

Strategie in copertura per il comfort interno estivo

Data l'elevata resistenza termica richiesta oggi ai componenti edilizi, la ventilazione sottomanto si rivela una strategia più efficace ai fini del comfort interno estivo rispetto all'utilizzo di materiali ad elevata riflettanza in copertura

Elisa Di Giuseppe

PhD, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche

Marco D'Orazio

Professore Ordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche

Costanzo Di Perna

Professore Associato, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche, Università Politecnica delle Marche

KEYWORDS
Copertura, Laterizio,
Ventilazione,
Riflettanza,
Comfort
Roof, Clay,
Ventilation,
Reflectance, Comfort

Il presente articolo riporta i risultati di attività sperimentali e analitiche condotte al fine di evidenziare la relazione tra le proprietà radiative del manto di copertura, la ventilazione sottomanto e il comfort termico interno di un ambiente sottotetto, in solai caratterizzati da valori di trasmittanza in linea con il recente D.M. 26/06/2015 "requisiti minimi" [1]¹. Diversi precedenti studi degli autori [2-6] hanno approfondito tali tematiche, in contesti climatici caldi e temperati, pur non ancora prefigurando le attuali disposizioni normative in Italia. Le attività descritte nel presente lavoro sono state infatti realizzate alla luce del fatto che il nuovo apparato normativo indica la necessità di valutare, in termini costi/benefici, l'utilizzo di materiali di finitura ad elevata riflettanza² solare (0,65 nel caso di coperture piane - 0,30 nel caso di copertura a falde) o di tecnologie di climatizzazione passiva "Al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nonché di limitare il surriscaldamento a scala urbana".

Negli ultimi decenni, in relazione al fenomeno del surriscaldamento globale, è aumentato infatti l'interesse a contenere l'incremento della temperatura percepita negli agglomerati urbani (fenomeno dell' "isola di calore"). Nei paesi anglosassoni si è diffuso da tempo l'utilizzo di materiali ad elevata riflettanza, in grado di raggiungere temperature inferiori (rispetto a materiali analoghi ma con bassa riflettanza) quando esposti alla radiazione solare, trasferendo quindi meno calore all'aria adiacente. L'impatto dell'utilizzo di tali materiali in involucri edilizi fortemente isolati e ventilati, al fine di contenere il surriscaldamento interno degli ambienti (e quindi limitare il fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva) sembra più limitato, ed è oggetto della ricerca riportata nel presente articolo.

Al fine di considerare l'influenza delle proprietà radiative del manto in componenti ventilati, si sono adottate due distinte procedure di calcolo.

La prima volta a valutare l'influenza della riflettanza del manto in coperture con ventilazione "inefficace" (mo-

Roof strategies for internal summer comfort

This article reports the results of experimental and analytical activities conducted in order to highlight the relationship between the radiative properties of the roof covering, the above sheathing ventilation and internal thermal comfort of an attic environment, in building components characterized by very low U-values (as established by the recent Italian DM 26/06/2015). The results of energy simulations carried out on different types of roofs in several

Italian climatic zones show that the strategy proposed by the actual Italian laws for the improvement of summer comfort in buildings, namely the adoption of high-reflectance finishing materials, has a very limited impact, given the levels of thermal transmittance required today to the building components. By contrast, differences on the external surface temperature due to different materials radiative properties appear more relevant, with obvious consequences on the "heat

island phenomenon".

From the comparison of the simulations results with data experimentally detected on ventilated roofs, it is evident how the use of a ventilated roof is a better strategy to mitigate overheating indoors. The research finally defines an "equivalent reflectance", to be used in ventilated building components, in order to synthetically represent their passive cooling abilities (related to both radiative and convective exchanges at the covering level).

dellando l'intercapedine di fatto come non ventilata). La seconda, sviluppata alla luce di dati sperimentali rilevati su coperture ventilate a scala reale, volta a valutare l'influenza della ventilazione (ventilazione "efficace"). L'articolo propone infine una metodologia empirica per ricavare un valore di "riflettanza equivalente" in coperture ventilate, note le proprietà radiative del manto.

Metodologia

L'edificio simulato. Con il software per la simulazione energetica in regime dinamico Energy Plus³ è stato modellato un tipico ambiente sottotetto e si sono ricavate, per diverse tipologie di coperture, in diversi contesti climatici, grandezze caratteristiche quali le temperature interne, le temperature superficiali interne del solaio, le temperature superficiali esterne sul manto ed i flussi termici passanti. Le caratteristiche geometriche e costruttive dell'ambiente modellato sono quelle dell'edificio sperimentale di un piano (fig.1), da anni oggetto di monitoraggio termo-igrometrico nell'ambito di diverse attività di ricerca [2]. L'edificio ha pianta rettangolare di dimensioni 8,20 x 10,50 m, per un totale di 82,30 m² e volume pari a circa 250 m³. La copertura è costituita da due falde: la prima è esposta a Sud, ha pendenza del 17% e lunghezza pari

