Marco D'Orazio

La ventilazione delle coperture in laterizio

Si riportano i risultati di una sperimentazione su 14 tipologie di coperture ventilate. La sperimentazione ha permesso poi di strutturare una metodica di calcolo che permette di stimare il contributo termico di coperture ventilate

Da diverso tempo sono apparsi sul mercato prodotti utili ad incrementare la ventilazione delle coperture in laterizio. Si tratta di prodotti (pannelli isolanti sagomati, elementi metallici o lignei atti a fungere da distanziatori, ecc.) che hanno lo scopo di garantire la regolazione termo-igrometrica del manto di copertura in laterizio ai fini sia di consentire una maggiore durata dello stesso che di permettere l'attenuazione degli effetti di surriscaldamento estivo tipici degli ambienti sottotetto (fig.1).

Su quest'ultima funzione alcune aziende hanno appuntato la loro attenzione, proponendo ai progettisti soluzioni tecnologiche che, per garantire un miglioramento del comportamento termico del sottotetto, presentano, rispetto alla copertura tradizionale, un più elevato grado di complessità, con la presenza di colmi rialzati, griglie antinsetti, ecc., variabili da sistema a sistema. È una complessità questa che ha dato luogo ad un'ampia gamma di prodotti, aventi caratteristiche tra loro anche molto differenti in termini di altezza e geometria delle intercapedini di ventilazione, con la difficoltà oggettiva da parte del progettista di comprendere i benefici dati dai diversi sistemi in relazione al loro costo. Sulla scorta di queste considerazioni, nell'ambito di un programma sperimentale condotto già da alcuni anni[1], si è effettuata la caratterizzazione di 14 tipologie di coperture ventilate con lo scopo di ricavare valori utili alla quantificazione degli effetti benefici di tipo termico determinati dalla ventilazione. Sulla base di tali dati si è poi impostata una procedura semplificata di calcolo, tale da consentire di stimare il contributo portato da alcune tipologie di coperture ventilate, correlando i benefici attesi alle caratteristiche climatiche locali ed alla conformazione dell'intero edificio.

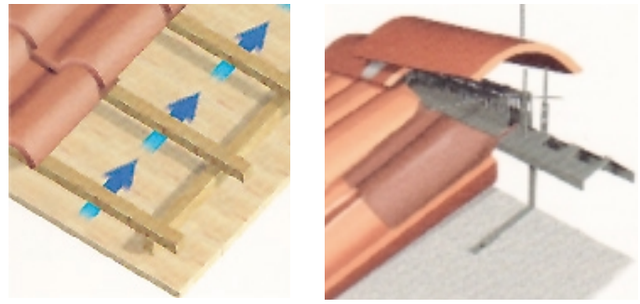
La sperimentazione ha dimostrato come la ventilazione sottomanto risulti positiva garantendo una effettiva riduzione dei flussi termici passanti nell'ambiente sottotetto. Un aspetto particolare emerso dalla sperimentazione è il fatto che tale miglioramento è apparso legato oltre che alla dissipazione attraverso il canale di aerazione, aspetto già indagato con diverse sperimentazioni, anche alla capacità di dissipazione tra i giunti non a tenuta, caratteristici dei manti in laterizio. In particolare il calore, oltre che dal colmo, riesce a fluire anche tra gli elementi in laterizio, aiutato dall'azione depressiva creata dal vento sulla falda stessa[2]. Utilizzando poi la procedura di calcolo, definita sulla base dei risultati sperimentali, si evidenzia come il miglioramento fornito dalla ventilazione appaia già consistente per spessori non elevati di ventilazione. Va tuttavia evidenziato come la copertura ventilata si inserisca all'interno di un sistema dove altri elementi possono risultare determinanti nello stabilire le condizioni di confortevolezza termica (ad esempio, finestre in copertura): quindi una eccessiva richiesta di prestazioni rischia di essere vanificata, almeno da un punto di vista termico. Si ribadisce il fatto che le considerazioni riportate nel seguito si riferiscono alla ventilazione come sistema di dissipazione del calore, risultando al momento non indagati sperimentalmente gli aspetti igrometrici legati alla ventilazione.

