



LA VENTILAZIONE DELLE COPERTURE IN LATERIZIO

Marco D'Orazio

Istituto di Edilizia, Università degli Studi di Ancona, via di Brece Bianche 60100
Ancona

Introduzione

Da diverso tempo sono stati introdotti 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 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.

E' una complessità questa che ha dato luogo a 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 anni¹, 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 su coperture in laterizio. Sulla base di tali dati si è poi impostata una procedura semplificata di calcolo, tale da consentire ai progettisti 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 a fini termici 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 ventilazione, 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 stessa².

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 (es. finestre in copertura), quindi

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 ventilare. 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 (es. metallici).



una eccessiva richiesta di prestazioni a questo elemento rischia di essere vanificata da ciò che la circonda, 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 igrotermici 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-europa (fogli alluminio, sistemi di tenuta sottomanto). (fig.2)

In particolare si sono analizzate le seguenti tipologie di copertura:

- tegole portoghesi + microventilazione³;
- tegole marsigliesi + microventilazione;
- tegole portoghesi + media ventilazione⁴ (h=3cm);
- tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3cm) + tenuta all'aria tra i giunti degli elementi discontinui;
- tegole portoghesi + media ventilazione (h=3cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante;
- tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3cm) + strato interno di tenuta all'aria ottenuto inserendo un foglio di polietilene;
- tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3cm);
- tegole marsigliesi + media ventilazione (h=3cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante;
- tegole portoghesi + alta ventilazione⁵ (h=6cm);
- tegole portoghesi + alta ventilazione (h=6cm) + tenuta all'aria tra i giunti degli elementi discontinui;
- tegole portoghesi + alta ventilazione (h=6cm) + alluminio posto alla base della camera ventilante;
- tegole portoghesi + alta ventilazione (h=6cm) + strato interno di tenuta all'aria ottenuto inserendo un foglio di polietilene;
- tegole marsigliesi + alta ventilazione (h=6cm);
- tegole marsigliesi + alta ventilazione (h=6cm) + 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 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.

³ Garantita dal canale discontinuo dovuto al listello di appoggio degli elementi in laterizio.

⁴ Ottenuta sovrapponendo al listello parallelo un listello ortogonale alla pendenza della falda e ottenendo quindi 3 cm. di canale libero + 3 cm di canale discontinuo.

⁵ Ottenuta sovrapponendo al listello parallelo due listelli e ottenendo quindi 6 cm. di canale libero + 3 cm di canale discontinuo.



Per ogni soluzione costruttiva si sono rilevati quindi in ciascuna delle tre posizioni 864 dati. Si è quindi effettuata una trattazione statistica dei dati complessivi effettuando 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 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 garantisce 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 è strettamente dipendente, per tutte le coperture, dal flusso termico portato per irraggiamento, indipendentemente dalle altre variabili (temperatura esterna, velocità 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 irraggiamento⁶. (fig.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 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 dai laterizi (90-95%).

⁶ Precedenti sperimentazioni condotte hanno dimostrato la difficoltà di leggere i risultati sperimentali basandosi sulla misura della quantità di calore asportata con la ventilazione, ottenibile misurando 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, quindi non è plausibile utilizzare 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 dei coppi, perdite per ventilazione nel canale, dissipazione tra i giunti).



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 discontinui si verifica un consistente passaggio di aria e quindi di calore. (Fig.7)

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 ad elementi discontinui in laterizio piuttosto che con una copertura continua.

La verifica sperimentale dei sistemi di attenuazione degli scambi radiativi (alluminio) non ha portato a risultati significativi, portando a far peggiorare il comportamento della copertura ventilata. Ciò tuttavia va correlato al tipo di alluminio prescelto e probabilmente anche ad un non corretto posizionamento del foglio di alluminio stesso, posto 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 lo spazio degli 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, abbiamo cercato di definire uno strumento utile a comprendere l'impegno economico che è ragionevole porre per la realizzazione di una copertura ventilata. Per questo abbiamo messo 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 associano altri elementi (es. finestre da tetto) in grado di incidere fortemente sul benessere di tipo termico.