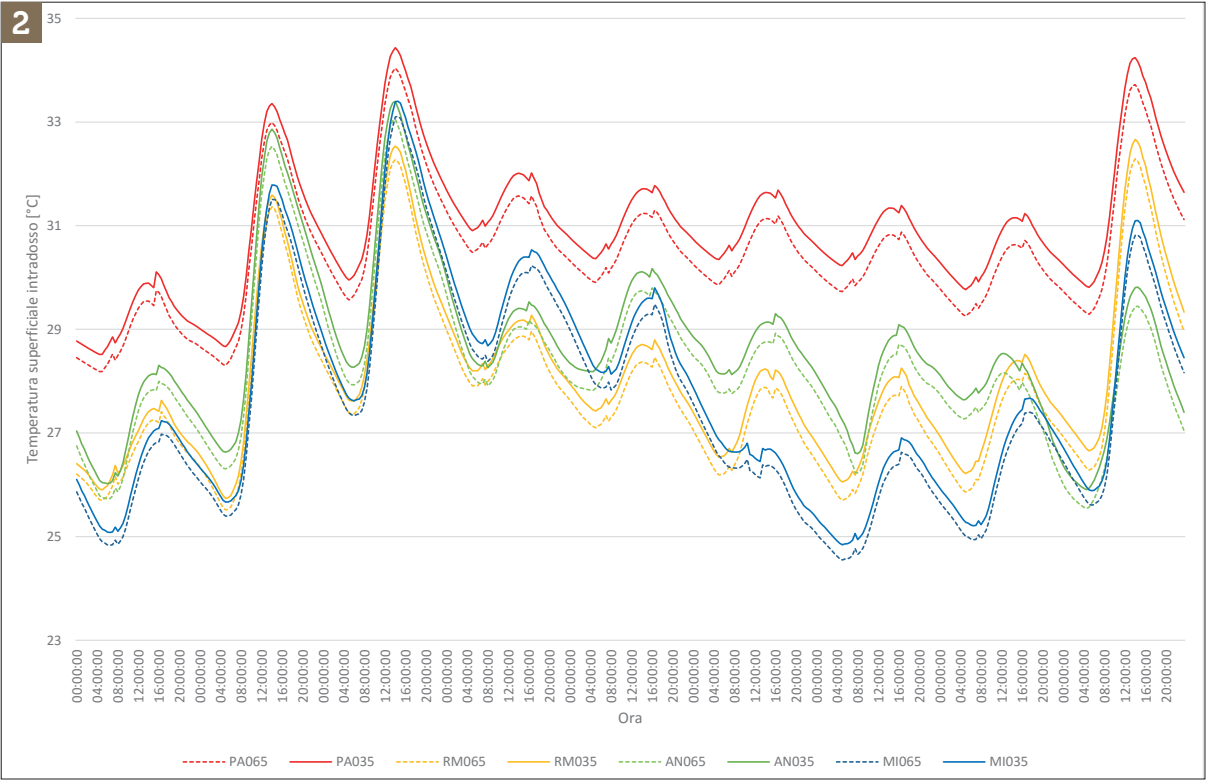


1. Edificio sperimentale oggetto di monitoraggio termo-igrometrico, modellato nel software di simulazione energetica in regime dinamico Energy Plus.

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015	2021
A e B	0,34	0,32
C	0,34	0,32
D	0,28	0,26
E	0,26	0,24
F	0,24	0,22

Tabella 1. Valori di trasmittanza limite per le coperture secondo il D.M. 26 giugno 2015 [1], in edifici soggetti a riqualificazione energetica (allegato B).

a circa 6,20 m; la seconda è esposta a Nord con pendenza del 30% e lunghezza pari a 2,25 m. La copertura dell'edificio reale, progettata in modo da soddisfare i requisiti di trasmittanza del D.Lgs. 311/2006 per la zona climatica di Ancona, è suddi-



2. Temperature superficiali lato interno copertura (le linee continue riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,35, le linee tratteggiate riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,65. I colori identificano le 4 località climatiche).

	Palermo	Roma	Ancona	Milano
Minimi	0,32	0,20	0,29	0,24
Medi	0,45	0,31	0,35	0,29
Massimi	0,54	0,38	0,38	0,32

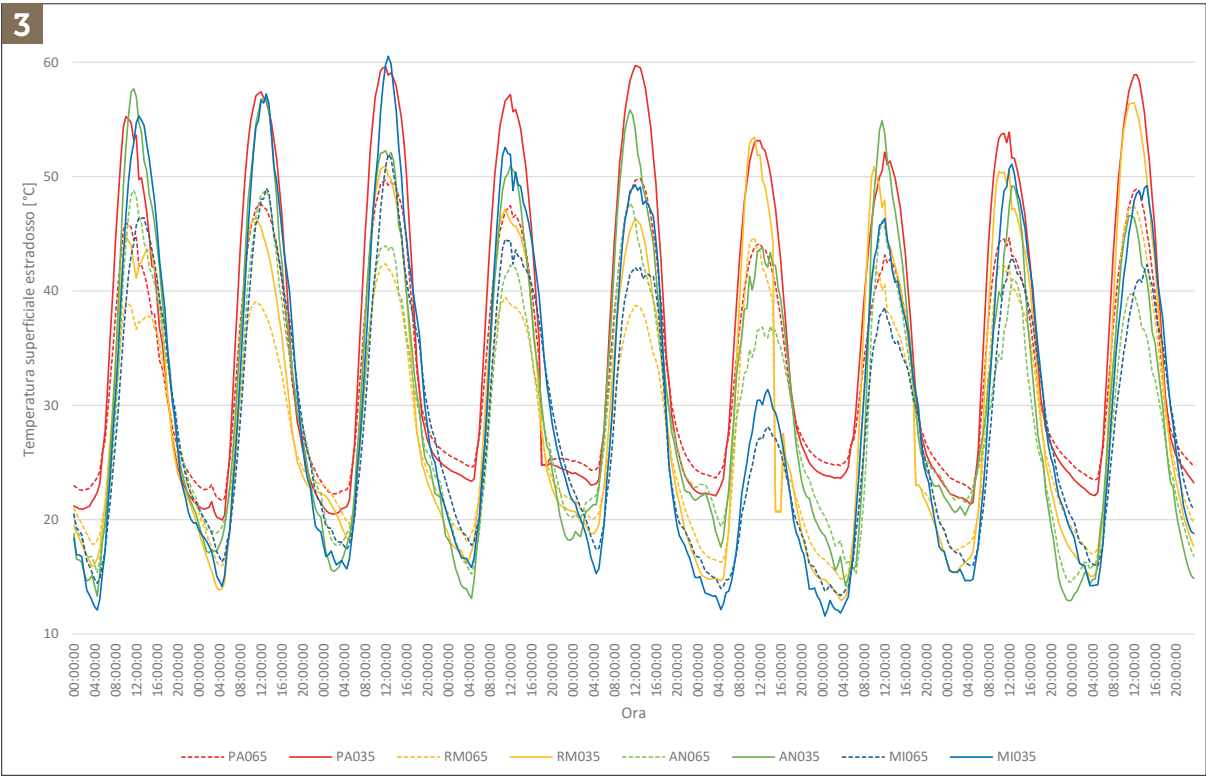
Tabella 2.
Valori medi,
massimi e minimi
delle differenze
di temperatura
superficiale per
ciascuna località
climatica.

