

Influenza delle proprietà radiative del manto sul comportamento termico di sistemi di copertura

L'adozione indiscriminata di sistemi costruttivi nord europei, come i sistemi *sandwich* che in copertura accoppiano elevati spessori di isolamento a rivestimenti metallici, potrebbe non rivelarsi una strategia efficace per il contenimento dei consumi energetici ed il comfort interno in un clima di tipo mediterraneo

La forte spinta al “superisolamento”, incentivata dalle recenti direttive in tema di risparmio energetico in edilizia, sta diffondendo anche nel nostro Paese tecnologie costruttive tipicamente nord europee, che associano ad elevati spessori di isolamento rivestimenti leggeri, spesso in materiali metallici, sia per le pareti che in copertura. Il rischio di questa tendenza è quello di spostare esclusivamente sull'isolante (con conseguenti costi energetici in fase di produzione) la funzione di contenimento degli apporti termici per irraggiamento, oggi svolta, a basso costo, per le coperture, da materiali con un buon bilancio tra assorbanza ed emissività⁽¹⁾, quali i laterizi, accoppiati a sistemi di ventilazione. Questa scelta tecnologica, fatta per diretta omologazione di tipi costruttivi sviluppati in Paesi con climi particolarmente freddi, rischia, dunque, di avere conseguenze negative sul comportamento delle coperture in fase estiva. Per avere indicazioni al riguardo, estremizzando l'approccio proposto dalle normative (superisolamento), si è condotta una ricerca che ha cercato di comprendere l'influenza delle proprietà radiative del manto di copertura sullo stesso sistema costruttivo e sulle condizioni di comfort termico in un ambiente sottotetto. Dopo una attività sperimentale di caratterizzazione, si è analizzato il comportamento di una serie di coperture costituite da diversi materiali del manto (metallici ed in laterizio), con e senza ventilazione, riducendone via via la trasmittanza dai valori *ante* D.Lgs. 311/06 fino a valori volutamente estremizzati (15 cm di isolamento). La ricerca si è basata sull'elaborazione di dati sperimentali inerenti le prestazioni termiche in fase estiva e su un'analisi parametrica effettuata tramite software. I risultati evidenziano che i manti in laterizio presentano le migliori proprietà radiative, in termini di elevata emissività e media assorbanza, ai fini del comfort termico in fase estiva e del risparmio energetico. Tuttavia, le differenze con