La procedura di calcolo si basa sulla UNI 10375 (metodi 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 semplificata⁷ 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 ricavarsi la temperatura superficiale esterna, correlandola poi con le perdite per ventilazione in modo da ottenere:

$$T_i = T_e + I(\alpha/h_c) / (1 + mC_p/k) \quad [1]^8.$$

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:

$$Q_x = I\alpha + (T_x - T_e)h_c = 0 \quad [1]$$



La relazione sopra riportata naturalmente non considera la possibilità di dissipazione di calore per la ventilazione, 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:

$$T_i = T_e + I \cdot A \cdot c / m C_p \quad [2]^9$$

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 consideriamo anche il caso di superfici vetrate in copertura la [2] diventa:

$$T_i = T_e + (I \cdot (A_t \cdot c + A_f \cdot \alpha_f) / m C_p) \quad [3]$$

Dove A_t è l’area del tetto, 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:

$$c \leq (\alpha / h_c) \cdot (k \cdot m C_p) / (k + m C_p) \quad [4]$$

e considerando che già con $1 \text{ ric/h } m C_p \gg k$, la [4] si può semplificare giungendo alla:

$$c \leq (\alpha \cdot k / h_c) \quad [5]$$

Considerando poi che $\alpha / h_c = 0.1$; $k = 0.67$, si ottiene $c \leq 0.067$.

Ciò ci dice 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.

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.

da cui: $T_x = T_e + I \alpha / h_c \quad [2]$

poi, considerando che: $Q_x = (T_x - T_i) k \quad [3]$

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

$$Q_x = (T_e + I \alpha / h_c - T_i) k = (T_e - T_i) k + I \alpha k / h_c \quad [4]$$

Il metodo di calcolo, considerando che Q_x 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:

$$(T_e - T_i) k + I \alpha k / h_c = m C_p (T_e - T_i) \quad [5]$$

da cui si ottiene in conclusione la temperatura estiva interna “ T_i ” dell’ambiente con la:

$$T_i = T_e + I (\alpha / h_c) / (1 + m C_p / k) \quad [6]$$

Dove: Q_x = flusso termico entrante dalla copertura dato dal bilancio tra il contributo positivo dell’irraggiamento ed il contributo negativo della ventilazione [W/m²]; I = flusso termico di irraggiamento [W/m²]; α = coefficiente di assorbimento della superficie della copertura [-]; k = coefficiente di scambio termico [W/m²°K]; h_c = coefficiente globale di scambio convettivo e radiativo [W/m²°K]; T_x = temperatura della superficie esterna della copertura [°K]; T_e = temperatura dell’aria esterna [°K]; T_i = temperatura dell’aria interna [°K]; m [Kg/s] = rappresenta la portata d’aria ottenibile dal numero di ricambi orari prefissati dalla UNI 10375 ; [Kg/s]; C_p = 1001 J/Kg°K Calore specifico dell’aria.

⁹ Il flusso termico passante all’ambiente sottotetto può essere considerato una percentuale del flusso entrante per irraggiamento e quindi: $Q_x = I c$ [7]. Considerando ora che per il bilancio energetico il calore entrante deve eguagliare il calore uscente per ventilazione del locale si ottiene: $I c = m C_p (T_e - T_i)$ [8] e quindi:



Una ulteriore considerazione può essere effettuata evidenziando il peso relativo della copertura ventilata rispetto agli altri elementi (es. finestre da tetto) che possono definire il 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), è 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, sia almeno dello stesso ordine di grandezza di quello entrante attraverso gli altri elementi che definiscono la copertura (es. finestre da tetto, porzioni di pareti perimetrali)¹⁰.

Limitandoci ad esemplificare la situazione con le finestre in copertura, è possibile osservare (fig.8) 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.

Oltre all'ovvia cessione di calore per fuoriuscita di aria dal colmo, si è verificata in particolare una capacità di dissipazione ulteriore e significativa numericamente dovuta alle sconessioni 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 partecipano al bilancio termico del sottotetto.