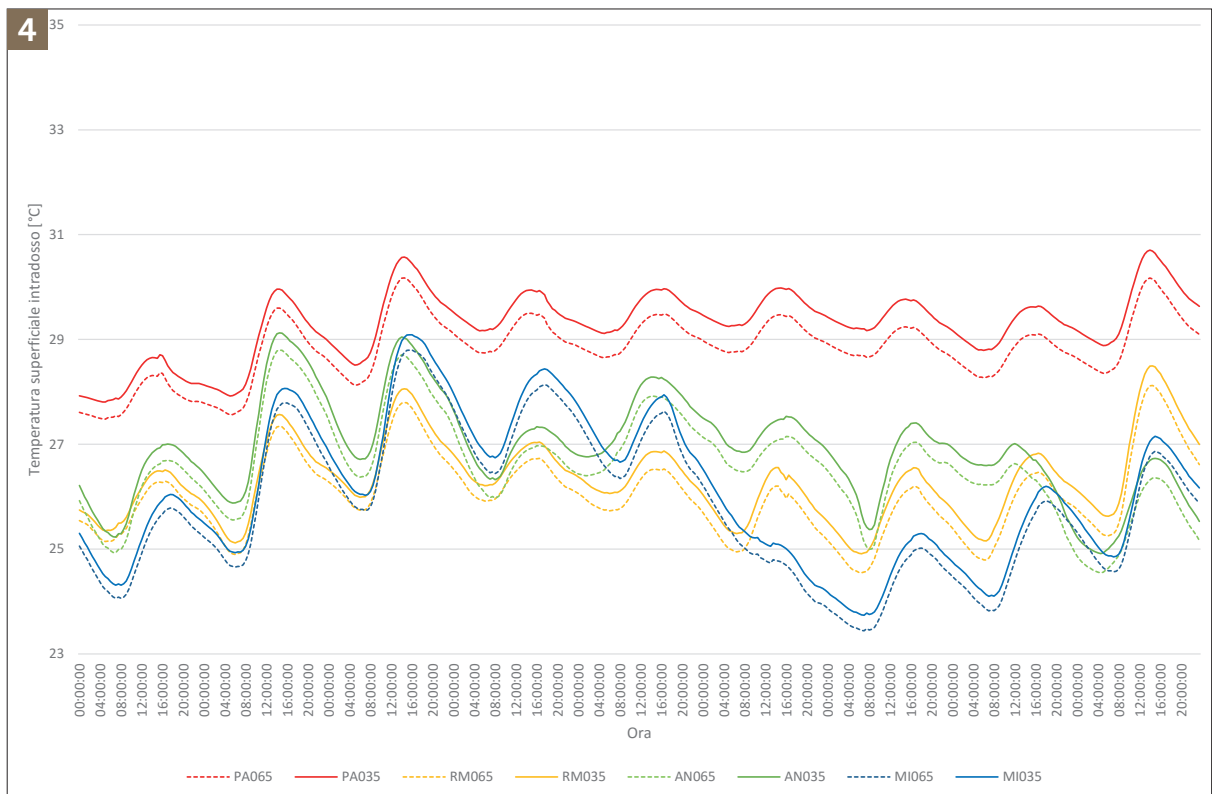
visa in sei porzioni di identica larghezza che si differenziano due a due per tipo di manto (laterizio e metallo), tipo di solaio (legno di abete e laterocemento); altezza dell'intercapedine di ventilazione (0 cm, 3 cm, 6 cm). Nel modello analitico si è considerata una sola tipologia di copertura, caratterizzata da un solaio ligneo, isolante in EPS, listellatura e tegole in laterizio, e si sono considerati i valori di trasmittanza introdotti con il DM del 26 giugno 2015 all'interno dell'allegato B (i più restrittivi); tali valori sono riportati in tabella 1 (dati relativi alla colonna 2021).

Le simulazioni effettuate. Si sono condotti tre gruppi di simulazioni. Il primo gruppo aveva lo scopo di verificare l'influenza di variazioni della riflettanza delle tegole, considerando nell'edificio modellato contestualmente la presenza di carichi termici interni prodotti da occupanti e di apporti gratuiti derivanti dalla presenza di una superficie finestrata con orientamento sud, adeguatamente schermata, e area pari a 1/8 della superficie in pianta. Considerando la possibile influenza sui risultati da parte della radiazione solare attraverso la superficie

