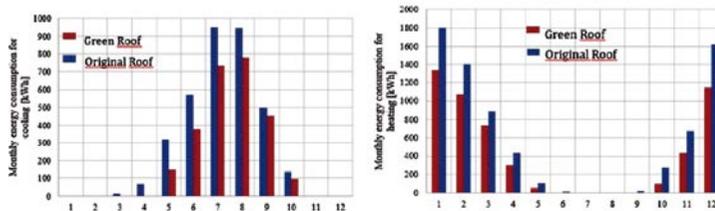


Figura 9 – Consumo energetico mensile per raffrescamento (a sinistra) e riscaldamento (a destra)

Figure 9 – Monthly energy consumption for cooling (left) and for heating (right)

relativi all'ambiente caratterizzato dal *tetto verde*, comportando un risparmio del 26% calcolato sul consumo massimo risultato dalla simulazione, come evidente in Figura 8. Anche per quanto riguarda i consumi relativi all'impianto di riscaldamento si ottiene un risultato comparabile, rispetto ai 7230 kWh di consumo annuo per riscaldamento riferiti al tetto tradizionale, l'applicazione del sistema *tetto verde* porta a un risparmio di circa il 28%, che corrisponde a un consumo annuo di 5175 kWh, come mostrato in Figura 8.

Anche facendo riferimento ai consumi mensili, è possibile notare una riduzione di quelli relativi all'ambiente caratterizzato dal *tetto verde* rispetto a quelli indotti da una copertura tradizionale, in Figura 9. L'applicazione del sistema *tetto verde* porta un beneficio non solo in termini di comfort interno, ma anche in termini di riduzione dei consumi energetici, sia per quanto riguarda il fabbisogno per il riscaldamento che quello per il raffrescamento.

CONCLUSIONI

Il lavoro ha avuto come obiettivo la valutazione delle prestazioni energetiche di un sistema *tetto verde*, portate a confronto con le prestazioni di un tetto analogo da un punto di vista strutturale, ma sprovvisto della copertura verde. I dati acquisiti rivelano l'effettivo beneficio di questo tipo di soluzione passiva al fine di ottimizzare i fabbisogni energetici dell'edificio oggetto di studio.

Il sistema *tetto verde* ha chiaramente dimostrato una migliore inerzia termica (ossia la capacità di un materiale o di una struttura di variare più o meno lentamente la propria temperatura come risposta a variazioni di temperatura esterna o ad una sorgente di calore/raffreddamento interno) e una migliore prestazione in termini di trasmittanza, nonché di poter generare migliori condizioni di comfort interno per gli occupanti. La differenza percentuale riscontrata tra le resistenze termiche del tetto verde e del tetto originale è pari al 45%.

Inoltre, confrontando gli ambienti caratterizzati dalle due differenti coperture attraverso simulazioni in regime dinamico, è stato

possibile osservare un risparmio in termini di consumi energetici non trascurabile.

Infatti, rispetto ai consumi relativi all'ambiente sottostante la copertura tradizionale, è stato calcolato un risparmio dovuto al tetto verde di circa il 28% per quanto riguarda il fabbisogno energetico per il riscaldamento e di circa il 26% per quanto riguarda il fabbisogno energetico per il raffrescamento.

Inoltre, un *tetto verde*, se installato in aree caratterizzate da una significativa urbanizzazione, può contribuire alla mitigazione del fenomeno isola di calore urbana, avendo come ulteriore beneficio la capacità di assorbire in parte polveri sottili e gas inquinanti presenti in atmosfera.

In conclusione, è evidente come questo tipo di sistema passivo consenta di ottenere un miglioramento delle prestazioni di un edificio e determini, di conseguenza, significativi benefici in termini di performance energetica, di risparmio energetico e di comfort interno degli occupanti.

CONFLITTO DI INTERESSE

Gli autori dichiarano che non esistono conflitti di interesse di ordine economico o di altro tipo sull'articolo presentato.

BIBLIOGRAFIA

Evangelisti L., Guattari C., Gori P., Asdrubali F., Assessment of equivalent thermal properties of multilayer building walls coupling simulations and experimental measurements, *Building and Environment* (2018) 127, 77-85.
 Evangelisti L., Guattari C., Gori P., De Lieto Vollaro R., Asdrubali F., Experimental investigation of the influence of convective and radiative heat transfers on thermal transmittance measurements, *International Communications in Heat and Mass Transfer* (2016), 78, 214-223.
 Gori P., Guattari C., Evangelisti L., Asdrubali F., Design criteria for improving insulation effectiveness of multilayer walls, *International Journal on Heat and Mass Transfer* (2016), 103, 349-359.
 Huang YY, Chen CT, Liu WT, 2018. Thermal performance of extensive green roofs in a subtropical metropolitan area, *Energy and Buildings*, 39-53.
 Imran HM, Kala J, Ng AWM, Muthukumaran S, 2018. Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia, *Journal of Cleaner Production*, 197(1) 393-405.

Mohajerani A, Bakaric J, Jeffrey-Bailey T, 2017. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete, *Journal of Environmental Management*, 197 522-538.
 Teotonio I, Matos Silva C, Oliveira Cruz C, 2018. Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs, *Journal of Cleaner Production*, 199 121-135.
 Wang H, Qin J, Hu Y, 2017. Are green roofs a source or sink of runoff pollutants?, *Ecological Engineering*, 107 65-70.
 Yang J, Kumar DIM, A. Pyrgou, A. Chong, M. Santamouris, D. Kolokotsa, S.E. Lee, 2018. Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate, *Solar Energy*, 173 597-609.
 Zhang Q, Liping M, Wang X, Liu D, Zhou B, Zhu L, Jichao S, Jingtao L, 2015. The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution, *Landscape and Urban Planning*, 144 142-150.