

La ventilazione delle coperture in coppi: aspetti termici

Le prove condotte su di un edificio sperimentale con copertura ventilata in coppi di laterizio dimostrano la maggiore efficacia dei sistemi di ventilazione accoppiati a manti discontinui rispetto a quelli accoppiati a manti continui. Le capacità dissipative del calore sono risultate infatti fortemente amplificate dalle caratteristiche di permeabilità del manto, dimostrando come la tradizione costruttiva italiana sia in grado di dare nel tempo una risposta efficace a determinati problemi di comfort abitativo

Il primo elemento sul quale ci si imbatte quando si scorre un testo o un articolo sulla ventilazione delle coperture è uno schema semplificato del funzionamento del tetto ventilato; schema costituito spesso da un condotto riscaldato superiormente con due frecce atte ad evidenziare il moto dell'aria, una in ingresso (azzurra, a dimostrare il fatto che l'aria entra fredda) ed una in uscita (rossa, a dimostrare il fatto che l'aria esce calda). La semplicità dello schema ed il riferimento a principi generalmente noti come "effetto camino" hanno fatto sì che tutti o quasi pensino che questo sia necessariamente l'unico e solo possibile modello di funzionamento di una copertura ventilata, con una sostanziale omogeneità della letteratura divulgativa sull'argomento e delle strategie tecniche adottate oggi per ottenere la "migliore" copertura ventilata possibile.

Se infatti si pone come assunto di partenza che una copertura ventilata funzioni in maniera del tutto coincidente con un condotto avente ingresso unico (in gronda) e uscita unica (in falda) scaldato sulla superficie esterna, allora si avranno come necessarie conseguenze che:

- il calore dissipato sarà tanto maggiore quanto più alta sarà la velocità dell'aria nel condotto per la nota relazione secondo cui la quantità di calore uscente è funzione della portata massica (densità per velocità dell'aria) e del delta termico dell'aria tra ingresso e uscita;
- il calore dissipato sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la sezione di passaggio nel condotto, poiché è noto il ruolo esercitato in termini di caduta di pressione dalla sezione di passaggio (anche se poi non si capisce come mai quasi tutti realizzino in gronda e sul colmo griglie e bocchette con percentuali di foratura assai basse e che quindi contraddicono questo principio);

- il vapore dissipato, poiché si assume sempre maggiore la pressione di vapore internamente rispetto all'esterno, sarà anch'esso tanto maggiore quanto più grande sarà la sezione di passaggio del condotto.

E quindi perché una copertura ventilata funzioni deve necessariamente avere un canale di ventilazione molto alto indipendentemente dalle modalità con cui è realizzato il manto di copertura in quanto parametro, questo, assente nel modello teorico di riferimento.

Ma è proprio vero che l'assunzione di base del modello teorico prima definito "effetto camino", ma in termini più colti detto "teoria classica della ventilazione", sia applicabile senza dubbi alle coperture ventilate?

Queste perplessità hanno trovato una conferma sperimentale in una serie di studi, l'ultimo dei quali, condotto presso l'Istituto di Edilizia dell'Università degli Studi di Ancona, viene di seguito illustrato.

In particolare, lo studio affronta l'analisi nel lungo periodo del comportamento di coperture in coppi, mettendo a confronto tra loro tipologie differenti per parametri costruttivi.

Le sperimentazioni a cui si riferisce lo studio, condotte per un anno su di un edificio sperimentale di 2 piani realizzato a questo preciso scopo, e con condizioni ambientali (riscaldamento e produzione di vapore) atte a riprodurre un ambiente sottotetto reale, permettono di dimostrare come per tipologie di copertura permeabili all'aria, quali quelle proprie della nostra tradizione costruttiva, sia fuorviante il riferimento esclusivo alla teoria classica della ventilazione.

Su coperture con coppi si verifica infatti un comportamento solo parzialmente legato alla dimensione del condotto, e molto più dipendente dalle caratteristiche di permeabilità del



Modello di funzionamento "tipico" del comportamento di una copertura ventilata.



La struttura realizzata nel laboratorio esterno della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ancona.

manto. Aspetto che porta ad evidenziare come la nostra tradizione costruttiva abbia saputo già dare nel tempo una risposta efficace a problemi che oggi sembrano nuovi.