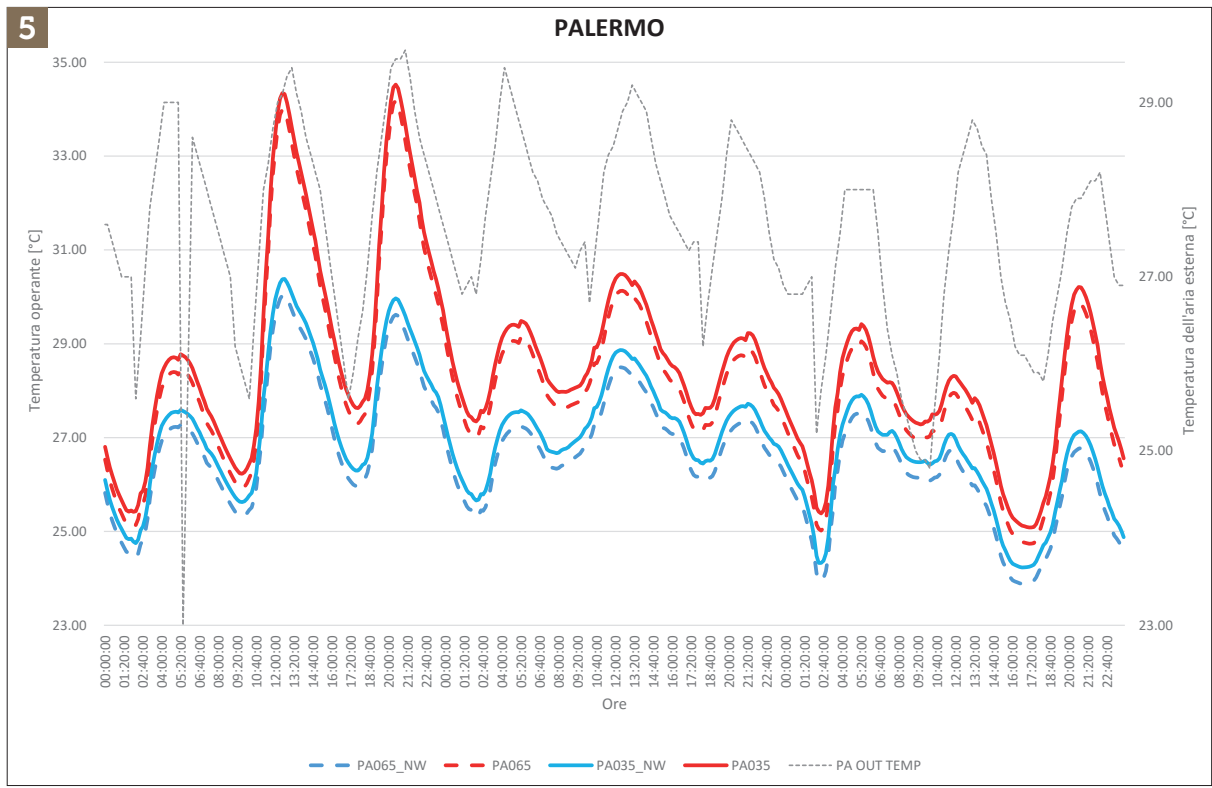
finestrata, si è condotto un secondo blocco di simulazioni con le stesse variabili ma in assenza di apporti solari gratuiti. Per questi primi due blocchi di simulazioni, si è modellato sull'edificio l'intero pacchetto di copertura, comprendendo tanto la camera d'aria quanto il manto. Conseguenza di tale scelta è tuttavia il fatto che i risultati delle simulazioni non tengono in considerazione le proprietà dissipative dell'intercapedine d'aria nella copertura e pertanto sottostimano il suo effetto benefico (simulazioni a ventilazione "inefficace"). Inoltre queste prime simulazioni sono state condotte in quattro località (Palermo, Roma, Ancona, Milano), rappresentative delle zone climatiche B, C, D, E. In ciascuna zona climatica sono stati impostati i relativi valori di trasmittanza per la copertura. In particolare a Palermo e Roma si è adottata una copertura con U pari a 0,32 (data la coincidenza dei valori richiesti per il 2021). Ad Ancona si è adottata una copertura con trasmittanza pari a 0,26 ed a Milano con trasmittanza pari a 0,24. Tali valori sono stati ottenuti variando lo spessore di isolante (EPS) al di sopra del tavolato ligneo. Infine, per poter considerare l'influenza della ventilazione in copertura sul comfort interno, si sono condotte simulazioni per la calibrazione del modello analitico alla luce dei dati ottenuti sperimentalmente dai monitoraggi in opera sulle coperture ventilate.

3. Temperature superficiali lato esterno copertura (Le linee continue riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,35, le linee tratteggiate riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,65. I colori identificano le 4 località climatiche).





4. Temperature superficiali lato interno copertura (Le linee continue riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,35, le linee tratteggiate riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,65. I colori identificano le 4 località climatiche).



5. Temperatura operante interna nell'edificio simulato a Palermo (le linee rosse rappresentano la situazione con apporti solari, le linee blu la situazione in assenza; le linee continue rappresentano i valori con riflettanza = 0,35, le linee tratteggiate rappresentano i valori con riflettanza = 0,65. In grigio la temperatura esterna).

Nello specifico, si sono preliminarmente ricavati dai dati sperimentali i valori del coefficiente di scambio convettivo (h_c) variabile temporalmente sulla superficie dell'isolante, da imporre nel modello al fine di ottenere temperature superficiali e flussi termici con-

gruenti con quelli misurati sperimentalmente. In questo caso, la copertura ventilata è stata modellata fino a considerare il materiale isolante adiacente alla camera di ventilazione e trascurando gli strati superiori, in accordo con la procedura della

6. Temperatura operante interna nell'edificio simulato a Milano (le linee rosse rappresentano la situazione con apporti solari, le linee blu la situazione in assenza; le linee continue rappresentano i valori con riflettanza = 0,35, le linee tratteggiate rappresentano i valori con riflettanza = 0,65. In grigio la temperatura esterna).