Il quadro delle prove sperimentali La fase di sperimentazione è consistita nell'analisi sperimentale del comportamento di una falda (7 m di lunghezza) in esterno, sulla quale per circa 3 mesi, in fase estiva, sono stati monitorati in continuo 14 sistemi di ventilazione di coperture in laterizio, dati dalla combinazione tra l'altezza della camera di ventilazione (3 tipi), il tipo di manto di copertura (2 tipologie) ed elementi aggiuntivi utilizzati nel nord dell'Europa (fogli di alluminio, sistemi

di tenuta sottomanto, fig. 2).
In particolare si sono analizzate le seguenti tipologie di copertura:
• *tegole portoghesi + microventilazione*[3]*;*
• *tegole marsigliesi + microventilazione;*
• *tegole portoghesi + media ventilazione*[4] *(h=3 cm);*
• *tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3 cm) + tenuta all'aria tra i giunti degli elementi discontinui;*
• *tegole portoghesi + media ventilazione (h=3 cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante;*
• *tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3 cm) + strato interno di tenuta all'aria ottenuto inserendo un foglio di polietilene;*
• *tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3 cm);*
• *tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3 cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante;*
• *tegole portoghesi + alta ventilazione*[5] *(h=6 cm);*
• *tegole portoghesi + alta ventilazione (h=6 cm) + tenuta all'aria tra i giunti degli elementi discontinui;*
• *tegole portoghesi + alta ventilazione (h=6 cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante;*
• *tegole portoghesi + alta ventilazione (h=6 cm) + strato interno di tenuta all'aria ottenuto inserendo un foglio di polietilene;*
• *tegole marsigliesi + alta ventilazione (h=6 cm);*
• *tegole marsigliesi + alta ventilazione (h=6 cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante.*
Per il rilievo delle grandezze termiche, cinetiche e di pressione si sono utilizzate 17 termoresistenze PT100 preventivamente calibrate, 3 anemometri a filo caldo, un flussimetro ed una sonda di pressione differenziale con fondo scala 100 hPa (fig.3). Le condizioni ambientali e meteorologiche sono state acquisite in contemporanea da una centralina climatica dotata di un pluviometro, un radiometro, un sensore di umidità e temperatura e di un sensore per la velocità e direzione del vento.
Tutti i dati sono stati raccolti in continuo per tre giorni per ciascuna soluzione costruttiva esaminata in tre sezioni della falda: vicino alla gronda, a metà falda e vicino al colmo, in modo da valutare eventuali variazioni di comportamento lungo il condotto. Per ogni soluzione costruttiva sono stati effettuati in ciascuna delle tre posizioni 864 rilievi. Si è quindi operata una trattazione statistica dei dati complessivi svolgendo analisi di correlazione in modo da individuare la maggiore o minore influenza delle variabili climatiche (quali la temperatura dell'aria esterna, l'irraggiamento, la radiazione solare, la velocità e la direzione del vento) sulla determinazione del flusso all'intradosso della falda e quindi sul comportamento delle diverse tipologie di tetto indagate (fig.4).

Il comportamento delle coperture ventilate in laterizio

Il comportamento verificato sperimentalmente è apparso decisamente complesso e non riconducibile alla semplice sovrapposizione degli effetti di un condotto di ventilazione ad una struttura di copertura, criterio con il quale vengono oggi