La teoria classica della ventilazione Il fatto che oggi si ritenga che tutte le coperture debbano essere ventilate trae la propria origine dalle conseguenze derivanti dall'applicazione della teoria classica della ventilazione a questo specifico elemento costruttivo.

La teoria in questione si basa sulla analogia che può essere sviluppata tra le modalità secondo cui avviene la cessione o acquisizione del calore da parte di un fluido in moto in un condotto (a temperatura maggiore o minore del fluido che fluisce) e ciò che avviene in un condotto di ventilazione in copertura. Seguendo l'impostazione di questa teoria (ASHRAE Fundamentals, 1997) e dato un condotto in copertura di lunghezza definita, è possibile infatti stimarne il comportamento termico e fluidodinamico inserendo in un bilancio termico le perdite di calore dovute alla ventilazione.

Senza entrare nel dettaglio della teoria in termini analitici, vale la pena soffermarsi sul fatto che, secondo tale teoria, la quantità d'aria che può fluire attraverso il condotto è tanto più grande quanto più grande è il coefficiente di permeabilità al-

l'aria del condotto e quanto maggiore è la differenza di pressione dovuta alle condizioni climatiche esterne (sovrapressione creata dal vento) e quanto maggiore è la differenza di pressione che si origina nel condotto per differenze di temperatura.

Ciò significa che per ottenere il massimo rendimento termico in una copertura ventilata (massima portata d'aria nell'intercapedine e quindi massima quantità di calore asportato) occorre che:

- siano più grandi possibile (pari al massimo, ovviamente della sezione del condotto) le aree di ingresso e di uscita dell'aria in modo da minimizzare cadute di pressione dovute alle ostruzioni in ingresso ed in uscita;
- sia più grande possibile la sezione del condotto;
- sia minore possibile la resistenza idraulica lungo il condotto;
- sia sempre positiva e più grande possibile la differenza di pressione ΔPa dovuta al vento in esterno sulle bocchette di ingresso e di uscita (normalmente questo termine si omette a vantaggio di "sicurezza");
- sia grande la pendenza della copertura.

In conclusione, seguendo la teoria classica sopra riportata, la ventilazione è sempre e comunque un mezzo per garantire la dissipazione del calore in fase estiva.

1 Dati caratteristici dei sistemi di ventilazione analizzati

Copertura	Tipologia di alloggio	H _{tot} tavolato mm	H _{tot} coibente mm	Sezione gronda cm ² /m	Sezione falda cm ² /m	Sezione colmo cm ² /m
A	Culla di alloggiamento	50	40	140	310	300
B	Culla di alloggiamento	50	40	290	443	300
C	Distanziatori	50	40	214	615	300
D	Appoggio	50	40	214	410	300
M	Appoggio e fissaggio con malta	75	40	0	0	0

Critiche a questo approccio, tuttavia, sono state portate in questi anni da diversi autori. Una rassegna significativa di tali critiche è stata effettuata da [Hens,1999] e riguardano soprattutto il fatto che si considera assolutamente impermeabile il manto di copertura con la conseguenza che si “appiattiscono” ad un unico modello di comportamento coperture che tanto simili (anche a buon senso) non possono essere (ad esempio metalliche, in laterizio, ecc.).

I sistemi messi a confronto Rilevati i dubbi presenti in letteratura, si è realizzata una struttura di 2 piani chiusa in modo da simulare le condizioni reali di un sottotetto. Sulle falde di questo sottotetto, sono state realizzate, con esposizione sud, 4 tipi di coperture ventilate e, con esposizione nord, una copertura fissata con malta posta come elemento di raffronto. Per un anno sono stati acquisiti dati relativi al comportamento termico ed igroscopico delle coperture in modo da avere informazioni certe sul loro funzionamento.