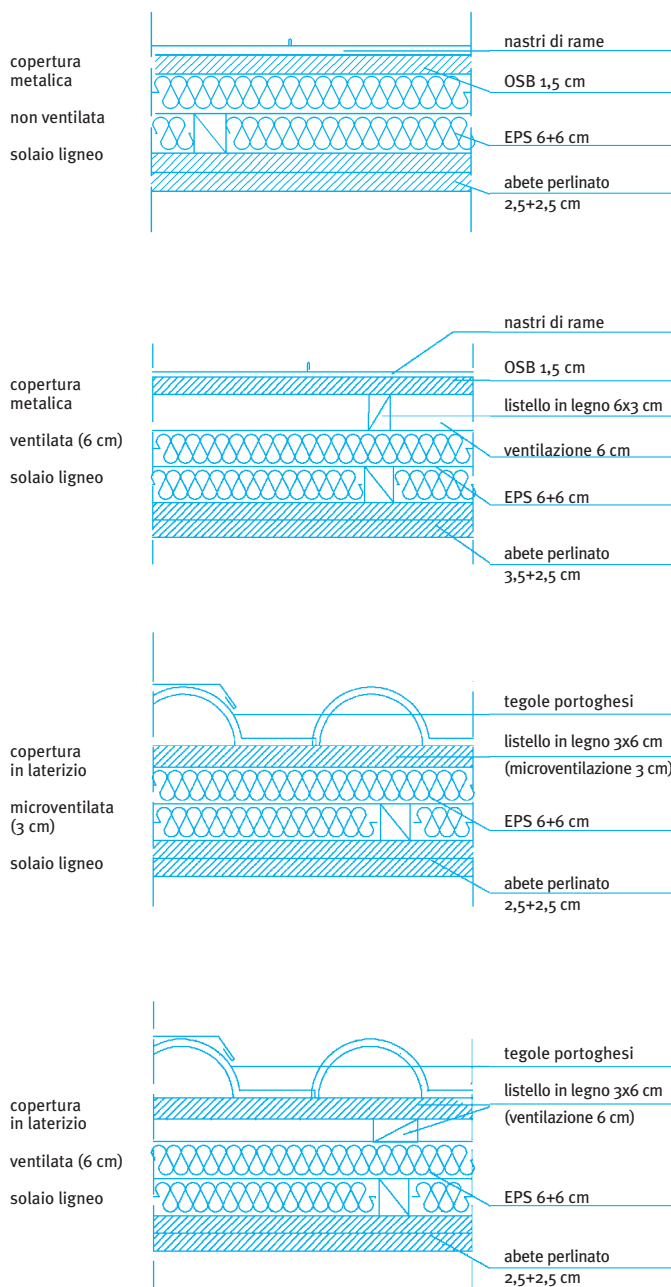
tipologie di copertura con manto di altro materiale risultano attenuate qualora le stratigrafie siano contemporaneamente superisolate e ventilate, per effetto del “disaccoppiamento termico” creato dal pacchetto isolante-ventilazione. L'attività condotta dimostra che, se si adotta un alto isolamento in coperture a manto metallico, le proprietà radiative di quest'ultimo, ad elevata emissività ed assorbanza, sono deleterie per il sistema costruttivo: come mostrato dai dati sperimentali, nel caso di soluzioni ventilate l'isolante tende a raggiungere in fase estiva elevate temperature fino a 65 °C, mentre nel caso di una soluzione *sandwich* con manto metallico, ma senza ventilazione, l'isolante raggiunge addirittura gli 85 °C, con negative conseguenze in termini di durabilità dell'isolante stesso.

Fasi, materiali e metodi

La ricerca si è articolata nelle seguenti fasi:

- caratterizzazione radiativa dei materiali usualmente impiegati nella realizzazione di coperture (laterizi di diverso colore e manti metallici di diversa natura e colore);
- simulazione analitica tramite software di analisi termica;
- confronto con dati sperimentali raccolti su coperture reali con manto in laterizio ed in rame.

Durante l'attività sperimentale di caratterizzazione, si sono svolte prove per la determinazione dei valori di emissività e assorbanza, e di misurazione delle temperature superficiali di provini esposti a radiazione solare. I valori riscontrati (emissività ed assorbanza) hanno permesso di caratterizzare i materiali da utilizzare nei software di calcolo. L'attività di simulazione analitica è stata condotta mettendo a confronto tipologie di copertura scelte a seguito di un'analisi delle tecnologie realizzative metalliche e in laterizio di corrente uso, al fine di individuare quelle più rappresentative, ovve-



1. Tipologie di copertura considerate.



2. Edificio sperimentale con diversi sistemi di copertura fortemente isolati e diverso tipo di manto, oggetto di monitoraggio in fase estiva.

ro quelle che potessero essere comparabili in termini di costi e di presenza sull'attuale mercato edilizio. A seguito di tale analisi, si sono scelte delle soluzioni di copertura su solaio ligneo (5 cm di abete) di cui si riportano le stratigrafie "tipo" (fig. 1), sulle quali sono state svolte variazioni parametriche in termini di emissività ed assorbanza del manto, altezza di intercapedine di ventilazione, spessore di isolante. Le coperture scelte sono state implementate su un modello di edificio ricostruito e messo a punto attraverso dati sperimentali, facendo uso dei software *Design Builder*⁽²⁾ e *Energy Plus*⁽³⁾. I dati di *output* delle simulazioni svolte tramite *Energy Plus*, relativi alla temperatura dell'aria degli ambienti interni, sono stati valutati in termini di percentuale di numero di ore con valori superiori a 26 °C⁽⁴⁾ (nel periodo 1 giugno-30 settembre). Tale temperatura è solitamente assunta quale indice limite di comfort termico estivo in un ambiente abitato: attualmente, gli standard energetici costruttivi, orientati verso soluzioni passive e iperisolate, fissano al 10% la percentuale ottimale massima di ore superiori ai 26 °C, indipendentemente dal contesto climatico.