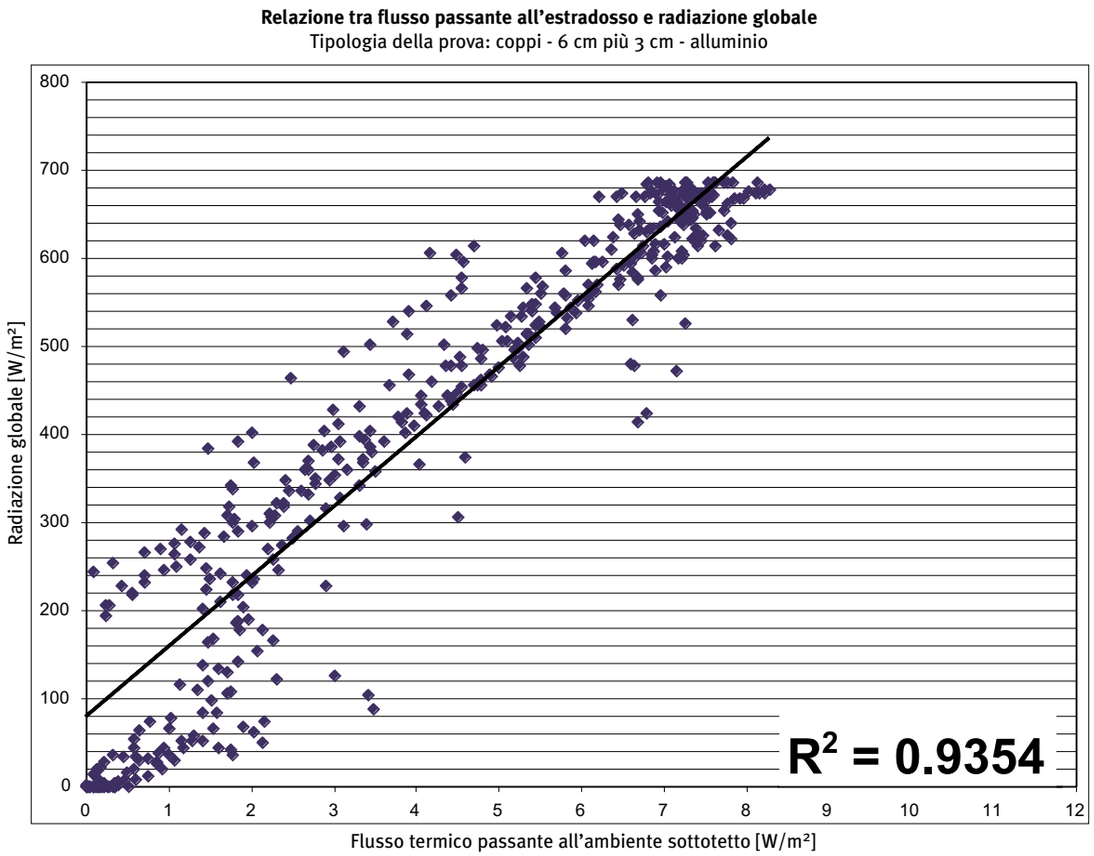


1. Alcuni sistemi di ventilazione oggi utilizzati per le coperture in laterizio.

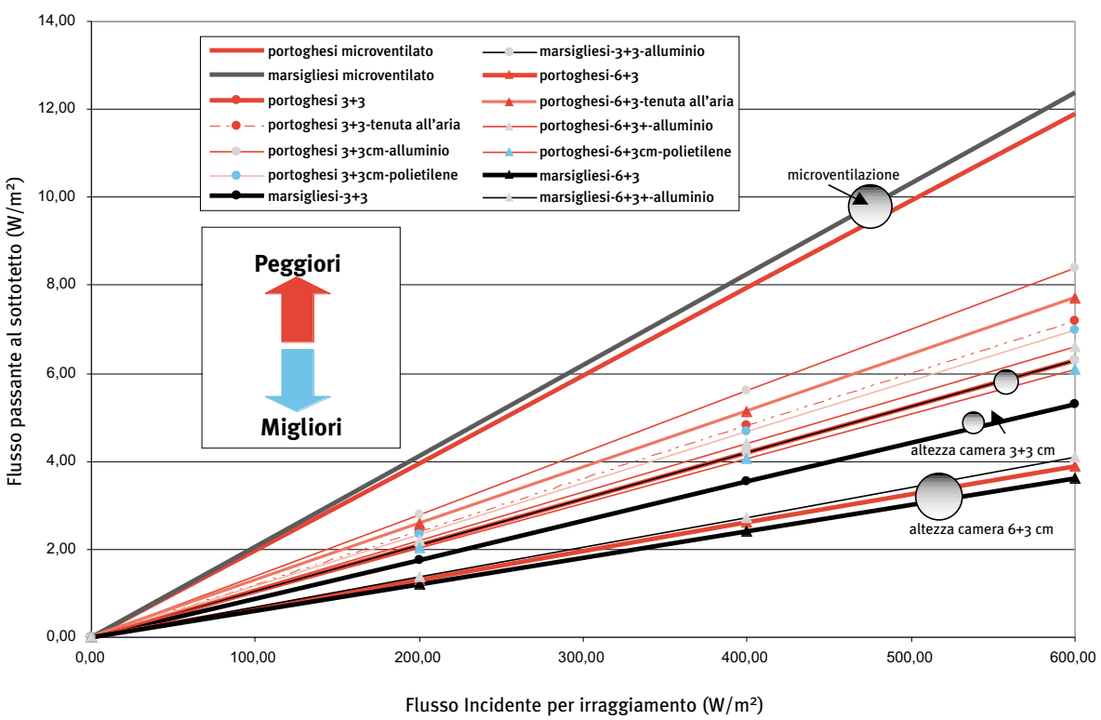
2. Falda di copertura utilizzata per la sperimentazione.

3. Posizionamento delle sonde nella sezione in prossimità della gronda.

descritti graficamente su diversi manuali gli effetti della ventilazione delle coperture (fig.5). In particolare, si è verificato come il comportamento di una copertura ventilata con elementi discontinui in laterizio dipenda da due aspetti:
• la dimensione del canale di ventilazione che assicura, come ovvio, capacità di dissipazione crescenti grazie all'aumento della velocità nel condotto;
• la tenuta dei giunti tra gli elementi discontinui, i quali garantiscono una ulteriore capacità dissipativa per la depressione creata dal vento sulla falda[1].
Per quanto riguarda il primo aspetto, si è verificato come l'entità del calore dissipato sia strettamente dipendente, per tutte le coperture, dal flusso termico dovuto all'irraggiamento, indipendentemente dalle altre variabili (temperatura esterna, ve-



4. L'analisi tra le diverse grandezze evidenzia chiaramente la correlazione di tipo lineare esistente tra flusso entrante per irraggiamento e flusso trasmesso al solaio dal pacchetto di copertura.