I sistemi di copertura analizzati sono stati i seguenti:

- A: sistema ventilato con coppi realizzato con una culla di alloggiamento in polipropilene e una foratura inferiore per il passaggio di aria;
- B: sistema ventilato con coppi realizzato con una culla di alloggiamento in metallo e una foratura inferiore (di sezione maggiore rispetto alla precedente) per il passaggio di aria;
- C: sistema ventilato con coppi realizzato con distanziatori metallici atti a definire uno spazio ventilato di sezione maggiore rispetto ai precedenti;
- D: sistema di copertura con microventilazione e coppi in appoggio al manto di copertura (il sistema ha uno spessore maggiore del tavolato che ne determina un maggiore isolamento);
- M: sistema di copertura non ventilato e non microventilato con malta cementizia per il fissaggio dei coppi (tabella I).

I risultati dell'analisi termica

La fase invernale

L'analisi effettuata nel periodo novembre-febbraio ha permesso di analizzare il comportamento delle diverse tipologie di copertura ed il loro contributo al contenimento dei consumi energetici.

Fornendo calore al sottotetto con cicli riconducibili ad uno schema di riscaldamento tipico giornaliero (4 ore la mattina – pausa – 4 ore il pomeriggio) si è potuta verificare l'entità del flusso disperso attraverso i pacchetti di copertura.

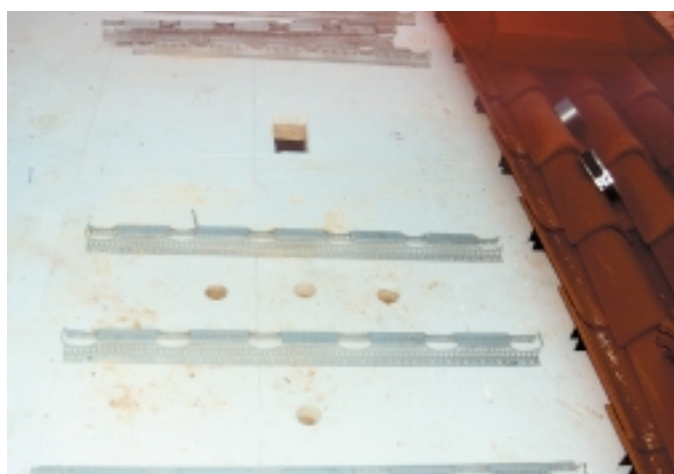
Il primo aspetto interessante riguarda il rapporto tra le coperture e l'andamento termico interno ed esterno.

Tutte le coperture appaiono seguire infatti fondamentalmente le temperature interne senza evidenziare sfalsamenti temporali (come peraltro giustificato dalla tipologia di solaio).

In fase diurna le coperture seguono in maniera pressoché coincidente l'innalzamento delle temperature dell'aria interna per l'apporto di calore dato dai termoconvettori.



Fase di montaggio del sistema A: culla in polipropilene.



Fase di montaggio del sistema B. Sono visibili i fori nel solaio per l'installazione del sistema di acquisizione dati.



Fase di montaggio del sistema C. È visibile il sistema atto a impedire scambi di aria e calore tra i condotti.

Tale coincidenza di comportamento si verifica fino alle prime ore del pomeriggio, quando, a seguito dell'accensione (per il secondo ciclo di 4 ore) dei termoconvettori, e quindi a seguito dell'innalzamento delle temperature interne, la copertura di tipo A si distacca dalle altre per arrivare a temperature più elevate nel condotto.

Ciò si spiega con la minore permeabilità dell'aria esterna di tale tipo di copertura che porta a limitare la dissipazione di calore dall'interno verso l'esterno.

Va rilevato che tuttavia tali differenze sono molto limitate. Lo scarto massimo delle temperature rilevate nei condotti di ventilazione è di circa 2°C.

Maggiori differenze si rilevano nelle modalità secondo cui si raffreddano le coperture con lo spegnimento degli impianti di riscaldamento.

Qui, entrando in gioco l'inerzia termica fornita dai laterizi, si ha un ritardo consistente rispetto alla diminuzione delle temperature esterne.

Si conferma la minore permeabilità all'aria della copertura tipo A rispetto alle altre con uno scarto che raggiunge durante il periodo notturno quasi 10°C, mentre nel condotto della tipologia C si raggiungono in particolare temperature mediamente superiori di soli 2-3°C rispetto all'aria esterna.

Il confronto delle temperature intradossali (lato interno del solaio) conferma quanto evidenziato fino ad ora.