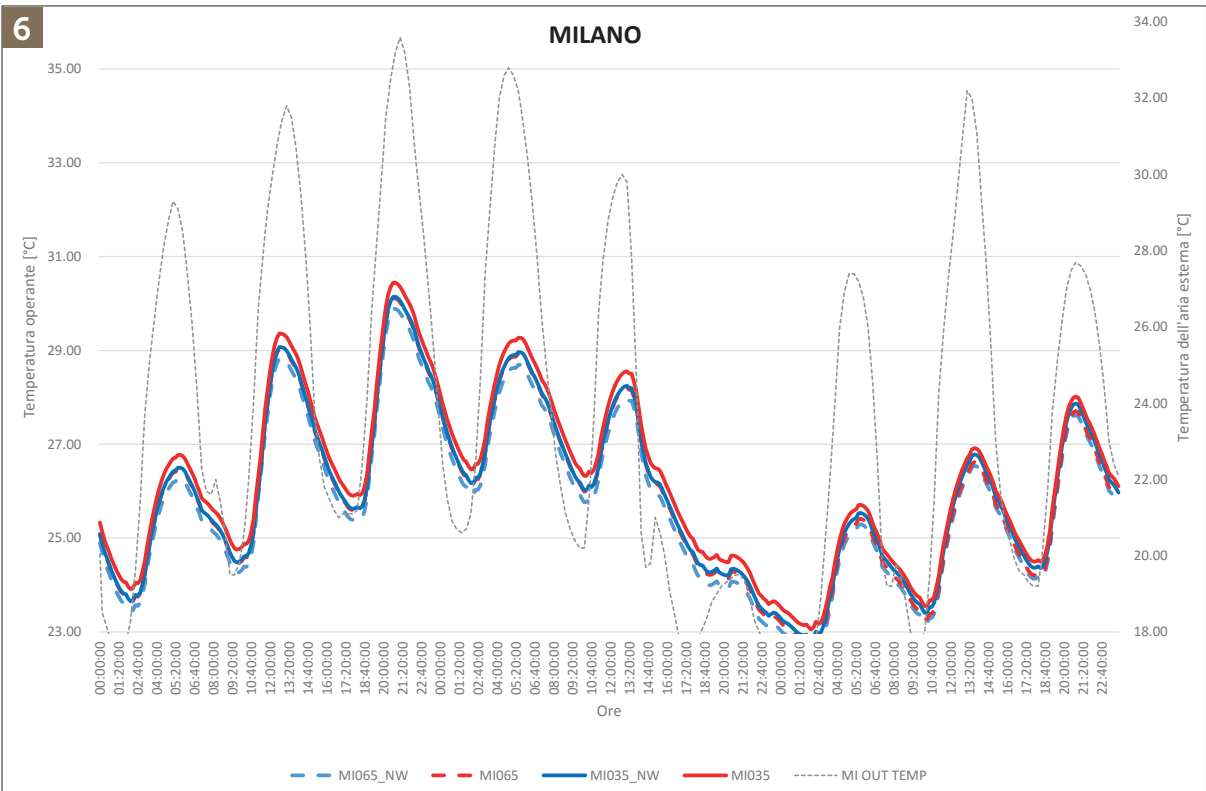


Tabella 3. Ore fuori del range di confort per 80% di individui, secondo [8]. Calcolo effettuato per il primo (sopra) e il secondo (sotto) blocco di simulazioni a Palermo. Le sigle indicano il valore di riflettanza di calcolo e l'assenza di finestre (NW).

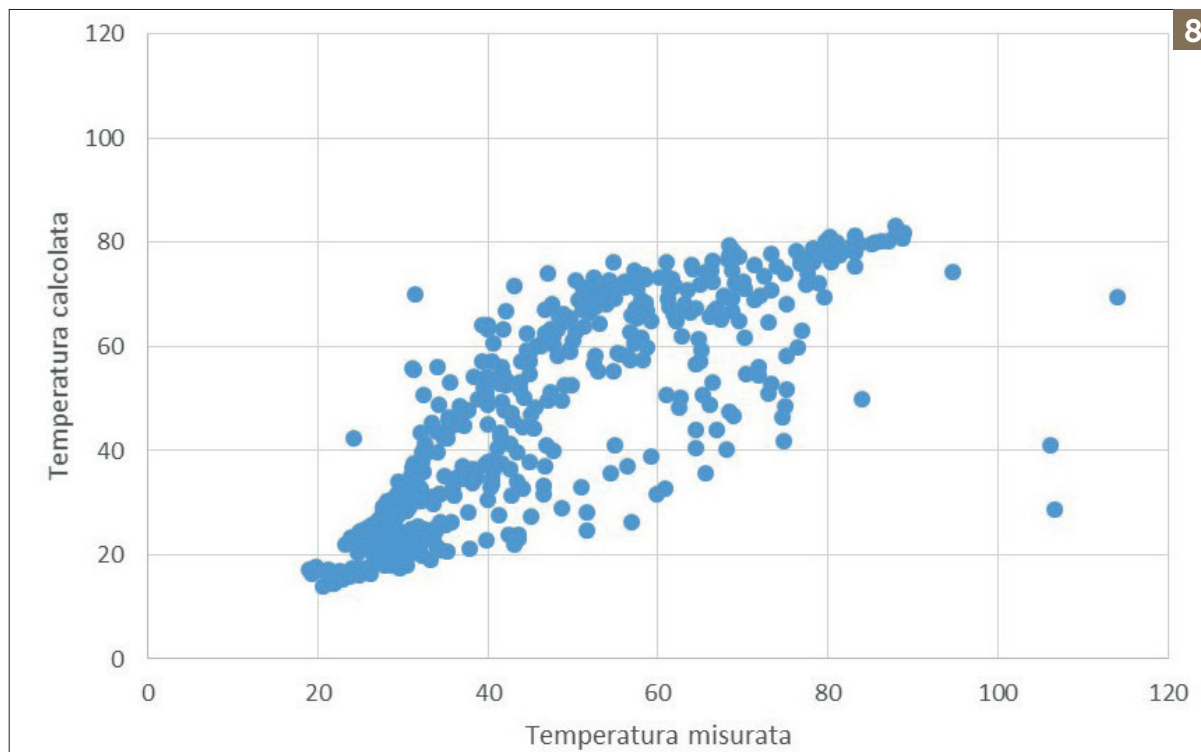
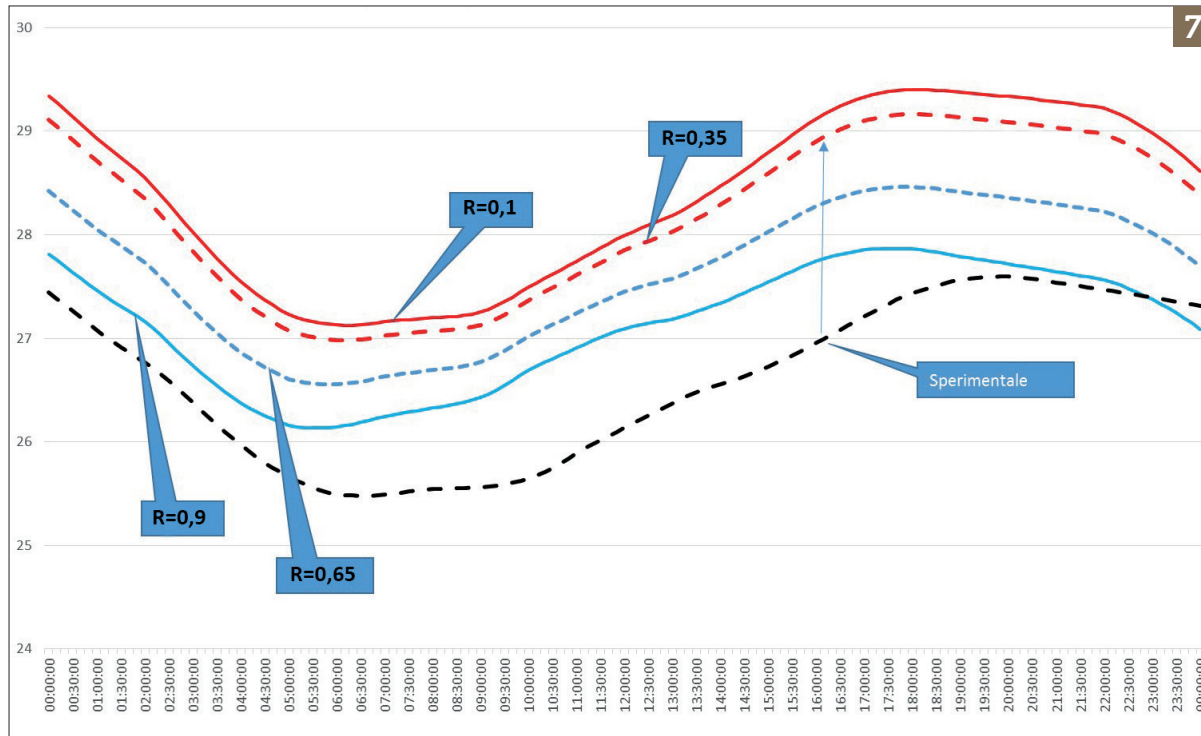
	PA 065	PA 035		PA 065_NW	PA 035_NW
% Ore fuori confort per 80% individui	8%	9%	% Ore fuori confort per 80% individui	7%	9%