Le sperimentazioni sulle quali si basa questo articolo proseguiranno con la valutazione degli aspetti igrometrici invernali legati alla ventilazione grazie alla costruzione attuata nel mese di Novembre di un edificio sperimentale¹¹ (fig.9,10) grazie una collaborazione tra l'Università degli Studi di Ancona (Istituto di Edilizia) e le Industrie Cotto Possagno (Divisione tetti ventilati).

¹⁰ Se le velux 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 porsi problemi di miglioramento del tiraggio per ventilazione incrementando l'altezza.

¹¹ E' in corso la costruzione di una porzione di edificio – 35 mq – atto a simulare un ambiente sottotetto, con la presenza superiore 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 1991.
- [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

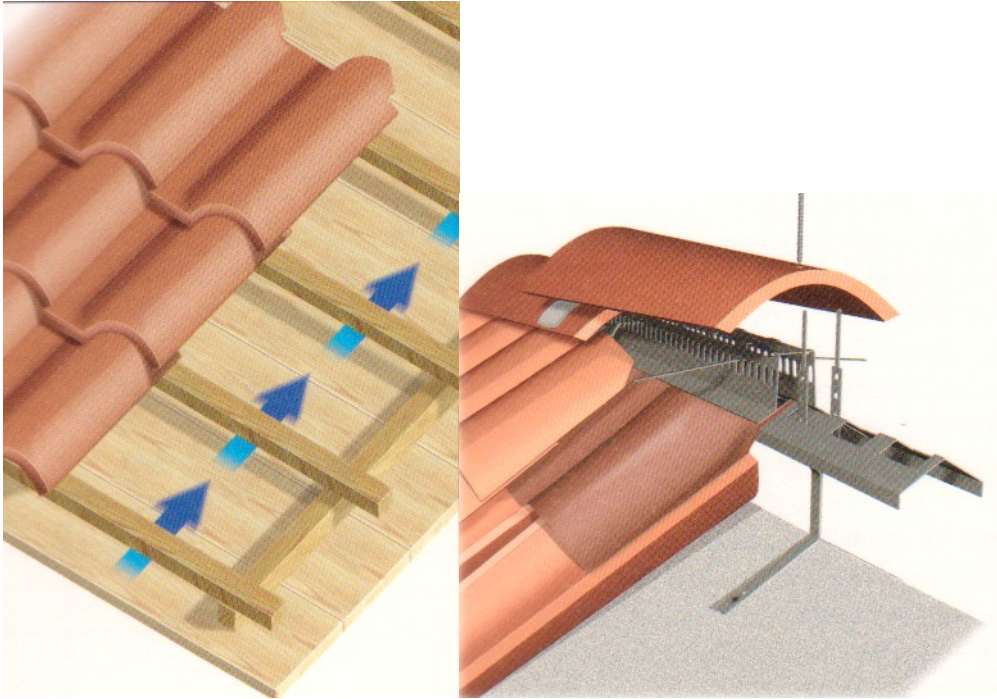


Fig. 1. Sono visibili alcuni sistemi di ventilazione oggi utilizzati per coperture in laterizio con coppi. Per concessione della Industrie Cotto Possagno – divisione tetti ventilati.



Fig. 2 Falda di copertura utilizzata per la sperimentazione. Prima della valutazione in esterno la stessa falda è stata utilizzata per misure sulla capacità di dissipazione del calore per mezzo di un sistema di irraggiamento simulato (piastre radianti di potenza nota). Ciò ha permesso di verificare l'attendibilità dei risultati forniti.



Fig. 3 Posizionamento delle sonde nella sezione in prossimità della gronda. La copertura è stata monitorata in tre sezioni distinte, in corrispondenza della gronda, della falda ed in posizione intermedia.