I risultati emersi sono stati infine confrontati con i dati sperimentali relativi al monitoraggio estivo condotto sugli stessi sistemi di copertura (fig. 1) posti su un edificio prototipo (fig. 2).

Caratterizzazione dei materiali I valori di emissività ed assorbanza rilevati sperimentalmente sono riportati in tabella 1.

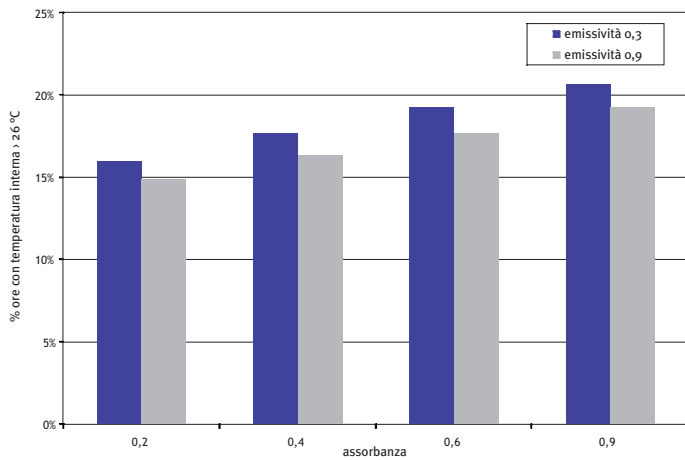
Per quanto riguarda l'emissività, si sono osservati valori molto differenti tra i vari materiali. Al crescere di questo parametro, si sono registrate temperature superficiali dei provini decrescenti.

La prova per la determinazione dell'assorbanza ha mostrato, invece, come diversi tipi di materiali possano presentare valori di assorbanza simili (laterizio, rame, zinco scuro), dipendenti dal livello di saturazione del loro colore in superficie. In seguito a tale considerazione, si è verificato come materiali differenti, ma con colorazioni simili, presentino, se esposti alle stesse condizioni esterne, comportamenti comparabili. I valori di assorbanza più bassi si riferiscono ai materiali metallici "nuovi", appena installati. Tuttavia, bisogna considerare che nel tempo, con l'esposizione agli agenti atmosferici, tali materiali tendono ad acquisire una particolare patina superficiale, con il conseguente incremento del coefficiente di assorbimento (assorbanza).

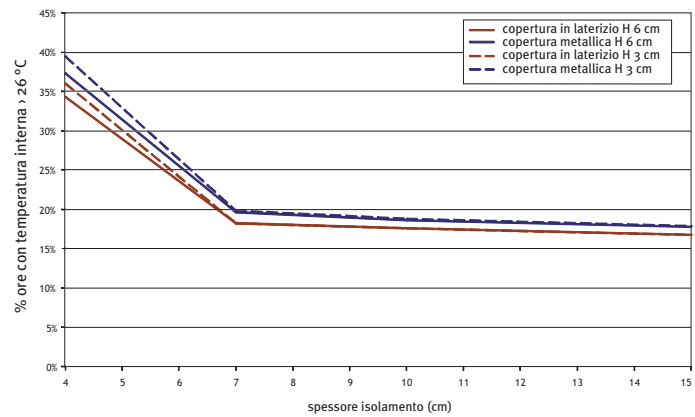
Si può dunque concludere che il laterizio, dotato di elevata emissività (0,9) e di un valore di assorbanza medio-alto (0,7), ma comunque costante nel tempo, raggiunge di fatto temperature superficiali inferiori, se sottoposto allo stesso irraggiamento dei manti metallici.