norma UNI EN ISO 6946 [7]. Ciò ha permesso di ricavare indici di comfort rispondenti al comportamento sperimentale da confrontare con i risultati delle altre simulazioni. Data la presenza di dati sperimentali ottenuti ad Ancona, i risultati si riferiscono solo a tale località. Per l'interpretazione dei risultati si è fatto riferimento, oltre che alle temperature superficiali e ai flussi termici, anche agli indici di comfort ed in particolare al modello di comfort adattivo descritto nella norma ASHRAE 55-2013 [8]. Secondo tale modello, data la capacità di adattamento degli individui, il comfort termico in un ambiente dipende essenzialmente da due grandezze: la temperatura media operante e la temperatura media mensile esterna. Queste sono state ricavate dalle simulazioni condotte con il software in regime dinamico.

Risultati

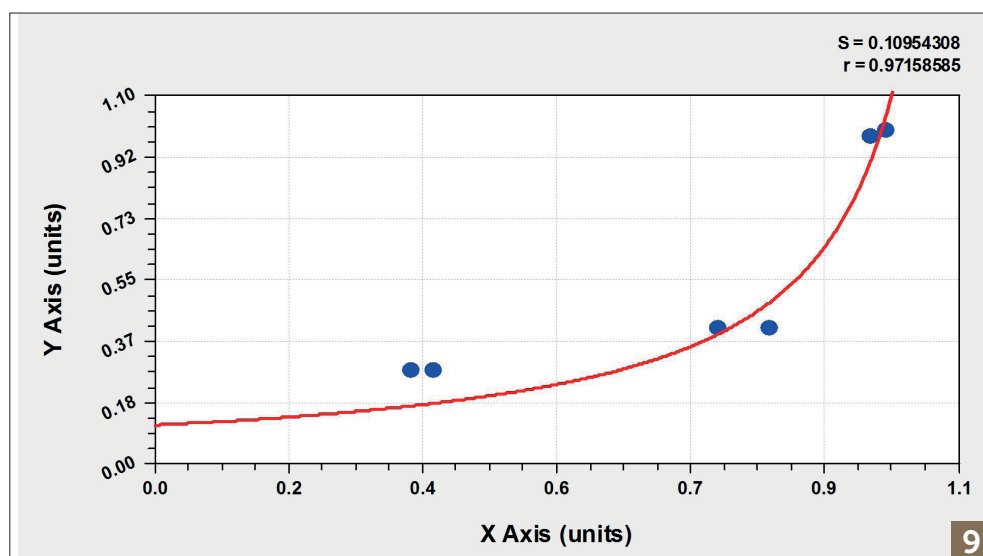
La figura 2 riporta l'andamento delle temperature superficiali all'intradosso della copertura (lato interno) durante una settimana estiva tipo. Le linee continue riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del