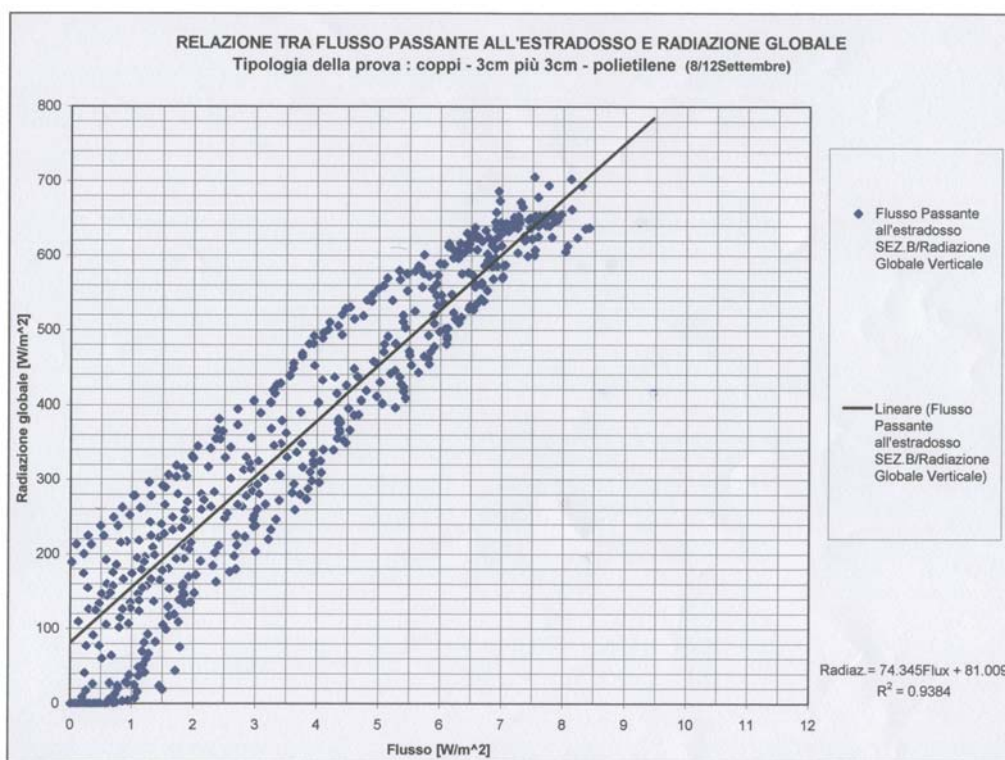


Fig. 4 Per ogni tipologia di copertura analizzata si sono acquisiti nel periodo di misura ca. 1000 dati. In particolare si sono rilevate in contemporanea per tre giorni di tempo le grandezze utili a definire il comportamento termico delle coperture (temperature nelle tre sezioni caratteristiche -gronda, colmo ed intermedia- , velocità dell'aria e grandezze climatiche (temperatura aria esterna, UR% velocità del vento e direzione, irraggiamento solare). Si è successivamente effettuata una correlazione di tipo statistico tra le variabili climatiche e alcuni indici caratterizzanti il comportamento delle coperture ventilate. L'analisi di correlazione 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. L'alto valore di R² (0.93) dimostra che indipendentemente dalle altre grandezze (velocità del vento e direzione, temperatura dell'aria esterna) si ha un comportamento termico quasi interamente influenzato dal flusso per irraggiamento.