5. Il fatto che intuitivamente il riscaldamento determini una circolazione dell'aria con fuoriuscita della stessa dal colmo ha portato ad una certa semplificazione degli schemi di funzionamento delle coperture ventilate, lasciando pensare che solo in presenza di uno strato di ventilazione si riesca a garantire la dissipazione del calore. In realtà si è accertato sperimentalmente come le coperture con elementi in laterizio si comportino in una maniera assai distante da questo comportamento teorico, in quanto si verifica una dissipazione del calore direttamente attraverso i giunti, indipendentemente dalla presenza o meno di uno strato di ventilazione.

locità e direzione del vento). La quantità di calore che riesce ad entrare nel sottotetto è una percentuale del flusso entrante per irraggiamento, che si mantiene costante per ogni tipo di copertura indipendentemente dall'entità del flusso di irraggiamento[6]. Come facilmente intuibile, tale percentuale tende a diminuire con l'incremento della camera di ventilazione. Le coperture micro-ventilate limitano il passaggio all'ambiente sottotetto al 2% del flusso termico di irraggiamento. Le coperture con camera di ventilazione libera di altezza pari a 3 cm limitano il passaggio all'ambiente sottotetto allo 0,8-1%

del flusso termico di irraggiamento. Le coperture con camera di ventilazione libera di altezza pari a 6 cm limitano, infine, il passaggio all'ambiente sottotetto allo 0,5 – 0,7% del flusso termico di irraggiamento. La piccola dimensione della percentuale di flusso termico passante non deve tuttavia far pensare che la presenza di una copertura ventilata sia tale da abbattere in maniera così decisiva l'entità del calore entrante nell'ambiente sottotetto. Va considerato, infatti, che la maggior parte del calore incidente su una copertura in laterizio viene dissipato per convezione direttamente dagli elementi di copertura (90-95%). Per quanto riguarda il secondo aspetto, si è verificato come, effettuando prove garantendo la tenuta all'aria del manto discontinuo, e quindi inibendo la possibilità di dissipazione del calore attraverso i giunti, ci sia un forte peggioramento del comportamento di tutte le coperture, segno che attraverso i giunti tra gli elementi di copertura si verifica un consistente passaggio di aria e quindi di calore (fig. 6).
La variazione di comportamento è consistente al punto che ha un ordine di grandezza comparabile rispetto al miglioramento portato dal passaggio dalla micro alla macroventilazione, aspetto che evidenzia le maggiori capacità dissipative di calore ottenibili con una copertura "discontinua" con elementi in laterizio piuttosto che con una copertura "continua", ad esempio realizzata con pannellli metallici.
La verifica sperimentale dei sistemi di attenuazione degli scambi radiativi (impiego di fogli di alluminio all'intradosso della falda) non ha portato a risultati significativi, peggiorando in compenso il comportamento della copertura ventilata. Ciò tuttavia va correlato al tipo di alluminio prescelto e, probabilmente, anche ad un non corretto posizionamento dello stesso foglio di alluminio, posto direttamente a contatto con lo strato inferiore e quindi in grado di scambiare calore per conduzione.
Assolutamente insoddisfacente dal punto di vista termico è apparso, infine, il comportamento delle coperture con l'introduzione di un foglio di polietilene posto a separare gli elementi in laterizio dalla camera di ventilazione. Questa pratica, indicata in codici nord-europei per limitare lo scambio termico verso l'esterno in fase invernale, non porta a risultati soddisfacenti se impiegata in climi caldi o temperati.

Come stimare il comportamento delle coperture ventilate in laterizio Definiti sperimentalmente i parametri di comportamento delle diverse tipologie di copertura ventilata, si è cercato di definire uno strumento utile a comprendere l'impegno economico che è ragionevole porre in essere per la realizzazione di una copertura ventilata. Per far questo è stata messa a punto una procedura di calcolo di tipo semi-empirico, basata sui coefficienti ricavati con la caratterizzazione sperimentale, utile ad effettuare valutazioni di comportamento termico di ambienti sottotetto in cui alla copertura ventilata si associno altri elementi (ad esempio, finestre da tetto) in grado di incidere fortemente sul benessere di tipo termico. La procedura di calcolo fa riferimento alla UNI 10375 (metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti), sfruttando la linearità della relazione individuata sperimentalmente tra flusso incidente per irraggiamento e flusso effettivamente trasmesso all'ambiente sottotetto. Si è fatto riferimento, in particolare, alla procedura semplificata[7] che stima le temperature nel sottotetto, grazie ad un semplice bilancio energetico tra il calore entrante, per irraggiamento, e quello uscente, per ventilazione e conduzione, da un ambiente avente come unica superficie disperdente verso l'esterno la copertura. La procedura stima la temperatura interna mediante un bilancio tra calore entrante per irraggiamento e calore perso per convezione e reirraggiamento dalla superficie della copertura, in modo da ricavare la temperatura superficiale esterna, correlandola poi con le perdite per ventilazione in modo da ottenere:

$$Ti = Te + I\left[\frac{\alpha}{h_c}\left(1 + \frac{\dot{m}Cp}{A\kappa}\right)\right] \qquad [1]^8$$