Influenza delle caratteristiche di emissività e assorbanza del manto di copertura sulle condizioni di comfort termico

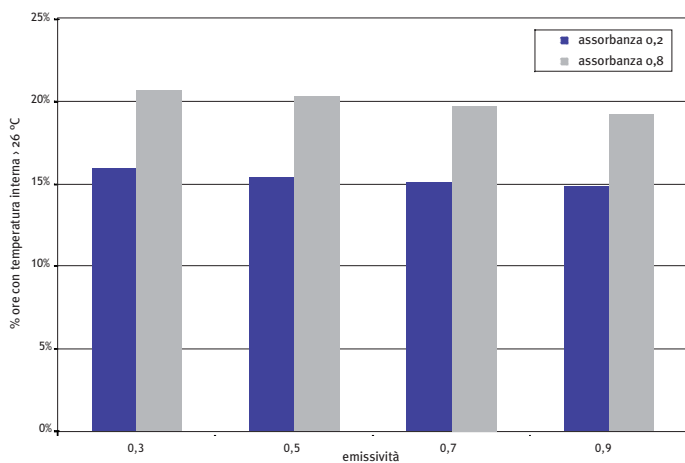
Sulle tipologie di copertura definite in fig. 1, si è condotta una serie di simulazioni parametrizzando i valori di emissività e assorbanza ricavati sperimentalmente, volte a valutare in che misura le proprietà radiative del manto di copertura possano incidere sulle condizioni di comfort termiche interne estive in un ambiente sottotetto. In fig. 3, sono riportati i risultati relativi alla copertura ven-



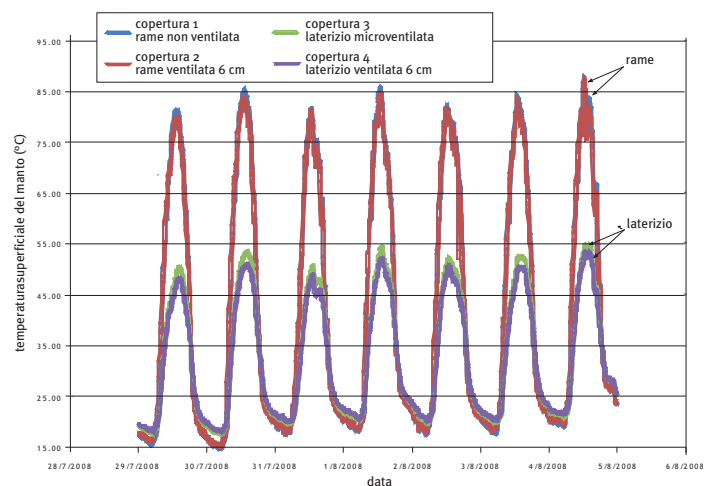
3. Influenza dell'assorbanza (solaio ligneo, altezza di ventilazione 3 cm, emissività manto di copertura 0,3 ÷ 0,9) sulle condizioni di comfort interno, a parità di emissività.



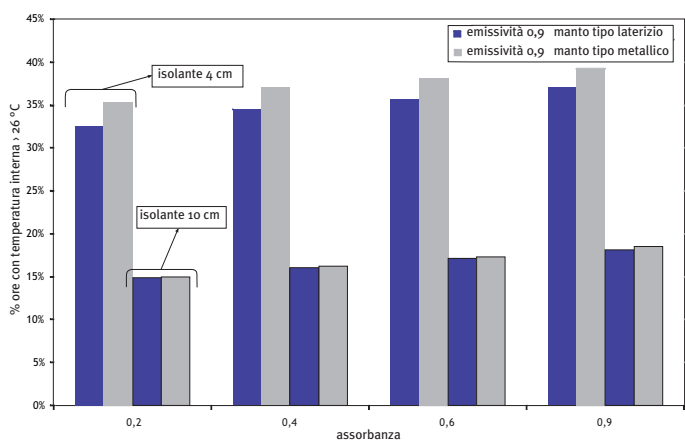
6. Influenza del tipo di manto in associazione a diversi condotti di ventilazione sul comportamento termico di coperture fortemente isolate.