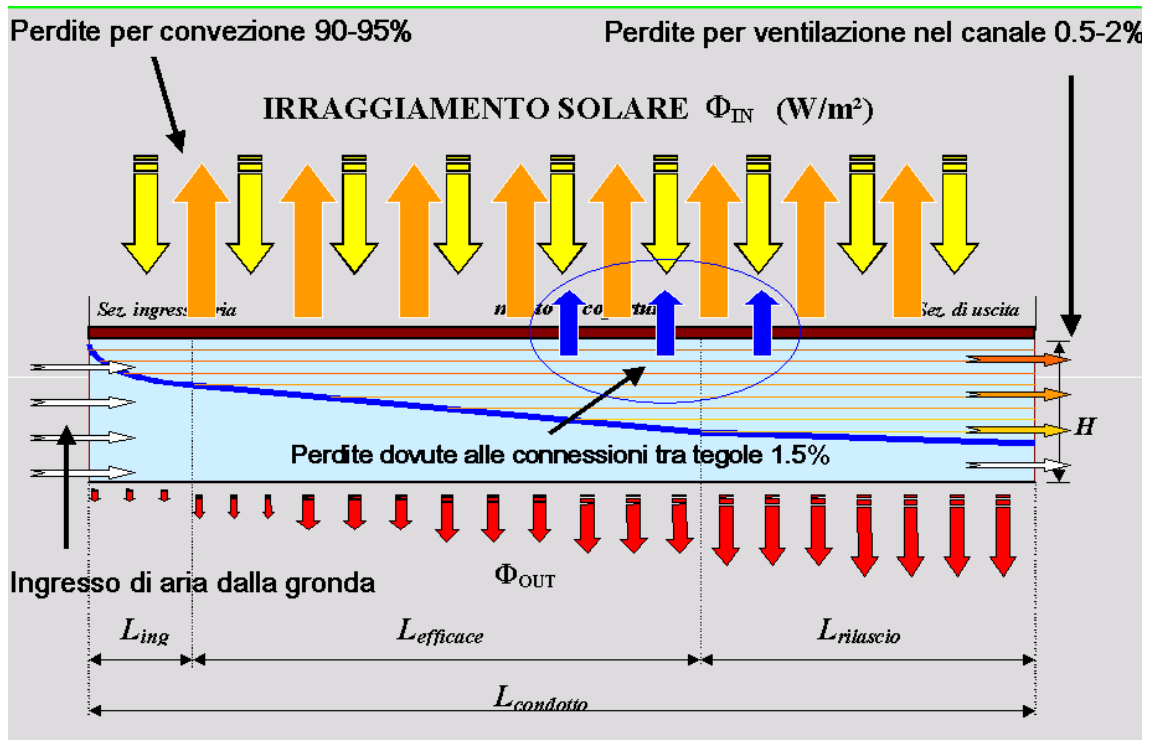


Fig. 5 Il fatto che intuitivamente il riscaldamento dell'aria determini una circolazione dell'aria con fuoriuscita della stessa dal colmo ha portato ad una certa semplificazione degli schemi di funzionamento delle coperture ventilate, lasciando pensare che solo in presenza di uno strato di ventilazione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

Il vento crea infatti una depressione sulla copertura forzando l'uscita dell'aria dai giunti tra i coppi o le tegole o le marsigliesi, al punto che la perdita di calore attraverso i giunti risulta essere comparabile, come ordine di grandezza, a quella dal colmo. Va inoltre evidenziato, come dimostra la sperimentazione, il fatto che la perdita di calore per ventilazione è molto limitata rispetto al calore che viene dissipato dagli elementi continui per semplice convezione: ca. il 3% del flusso entrante per irraggiamento rispetto al 90-95% ca. disperso per convezione.