Le differenze nella temperatura superficiale dei punti del solaio corrispondenti alle 4 tipologie di copertura sono comprese in circa 2°C per un intervallo temporale inferiore alle 4 ore.

Si verifica infatti un immediato allineamento di tali valori appena si opera lo spegnimento dei termoconvettori.

Ciò significa una quantificazione delle differenze di flusso termico tra le diverse coperture di circa il 10% massimo, ma per un intervallo di tempo estremamente limitato (3-4 ore).

Ciò porta a ritenere non particolarmente rilevante il contributo energetico (minore dissipazione del calore) fornito da canali di ventilazione di dimensione limitata.

Rimane tuttavia da indagare il contributo nell'ipotesi di un solaio di copertura caratterizzato da materiali massivi.

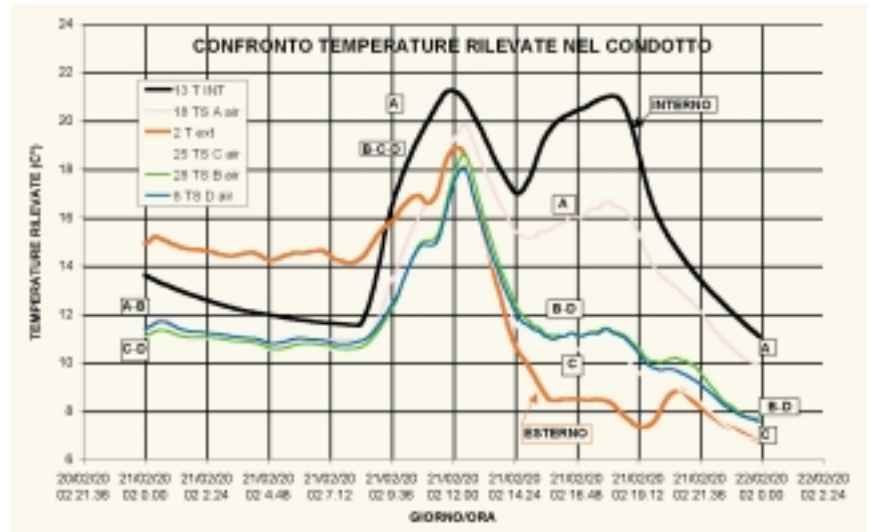
È da sottolineare infine la sostanziale omogeneità di comportamento tra i sistemi B e D, pur molto differenti in termini di camera di ventilazione (presente nel primo, assente nel secondo).

La stagione intermedia

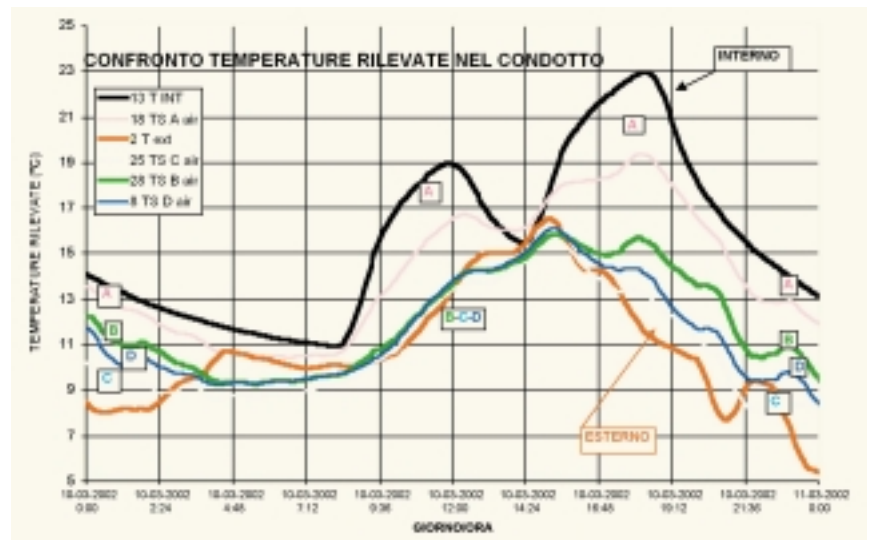
Passando ora al periodo marzo-maggio, caratterizzato da temperature esterne più elevate, il comportamento delle diverse tipologie di copertura non appare differire sostanzialmente da quanto rilevato nella fase invernale.