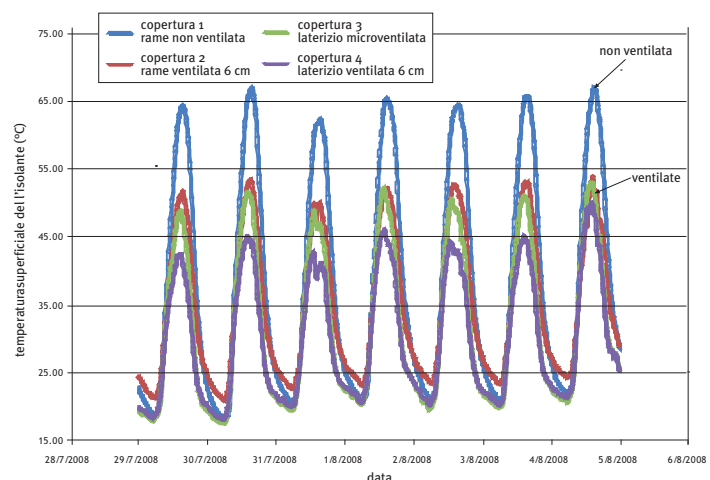
4. Influenza dell'emissività (solaio ligneo, altezza di ventilazione 3 cm, assorbanza manto di copertura 0,2 ÷ 0,8) sulle condizioni di comfort interno, a parità di assorbanza.



7. Temperatura superficiale del manto di tipologie di copertura in rame ed in laterizio, con diverse altezze di intercapedine di ventilazione.



5. Differenze tra tipologie di copertura con diverso tipo di manto e spessore di isolante, a parità di emissività.



8. Temperatura superficiale dell'isolante di tipologie di copertura in rame ed in laterizio, con diverse altezze di intercapedine di ventilazione.

1 Emissività ed assorbanza di campioni di materiali normalmente impiegati per manti di copertura, determinate con prove sperimentali di caratterizzazione.

Materiale	Assorbanza (α)	Emissività (ϵ)
Laterizio	0,7	0,9
Rame	0,6	0,3
Zinco prepatinato - decapaggio scuro	0,7	0,3
Zinco prepatinato - decapaggio chiaro	0,3	0,3
Zinco lucido da laminatoio	0,1	0,3

tilata con intercapedine alta 3 cm. In ascissa sono rappresentati i differenti valori di assorbanza ed in ordinata la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C. In fig. 4, invece, in ascissa sono rappresentati differenti valori di emissività ed in ordinata ancora la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C. Dai grafici si osserva che, al crescere della emissività, la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore ai 26 °C si riduce. Al contrario, al crescere dell'assorbanza tale percentuale aumenta. L'assorbanza, inoltre, dà luogo, rispetto all'emissività, ad una maggiore variazione percentuale del numero di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C, dell'ordine del 5 ÷ 6%, a parità di emissività (circa 6 giorni, sull'intero periodo estivo). Tale variazione percentuale, per effetto dell'emissività (a parità di assorbanza), è solo dell'1,5 ÷ 2%. In presenza di elevati spessori di isolamento (fig. 5), si osserva che le differenze tra le diverse tipologie di manto si riducono, rispetto al caso di coperture poco isolate. A pari valore di emissività, le differenze imputabili all'assorbanza per quanto riguarda le condizioni di comfort termiche interne estive sono dell'ordine del 3 ÷ 4% tra manto tipo metallico e manto tipo laterizio, in presenza di 4 cm di isolamento; al crescere dello spessore di isolamento (10 cm) le differenze si riducono ulteriormente.

Infine, in fig. 6, si riportano in ascissa lo spessore di isolamento e in ordinata la percentuale di ore con temperatura dell'aria interna superiore a 26 °C, per le differenti tipologie di copertura, al fine di indagare l'influenza delle proprietà radiative in relazione alla presenza di condotti di ventilazione. Anche qui si può osservare un appiattimento del comportamento tra le diverse tipologie indagate.