La relazione sopra riportata naturalmente non considera la possibilità di dissipazione di calore per la ventilazione delle coperture; aspetto che invece è possibile inserire grazie ai dati sperimentali. Ripercorrendo il metodo della UNI citata ed inserendo un coefficiente correttivo "*c*" capace di sintetizzare l'effetto delle diverse tipologie di coperture ventilare si può porre che:

$$Ti = Te + I\,A_t\,c/\dot{m}Cp \qquad [2]^9$$

equivalente alla [1].
Da queste due relazioni è possibile ottenere la temperatura estiva interna nel caso di coperture ventilate [2] o in assenza delle stesse [1].
Se poi si considera anche il caso di finestre in copertura la [2] diventa:

$$Ti = Te + [I\,(A_t\,c + A_f\,\alpha_f)/\dot{m}Cp] \qquad [3]$$

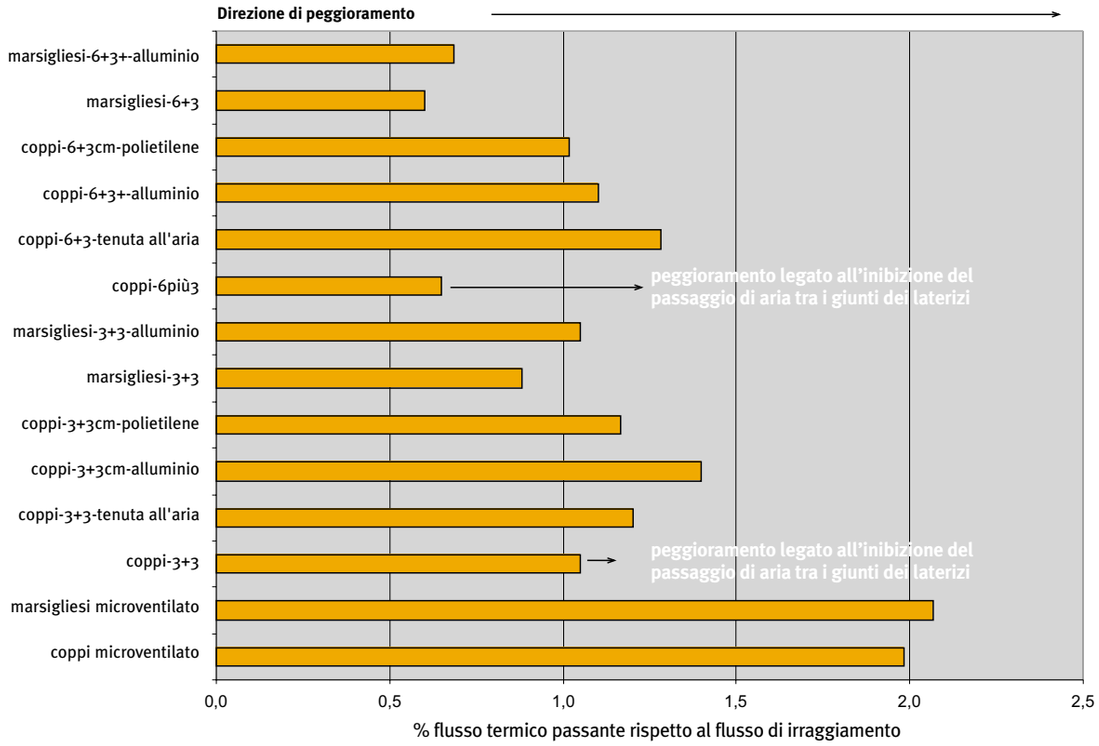
Dove A_t è l'area del tetto e A_f l'area della superficie vetrata.
La prima considerazione che è possibile effettuare, grazie al metodo proposto, riguarda la riduzione del flusso termico ottenibile dall'adozione di diverse tipologie di coperture ventilate in assenza di altri elementi in grado di incidere sulle temperature del sottotetto.
A pari portata d'aria risulta infatti che:

$$c <= (\alpha/h_c)\,(k\,\dot{m}Cp)/(k + \dot{m}Cp) \qquad [4]$$

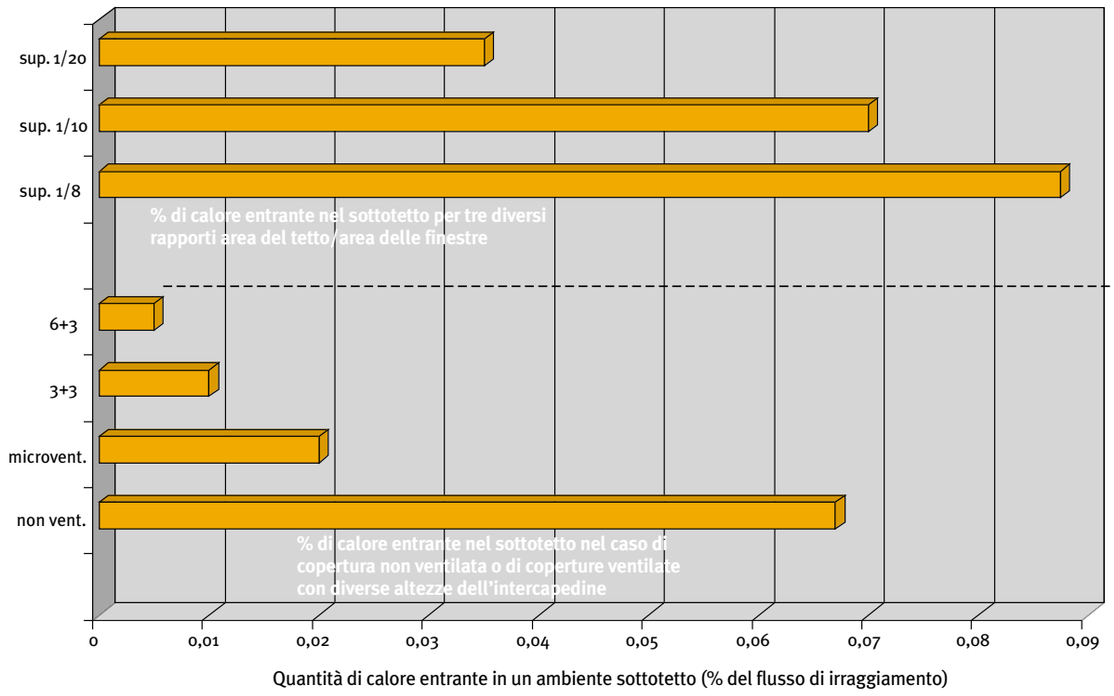
e considerando che già con 1 ricambio/ora $\dot{m}Cp >> k$, la [4] si può semplificare giungendo alla:

$$c <= (\alpha\,k\,/\,h_c). \qquad [5]$$

Considerando poi che $\alpha/h_c = 0{,}1$; $k = 0{,}67$, si ottiene $c <= 0{,}067$.
Da ciò deriva, in buona sostanza, che la percentuale di calore passante all'ambiente sottotetto in assenza di ventilazione, per sola dissipazione per convezione naturale al di sopra del manto di copertura, può ritenersi pari al massimo al 6-7% del flusso incidente per irraggiamento.



6. Nei grafici rintracciabili sulla manualistica e sui depliants commerciali viene indicata la ventilazione delle coperture semplicemente come ingresso di aria dalla gronda ed uscita dal colmo. In realtà il comportamento è assai più complesso e sostanzialmente legato anche agli effetti del vento sulla copertura ed alla sua interazione con gli elementi discontinui. Il vento crea, infatti, una depressione sulla copertura forzando l'uscita dell'aria dai giunti tra i diversi elementi, al punto che la perdita di calore attraverso i giunti stessi risulta essere comparabile, come ordine da grandezza, a quella del colmo. Come dimostra la sperimentazione è inoltre evidenziato il fatto che la perdita di calore per ventilazione è molto limitata rispetto al valore che viene dissipato dagli elementi discontinui per semplice convenzione: circa il 3% del flusso entrante per irraggiamento rispetto al 90-95% disperso per convenzione.



7. Il grafico esemplifica la quantità di calore entrante in una copertura attraverso diversi elementi che definiscono il comportamento termico del sottotetto. I primi tre istogrammi rappresentano il calore che entrerebbe attraverso le finestre poste in copertura (espresso come % del flusso incidente per irraggiamento) per tre diversi rapporti di area rispetto alla superficie del tetto. Il secondo gruppo di istogrammi rappresenta la percentuale di calore entrante dalla superficie del tetto nel caso di copertura non ventilata e ventilata (con tre diversi spessori del canale di ventilazione). È possibile osservare come l'adozione di coperture ventilate a più elevato spessore tenda a limitare fortemente il calore entrante dal tetto. Va tuttavia rilevato come il passaggio a più alti spessori del canale di ventilazione appare ragionevole solo se si limita fortemente la presenza in copertura di elementi come le finestre, in grado di condizionare fortemente il comportamento termico del locale sottotetto.