Il sostanziale allineamento della tipologia di copertura A alle temperature interne continua ad essere l'elemento di maggiore significatività.

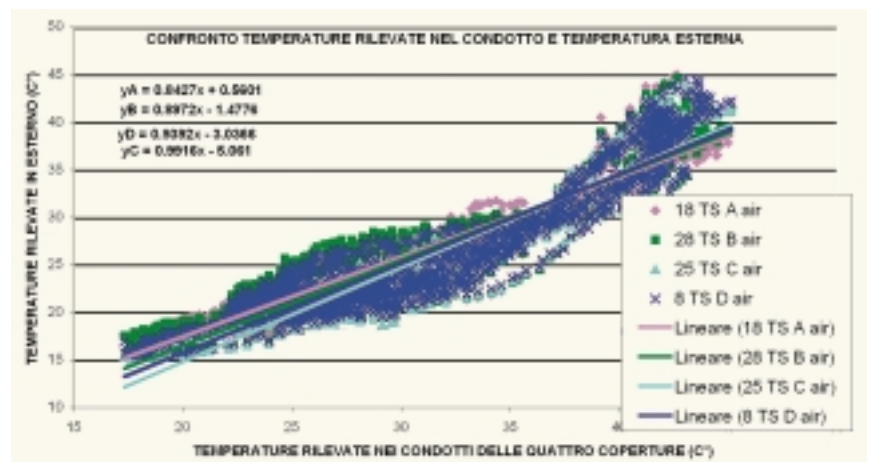
Ciò appare evidente soprattutto nel primo periodo, quando il sottotetto appare ancora riscaldato.



In fase invernale le coperture appaiono seguire fedelmente le temperature interne. Le coperture a minore ventilazione appaiono garantire in questa fase la minore dispersione del calore verso l'esterno.



Con il progressivo riscaldamento dell'aria esterna le differenze tra i sistemi appaiono attenuarsi sensibilmente.



È visibile la correlazione tra flusso incidente di irraggiamento e flusso termico all'intradosso. Si confermano i risultati di precedenti sperimentazioni, con percentuali di flusso passante comprese tra lo 0.6% e l'1%: come già dimostrato, la maggior parte del calore incidente su una copertura per via dell'irraggiamento viene dissipata per convezione direttamente sopra la superficie del coppo (90-95%). Si può notare la dispersione che caratterizza i dati per irraggiamenti elevati, aspetto che evidenzia l'insorgere di differenti e probabilmente contemporanei meccanismi di funzionamento.

L'allineamento delle temperature interne ed esterne su valori prossimi porta come ovvio ad annullare ogni tipo di differenza, anche inerziale, se si escludono le ore più fredde della giornata (periodo notturno e prime ore della mattinata).

Arrivando a maggio, cominciano ad essere percepibili gli effetti dell'inversione di comportamento delle coperture.

Quelle che erano risultate le coperture maggiormente influenzate dall'ambiente esterno (per la loro permeabilità all'aria) diventano di fatto le coperture che risentono meno dell'irraggiamento, arrivando a temperature mediamente inferiori.

In periodi di irraggiamento ancora modesto i tre sistemi di ventilazione diventano sostanzialmente allineati.

Marcate differenze comincia invece a presentare il sistema D (senza ventilazione ma maggiormente isolato), il quale dimostra l'efficacia dell'isolamento come strategia alternativa alla ventilazione. Basta infatti un leggero incremento della resistenza termica per ottenere benefici evidenti.

La stagione estiva

Con l'avvicinarsi della stagione estiva comincia ad essere percepibile la capacità dissipativa delle coperture ventilate. Si inverte di fatto il comportamento delle coperture esaminate. Quelle che per la minore sezione di ingresso e di uscita erano apparse capaci di garantire la minore dissipazione del calore in fase invernale, nel passaggio alla stagione estiva, divengono le meno capaci di dissipare il calore accumulato per irraggiamento.