Effetti delle proprietà radiative sulla durabilità del manto

Se l'incremento dello spessore di isolamento sembra ridurre le differenze nel comfort termico connesse alle proprietà radiative del manto, non altrettanto si può dire per il comportamento termico del pacchetto di copertura. In particolare, se si considerano le temperature superficiali dei manti rilevate nel corso di una campagna sperimentale sulle stesse tipologie di copertura fin qui descritte (fig. 7), si può osservare come le soluzioni "metalliche", ventilate e non ventilate, raggiungano temperature elevatissime (oltre gli 85 °C), in accordo con il fatto che il rame, già patinato dopo soli 6 mesi in opera, si presenta con elevati valori di assorbanza.

Se si considerano le corrispondenti temperature dell'estradosso dell'isolante (fig. 8), si può constatare una netta differenza di comportamento tra la tipologia di copertura non ventilata in rame e quel-

le ventilate in laterizio e in rame. La prima raggiunge temperature molto elevate anche sull'isolante (fino a 65 °C), con possibili conseguenze dannose in termini di durabilità. Pertanto, strategie di controllo passivo del surriscaldamento, come la ventilazione in intercapedine, sembrano essere in questo caso efficaci nel ridurre il carico termico e quindi la temperatura degli isolanti nelle tipologie ventilate, soprattutto nelle coperture in laterizio, grazie anche alla loro intrinseca permeabilità. Se si confrontano, infatti, le due tipologie con intercapedine alta 6 cm, con manto in laterizio e manto in rame, si può osservare come la prima presenti le minori temperature sull'estradosso dell'isolante (la differenza è tra i 5 ed i 7 °C), in accordo con le sue migliori proprietà radiative, che consentono una continua asportazione di calore per ventilazione, integrate dalla "discontinuità" di posa degli elementi componenti.

Conclusioni Le prove sperimentali di valutazione delle proprietà radiative di diversi materiali utilizzati come manto per coperture hanno mostrato come questi si differenzino sostanzialmente per le caratteristiche di emissività (valori elevati per i laterizi, bassi per i materiali metallici). Il coefficiente di assorbimento, dipendente dal livello di saturazione del colore del materiale, si presenta sostanzialmente analogo, in dipendenza dal fatto che col tempo i materiali metallici tendono ad assumere una patina superficiale che ne muta sostanzialmente la colorazione, rendendone la saturazione cromatica simile a quella dei laterizi.

Le simulazioni analitiche condotte su diversi sistemi di copertura, al variare delle proprietà radiative del manto, hanno mostrato come, per bassi spessori di isolamento, queste ultime (in particolare l'assorbanza) possano incidere sulle condizioni di comfort termiche interne estive di un generico ambiente sottotetto: a bassi valori di assorbanza ed elevati valori di emissività (tipologie in laterizio) competono migliori prestazioni, e ciò è tanto più evidente in presenza di elevati valori di trasmittanza termica. Al crescere dello spessore di isolamento, tuttavia, le differenze fra i diversi tipi di manto si attenuano notevolmente ed al massimo risultano comprese entro il 5 ÷ 10%. Tali risultati trovano riscontro con dati sperimentali derivati da un monitoraggio estivo su tipologie di copertura fortemente isolate. Le strategie tradizionali, quali i manti in laterizio, permeabili all'aria, e le intercapedini di ventilazione, già diffuse da decenni, risultano, infatti, i mezzi più efficaci per il controllo dei consumi energetici degli edifici e del comfort interno. ¶

Note

1. L'emissività di un materiale (di solito indicata con ϵ) è una misura della sua capacità di irraggiare energia. L'assorbanza o coefficiente di assorbimento (di solito indicata con α) rappresenta, invece, il rapporto tra l'energia assorbita da un corpo e quella incidente sulla sua superficie. Tali proprietà influenzano notevolmente la capacità di un materiale di scambiare calore per irraggiamento.
2. *Design Builder* è un software sviluppato dal Design Builder Software Ltd (DBS) con sede a Stroud, Gloucestershire (UK).
3. *Energy Plus* è uno strumento di simulazione dinamica sviluppato dal Dipartimento di Energia degli Stati Uniti d'America in collaborazione con l'Università dell'Illinois e l'Università della California.
4. Si tratta di un parametro impiegato nella valutazione del comfort termico in periodo estivo, utilizzato anche dal software PHPP del Passiv Haus Institut.