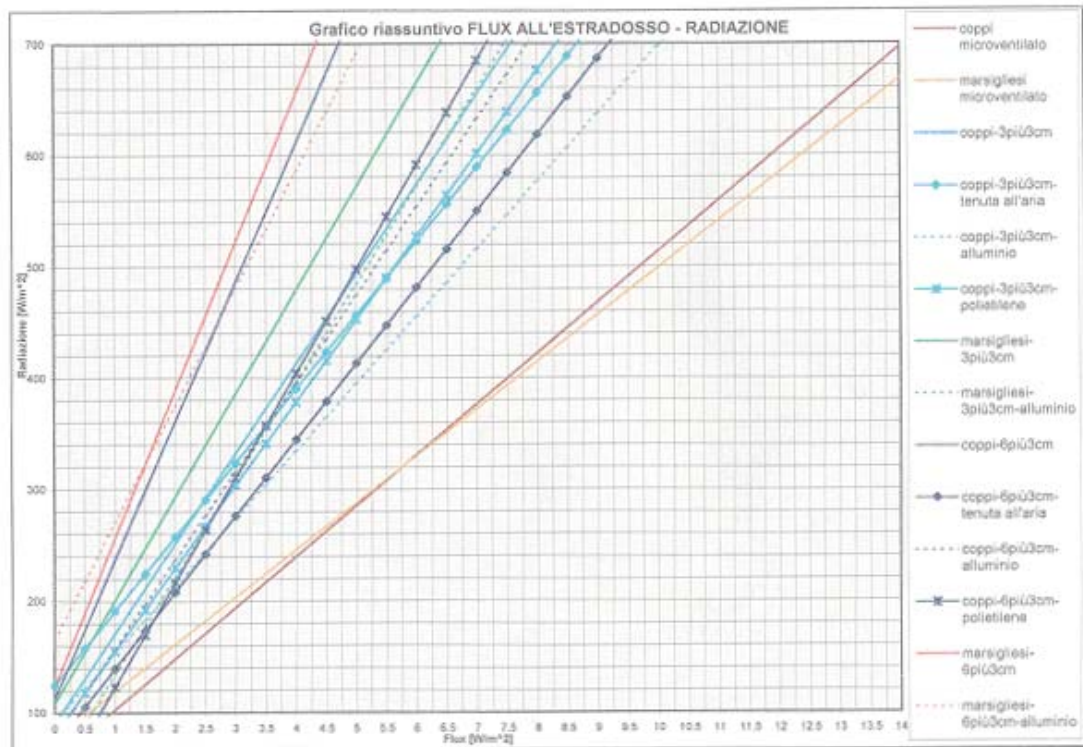


Fig. 6 Sono ripostati sul grafico a confronto i risultati ottenuti con le diverse coperture. Le rette rappresentano la relazione (di tipo lineare) individuata tra flusso incidente (dovuto all'irraggiamento) e flusso termico trasmesso all'intradosso del solaio (quindi entrante nel sottotetto). Appare visibile la netta differenza tra i sistemi in relazione all'altezza della camera di ventilazione.