Si ha infatti un comportamento pressoché costante durante l'intera stagione con un ordine, in termini di dissipazione del calore, che vede per prima la copertura C, seguita dai sistemi B e D (sempre coincidenti) e dal sistema A.

Comportamento questo perfettamente in linea con quanto atteso per le sezioni di flusso.

Anche qui, tuttavia, va rilevato come le variazioni tra i quattro sistemi appaiano sempre estremamente modeste, con differenze in temperatura difficilmente superiori a 2-3°C e peraltro solo nel momento di maggiore irraggiamento.

Aspetto questo che conferma nuovamente meccanismi di dissipazione non coincidenti con il solo canale di ventilazione.

La differenza rilevata nel momento di massimo irraggiamento appare trasmettersi anche sulle modalità di raffreddamento. Il sistema A mantiene infatti temperature mediamente più alte di circa 1°C durante l'intera fase di raffreddamento.

Il fatto che le coperture B e D siano pressoché coincidenti si spiega con il maggiore isolamento della copertura D, dove la presenza di uno strato aggiuntivo riesce a compensare le differenze nel canale di ventilazione.

Se si va ad osservare la correlazione tra flusso passante e flusso termico di irraggiamento, si confermano i dati di precedenti sperimentazioni (la linearità della relazione). Ma anche il fatto che esiste una maggiore dispersione dei dati, spiegabile con la permeabilità del manto e quindi con la sua suscettibilità ad altre grandezze di tipo ambientale.

Conclusioni In conclusione, le coperture ventilate appaiono garantire, come già rilevato in precedenti sperimentazioni, una effettiva dissipazione del calore in estate, aspetto ritenuto prioritario in Italia. Tale dissipazione tuttavia, per coperture con coppi, è solo parzialmente correlabile alla dimensione del canale di ventilazione.

Infatti, mentre per una copertura continua (ad esempio metallica) la dissipazione del calore è strettamente dipendente dalla sezione del canale di ventilazione, con la necessità quindi di elevare il più possibile tali sezioni con maggiori oneri esecutivi, nelle coperture in coppi subentrano altri meccanismi (dissipazione tra i giunti) che tendono ad annullare differenze anche significative in termini di sezione del condotto.

Motivo per il quale appare inutile, come conferma questa sperimentazione, l'utilizzo di grandi sezioni di ventilazione su coperture caratterizzate da elevata permeabilità del manto, la cui realizzabilità appare peraltro complessa per i problemi di altro tipo che comporta.

Inoltre appare evidente dalla sperimentazione svolta l'influenza benefica che incrementi di isolamento possono apportare sulla copertura anche in presenza di ridotti spessori di ventilazione. ¶

Bibliografia essenziale

1. ASHRAE, *Fundamentals Handbook*, NY, 1983.
2. Naylor, Floriyan e Tarasuk, *A numerical study of developing free convection between isothermal vertical plates*, in Transaction of the ASME, vol. 113, 1991.
3. Sandberg e Moshfegh, *Ventilated-solar roof air flow and heat transfer investigation*, in Renewable Energy, vol. 15, 1998.
4. Silberstein, 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.
5. Carsten Rode Pedersen, *Thermal performance of building roof elements*, in Building and Environment 1999.
6. D'Orazio, Stazi, Di Perna, Carbonari, *Alla ricerca del dimensionamento*, Modulo 252, BeMa ed. Milano, 1999.
7. M. D'Orazio, A. Stazi, D. Fiancarli, *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.
8. M. D'Orazio, *La progettazione delle coperture ventilate in laterizio*, in Costruire in Laterizio, luglio-agosto 2002.
9. Zannoni, *Aria alle tegole*, in Modulo n. 219, marzo 1996.
10. Zannoni, *Il tetto monitorato*, in Modulo n. 248, febbraio 1999.
11. Zannoni, Simionato, *Il colmo per le coperture ventilate*, in Modulo n. 261, maggio 2000.
12. Brunello, Peron, *Modelli per l'analisi del comportamento fluidodinamico delle facciate ventilate*, in Atti del 51° congresso ATI 1996.

Si ringraziano le Industrie Cotto Possagno per aver acconsentito alla pubblicazione dei risultati della sperimentazione.