manto pari a 0,35, le linee tratteggiate riportano i risultati relativi a valori di riflettanza del manto pari a 0,65. I colori identificano le 4 località climatiche. È possibile osservare come le differenze in termini di temperatura superficiale interna siano estremamente limitate e dell'ordine di qualche decimo di grado centigrado, conferma del fatto che l'imposizione, attraverso i decreti emanati a giugno 2015, di ulteriori riduzioni della trasmittanza per le coperture tende a inibire l'effetto dato dall'adozione di rivestimenti ad elevata riflettanza. I valori massimi, medi e minimi delle differenze di temperatura interna per ciascuna località tra le soluzioni con tegole caratterizzate da riflettanza pari a 0,65 e 0,35 sono riportate nella tabella 2. Occorre osservare che questi risultati, ottenuti con un modello di copertura a ventilazione "inefficace", tendono teoricamente ad esaltare eventuali differenze tra i valori in funzione della riflettanza. Nel caso reale, per effetto della ventilazione sottomanto, i risultati sarebbero ulteriormente "appiattiti". La figura 3 riporta l'andamento delle temperature superficiali all'estradosso della copertura. È possibile osservare, al contrario di quanto rilevato per le tempera-



ture superficiali interne, grandi differenze nelle temperature superficiali del manto. L'adozione di tegole caratterizzate da elevata riflettanza (0,65) rispetto a tegole caratterizzate da bassa riflettanza (0,35), comporta differenze anche dell'ordine dei 10°C. La differenza massima (circa 10°C) si registra a Palermo, la differenza minima (circa 9°C) si registra a Milano. Da tale analisi si

può pertanto ricavare che, nel caso di adozione di coperture caratterizzate da bassa trasmittanza (valori in linea con il decreto pubblicato a giugno 2015), variazioni nella riflettanza del manto determinano limitatissimi effetti sul confort interno, ma allo stesso tempo riescono ad inibire l'effetto isola di calore riducendo in maniera significativa la temperatura superficiale del manto.



9. Scatterplot relativo ai dati sperimentali ed ai corrispondenti valori di calcolo (riflettanze equivalenti). I valori prossimi a 1 sono stati inseriti per il fitting dei dati sperimentali ed utile a ricavare l'equazione efficace ad approssimare i dati.

Per quanto riguarda i risultati del secondo blocco di simulazioni, realizzato proprio nel tentativo di evidenziare maggiori differenze in termini di comfort interno da parte di sistemi a diversa riflettanza, la figura 4 riporta nuovamente l'andamento delle temperature superficiali all'intradosso della copertura. È possibile tuttavia osservare come l'inibizione degli apporti solari attraverso la finestra non determini sostanziali mutamenti nel comportamento dei sistemi.

Comfort interno.

Le figure 5 e 6 riportano l'andamento della temperatura operante relativa all'ambiente simulato nelle due località climatiche "estreme": rispettivamente Palermo e Milano, in presenza ed in assenza di apporti solari dati dalla superficie finestrata. È possibile osservare come, coerentemente a quanto rilevato dall'analisi delle temperature superficiali, e per la definizione stessa di temperatura operante, gli effetti sul confort interno dati dall'adozione di manti con diversa riflettanza siano estremamente limitati e percepibili maggiormente nelle località climatiche più calde. Lo scarto, nei valori medi di temperatura operante, rilevato per la città di Palermo nella situazione con apporti solari gratuiti inibiti (quella che esalta maggiormente le differenze date dalla riflettanza delle tegole) è pari a $0,92^{\circ}\text{C}$.

Riferendosi alla località di Palermo (zona B) è possibile osservare in tabella 3 come lo scostamento nelle ore fuori confort calcolato coerentemente alla norma ASHRAE 55-2013 sia quasi impercettibile. Nel passaggio da manti da bassa ad alta riflettanza lo scostamento è solo di un punto percentuale. L'inibizione degli apporti solari gratuiti porta ad amplificare leggermente le differenze, passando i valori dal 9% al 7%.

Raffronto tra valori di calcolo e dati sperimentali.

Considerando infine anche i risultati del terzo blocco di simulazioni, la figura 7 riporta i valori di temperatura operante determinati per un giorno tipo, in funzione della riflettanza del manto. La curva nera tratteggiata rappresenta il risultato ottenuto con il modello a ventilazione "efficace" ovvero sulla base del raffronto con i dati sperimentali (riflettanza del manto pari a 0,35). Questo è direttamente confrontabile con il risultato ottenuto sulla stessa tipologia di copertura ma con il modello a ventilazione "inefficace" (curva rossa tratteggiata). Si osserva come la curva basata su dati sperimentali sia traslata rispetto alla curva di calcolo di ca. $1,8^{\circ}\text{C}$. Nel modello di calcolo che non considera l'effetto dissipativo della ventilazione, lo scostamento massimo tra coperture caratterizzate da manti con valori di riflettanza "estremizzati" (0,1-0,9) è inferiore, pari a ca. $1,5^{\circ}\text{C}$. Nell'ambito del tipico range di valori di riflettanza per tegole in laterizio (0,35-0,65) scende addirittura a $0,7^{\circ}\text{C}$.

Ciò evidenzia come la presenza di uno strato di ventilazione offra, in termini di confort, risultati migliori rispetto a quelli ottenibili mediante la sola adozione di materiali ad elevata riflettanza. Certamente l'adozione di tali materiali unitamente ad un sistema ventilato permette di raggiungere il massimo della prestazione ma, per quanto si è visto, tale azione appare giustificata solo per le località climatiche più calde.