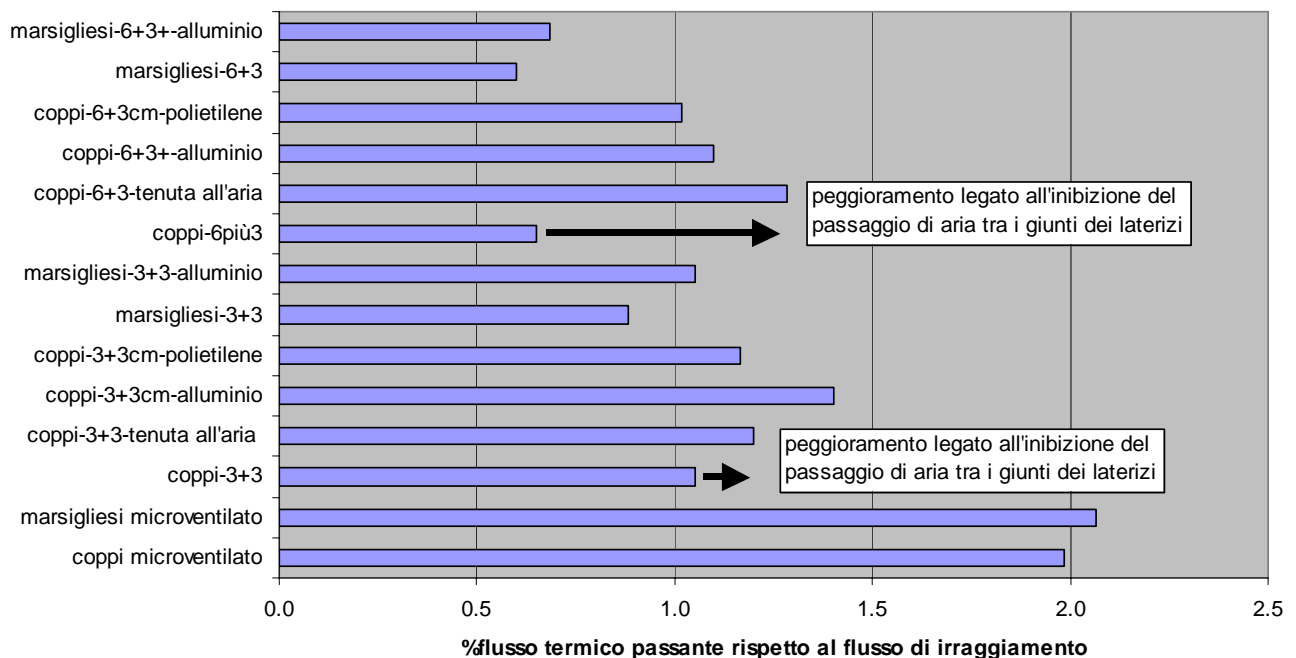


Fig.7 Si evidenzia con il grafico il peggioramento che deriva garantendo la tenuta tra gli elementi in laterizio (forzando quindi l'aria ad entrare solo dalla gronda ed ad uscire solo dal colmo). Tutti i sistemi una volta realizzata la tenuta peggiorano il loro comportamento. Il peggioramento è sensibile soprattutto sui sistemi di altezza più elevata.

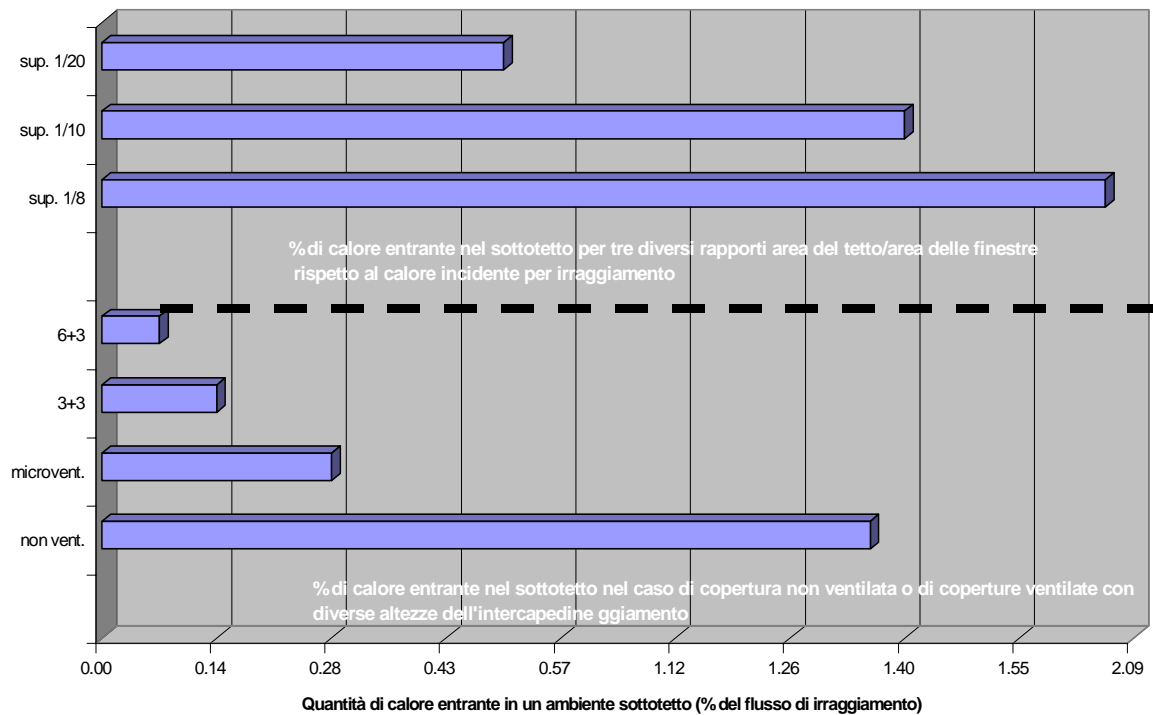


Fig. 8. Il grafico esemplifica la quantità di calore entrante in copertura attraverso diversi elementi che definiscono il comportamento termico del sottotetto. I primi tre istogrammi rappresentano il calore che entrerebbe attraverso le finestre (espresso come % del flusso incidente per irraggiamento) 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). E' 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 di elementi come le finestre da tetto, in grado di condizionare il comportamento termico del locale sottotetto.



Fig.9,10 Fasi di montaggio dell'edificio sperimentale realizzato nel mese di novembre presso un laboratorio esterno dell'Università degli studi di Ancona. In alto è visibile l'afase di realizzazione della struttura portante. In basso si vede l'edificio non ancora completato nelle pareti perimetrali esterne.