Visto quindi che sperimentalmente il coefficiente "c" è apparso essere una grandezza variabile dal 2% del flusso incidente per irraggiamento, in caso di macroventilazione, al 3,5% in caso di microventilazione, significa che l'adozione di una copertura di limitata altezza del canale di ventilazione già permette di ridurre considerevolmente il calore entrante.
Una ulteriore considerazione può essere effettuata evidenziando il peso relativo della copertura ventilata rispetto agli altri elementi (ad esempio, finestre da tetto) che possono influire sul bilancio termico del sottotetto, aspetto che permette di chiarire l'utilità relativa delle soluzioni a diversa altezza del canale.
Indipendentemente dal numero di ricambi d'aria, si evidenzia come, affinché si possa percepire la variazione di comportamento termico data dall'adozione di una copertura ventilata

a più alto spessore (passaggio dalla microventilazione al 3+3 o al 6+3), sia necessario che la variazione della quantità di calore portata dalla copertura all'interno del sottotetto per l'adozione di un sistema con canale più elevato risulti almeno dello stesso ordine di grandezza di quello entrante attraverso gli altri elementi che definiscono la copertura (finestre da tetto, porzioni di pareti perimetrali)[10]. Limitandosi ad esemplificare la situazione con le finestre in copertura, è possibile osservare (fig. 7) come rischi di essere marginale il miglioramento dato dall'adozione di sistemi di copertura ventilata di elevata altezza. L'incremento della camera di ventilazione, che in assoluto garantirebbe la massima efficienza termica, ha senso solo se si riesce contemporaneamente a limitare la quantità di calore entrante nel sottotetto attraverso gli altri elementi che normalmente sono presenti in una copertura.

Conclusioni La presente ricerca ha dimostrato, in linea con altre ricerche, l'utilità dello strato di ventilazione in copertura ai fini termici ed ha permesso di cogliere aspetti di comportamento caratteristici delle coperture ventilate con elementi discontinui in laterizio. Oltre all'ovvia cessione di calore per fuoriuscita di aria dal colmo, si è accertata in particolare una capacità di dissipazione ulteriore e numericamente significativa dovuta ai giunti tra gli elementi in laterizio, per un probabile effetto di depressione dovuto al vento sulla falda.
Tra i diversi sistemi analizzati, quelli a più alto spessore hanno garantito come ovvio le maggiori prestazioni. Va rilevato, tuttavia, come abbia senso spingere verso tali valori solo se si riesce a limitare fortemente il contributo dovuto agli altri elementi che compartecipano al bilancio termico del sottotetto. Le sperimentazioni sulle quali si basa questo articolo proseguiranno con la valutazione degli aspetti igrometrici invernali legati alla ventilazione.[11] ¶

Note

1. Su tali tematiche sono stati fino ad oggi realizzati quattro tetti sperimentali, i quali hanno permesso di valutare, prima in laboratorio e poi in esterno alcuni aspetti relativi al comportamento termico delle coperture ventilate. Il gruppo di ricerca risulta costituito da: Marco D'Orazio, Alessandro Stazi, Costanzo Di Perna.
2. Tale aspetto appare rendere molto diverso il comportamento di una copertura ventilata realizzata con elementi discontinui rispetto ad una copertura ventilata realizzata con elementi continui (ad esempio, metallici).
3. Garantita dal canale discontinuo dovuto al listello di appoggio degli elementi in laterizio.
4. Ottenuta sovrapponendo al listello parallelo alla pendenza della falda un ulteriore listello a questa ortogonale, con il risultato di avere 3 cm di canale libero + 3 cm di canale discontinuo.
5. Ottenuta sovrapponendo al listello parallelo due listelli e disponendo di 6 cm di canale libero + 3 cm di canale discontinuo.
6. Sperimentazioni condotte precedentemente hanno dimostrato la difficoltà di leggere i risultati sperimentali basandosi sulla misura della quantità di calore asportata con la ventilazione, ottenibile registrando le velocità medie del condotto e la differenza di temperatura in ingresso ed in uscita. Ciò è dipeso dal fatto, confermato sperimentalmente, che esistono molteplici possibilità di ingresso ed uscita dell'aria; non è plausibile utilizzare, quindi, analogie di tipo termo-fluidodinamico con il moto dell'aria in condotti con un unico ingresso ed una unica uscita. Si è invece verificata la possibilità di misurare il flusso termico trasmesso dal solaio all'interno del sottotetto, in rapporto alle diverse grandezze climatiche. Poiché si sono effettuate circa 1000 misure per ogni tipologia di copertura si è potuta costruire la correlazione di tipo statistico esistente in particolare tra flusso termico di irraggiamento incidente sulla falda e flusso termico passante (ciò che entra effettivamente) nel sottotetto. Il flusso termico passante rappresenta quindi la percentuale di calore che riesce effettivamente ad entrare al netto delle perdite in copertura (convezione sulla superficie del manto, perdite per ventilazione nel canale, dissipazione tra i giunti).
7. Rispetto alla formulazione generale che considera l'inerzia termica delle strutture e quindi lo sfalsamento temporale della temperatura massima interna rispetto alla massima esterna.
8. Il procedimento può essere sintetizzato nel seguente modo:

$$Qx = I\alpha + (Tx-Te)\, h_c = 0 \qquad [1]$$

da cui: $$Tx = Te + I\alpha / h_c \qquad [2]$$

poi, considerando che: $$Qx = (Tx-Ti)k \qquad [3]$$

si riuniscono la [2] e la [3] per ottenere

$$Qx = (Te + I\alpha / h_c - Ti)\, k = (Te-Ti)k + I\alpha\, k / h_c \qquad [4]$$

Il metodo di calcolo, considerando che *Qx* rappresenta il flusso termico entrante dalla copertura, e ipotizzando l'assenza di superfici finestrate o altre superfici opache lo eguaglia al flusso termico che si perde per ventilazione dell'ambiente, per ottenere:

$$A_t \cdot [(Te-Ti)k + I\alpha\, k / h_c] = \dot{m}Cp\,(Te-Ti) \qquad [5]$$

da cui si ottiene in conclusione la temperatura estiva interna *Ti* dell'ambiente con la:

$$Ti = Te + I(\alpha/h_c)/\,(1 + \dot{m}Cp/k) \qquad [6]$$

Dove: *Qx* = flusso termico entrante dalla copertura dato dal bilancio tra il contributo positivo dell'irraggiamento ed il contributo negativo della ventilazione (W/m^2); *I* = flusso termico di irraggiamento (W/m^2); α = coefficiente di assorbimento della superficie della copertura (-); *k* = coefficiente di scambio termico (W/m^2K); h_c = coefficiente globale di scambio convettivo e radiativo (W/m^2K); *Tx* = temperatura della superficie esterna della copertura (K); *Te* = temperatura dell'aria esterna (K); *Ti* = temperatura dell'aria interna (K); *m* = portata d'aria ottenibile dal numero di ricambi orari prefissati dalla UNI 10375 (kg/s); *Cp* = calore specifico dell'aria (1001 J/KgK).
9. Il flusso termico passante nell'ambiente sottotetto può essere considerato una percentuale del flusso entrante per irraggiamento e quindi: Qx = Ic. Considerando ora che per il bilancio energetico il calore entrante deve eguagliare il calore uscente per ventilazione del locale si ottiene: Ic = $\dot{m}$Cp (Te-Ti) e quindi la [2].
10. Se le finestre in copertura, ad esempio, portano una quantità di calore pari a 10 volte il calore entrante dal tetto e se il miglioramento termico ottenibile incrementando l'altezza dal 3+3 al 6+3 è di un ordine di grandezza inferiore, è inutile quindi porsi problemi di miglioramento del tiraggio per ventilazione incrementando l'altezza del canale di ventilazione.
11. È in corso la costruzione di una porzione di edificio – 35 m^2 – atto a simulare un ambiente sottotetto, in presenza di diversi sistemi di ventilazione.

Bibliografia

[1] Ashrae, *Fundamentals*, NY, 1983.
[2] Hens U., Janssens A., *Heat and moisture response of vented and compact cathedral ceilings: a test house evaluation*, in Ashrae transactions vol. 105, part1, 1999.
[3] Naylor. Floriyan e Tarasuk, *A numerical study of developing free convection between isothermal vertical plates*, in Transaction of the ASME, vol.113, agosto '91.
[4] Sandeberg e Moshfegh, *Ventilated-solar roof air flow and heat transfer investigation*, in Renewable Energy, vol.15, 1998.
[5] Silberstein e Hens, *Effects of Air and Moisture Flows, on Thermal Performance of Insulation*, in Ventilated Roofs and Walls Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, vol.19, aprile 1996.
[6] D'Orazio M., Stazi A., Giancarli D., *La progettazione delle coperture ventilate: caratterizzazione sperimentale e verifica analitica del comportamento in diverse zone climatiche*, in atti del Convegno "Costruire l'architettura, i materiali, le tecniche, i componenti", Napoli, 2000.
[7] D'Orazio M., *Risparmio energetico? Dipende*, in Modulo 265, ottobre 2000.