Valutazione della "riflettanza equivalente" di una copertura in laterizio ventilata

La discrepanza rilevata tra valori sperimentali e valori di calcolo, dovuta alla difficoltà di considerare contestualmente le proprietà radiative del manto ed il funzionamento dell'intercapedine di ventilazione, ci ha spinto a proporre, quale parametro comparativo per la valutazione delle prestazioni, una "riflettanza equivalente" R_e , definita quale riflettanza da assegnare al manto per considerare tanto la riflettanza effettiva del materiale, quanto la capacità dissipativa dell'intercapedine d'aria. Il calcolo della "riflettanza equivalente" è stato condotto a partire dai dati sperimentali ottenuti dal monitoraggio delle grandezze termiche di una copertura in laterizio dell'edificio sperimentale durante il mese di Agosto 2009, in particolare di: velocità del vento (v), radiazione solare (I), temperatura esterna (T_e), temperatura del manto (T_m). Si è in primo luogo calcolato il coefficiente di scambio convettivo sulla superficie del manto (h_c) con la relazione empirica in [9] nota la velo-

cià del vento v :

$$hc = 5 + 4,5 \cdot v - 0,14 \cdot v^2$$

Sulla base del valore di hc calcolato, note le altre grandezze misurate, si è determinato il valore α (assorbanza del manto) tale da minimizzare la differenza tra la temperatura aria-sole (T_{as}) e la temperatura del manto della copertura durante la sola fase diurna (i valori si riferiscono a intervalli di 10 minuti), nella nota relazione:

$$T_{as} = T_e + \frac{I\alpha}{hc}$$

Il confronto tra le temperature superficiali esterne misurate e quelle ricavate utilizzando la riflettanza equivalente calcolata ($1-\alpha$), per uno dei giorni di simulazione, è riportato nella figura 8. La dispersione di alcuni dati è dovuta al fatto che il modello di calcolo utilizzato non considera aspetti inerziali. Applicando la procedura prima descritta e considerando un numero elevato di dati in modo da attenuare tali incertezze, si è ricavata la riflettanza equivalente per tutte le coperture di cui si disponeva di dati sperimentali (le porzioni di copertura in cui la falda dell'edificio sperimentale è suddivisa), così da ottenere la seguente equazione empirica in grado di determinare la riflettanza equivalente R_e di una copertura ventilata, a partire dalla riflettanza R_m nota (nel range di riflettanza 0,25-0,85 e con le approssimazioni descritte). La figura 9 riporta i risultati ottenuti e la relativa curva di regressione.

$$R_e = a / (1 + b e^{-c R_m})$$

dove: $a = 0,99$; $b = 132,62$; $c = 15,525$ sono i parametri empirici ottenuti. Si evidenzia come tale riflettanza R_e è quella media nel periodo considerato, ed è stata ottenuta considerando i dati sperimentali relativi alle fasi diurne, così da considerare il beneficio della riflettanza nel contenimento delle temperature superficiali di giorno. Il valore di riflettanza equivalente R_e ottenuto a partire dalla riflettanza del manto nota (R_m) è un parametro puramente empirico, ma molto efficace nel fornire una sintetica rappresentazione delle capacità di raffrescamento passivo di componenti edilizi ventilati.

Note

1. Fa parte dei tre decreti del 26 giugno 2015 sull'efficienza energetica in edilizia di attuazione della Legge 90/13, pubblicati nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015. I tre decreti vanno a chiudere il recepimento della Direttiva 31/2010/UE iniziato con il Decreto Legge 63/2013 convertito in Legge con la Legge 90/13.
2. Viene indicata come "riflettanza" (coerentemente a quanto indicato sui dispositivi di legge) la misura della frazione di radiazione solare incidente che viene riflessa da una superficie irradiata. Il valore varia tra 0 (per

una superficie totalmente assorbente) e 1 (per una superficie totalmente riflettente). Corpi ad elevata riflettanza, soggetti alla radiazione solare, tendono a non riscaldarsi e conseguentemente a non riscaldare l'aria circostante.

3. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> (ultima consultazione: 05/05/2016)

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- [1] Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2015 - "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".
- [2] M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates, *Energy and Building* 42 (2010) 1619-27.
- [3] E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, Assessment of the effectiveness of cool and green roofs for the mitigation of the Heat Island effect and for the improvement of thermal comfort in Nearly Zero Energy Building, *Architectural Science Review* 58 (2015) 134-143.
- [4] M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, A. Stazi, The physics of vented roofs in hot and temperate climates: analysis of different strategies for the reduction of energy consumption and the improvement of environmental comfort, in: Joseph B. Utrick Editor, *Energy and Buildings: Efficiency, Air Quality, and Conservation*, Nova Science Publisher Inc., New York, 2009, pp. 349-367.
- [5] E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, Bricks and "Heat Island": cool strategies in the tradition, *Tile & Bricks International* 2 (2013) 17-29.
- [6] E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, Laterizi ed "Isola di calore": strategie cool nella tradizione, *Costruire In Laterizio* 150 (2012) 54-58.
- [7] UNI EN ISO 6946:2008 Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.
- [8] ASHRAE Standard 55-2013 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- [9] C.E. Hagnetoft, *Introduction to Buidlgin Physics*, Studentlitteratur, 2001.

Conclusioni

I risultati della ricerca condotta dimostrano come la strategia proposta dal normatore per il miglioramento del comfort estivo negli edifici, ovvero l'adozione di materiali di finitura ad elevata riflettanza, abbia un impatto estremamente limitato, dati i livelli di trasmittanza termica stazionaria richiesti oggi ai componenti edilizi. Viceversa appaiono più rilevanti le differenze in termini di temperatura superficiale esterna del manto in relazione alle diverse proprietà radiative, con le ovvie conseguenze sul fenomeno "isola di calore".

Confrontando i risultati delle simulazioni della prestazione termica di coperture ventilate con i dati rilevati sperimentalmente, appare evidente come l'utilizzo di una copertura ventilata sia una migliore strategia per mitigare il surriscaldamento degli ambienti in fase estiva.

La ricerca definisce infine una "riflettanza equivalente", ottenuta empiricamente dall'analisi dei dati sperimentali, da utilizzarsi in luogo della riflettanza del materiale di finitura in elementi edilizi ventilati, al fine di ottenere un indice sintetico delle capacità di raffrescamento passivo di tali componenti, in virtù degli scambi radiativi e convettivi che si attuano a livello degli strati più esterni.