

CARATTERIZZAZIONE TERMICA DELLE COPERTURE VENTILATE MUNITE DI BARRIERA RADIANTE, IN RELAZIONE AL D.P.R. 2 APRILE 2009, N°59

di Paolo Pancheri

Le Barriere Radianti, da qualche anno diffuse anche in Italia come strumento efficace per migliorare l'isolamento termico dei tetti, in particolar modo durante il periodo estivo, sono state oggetto di due precedenti articoli su questa stessa rivista¹, uno dedicato ai principi di funzionamento e alle varie tipologie presenti sul mercato, l'altro dedicato invece all'analisi di prove sperimentali effettuate *in situ*, che ne confermavano l'efficacia ai fini della riduzione delle sovratemperature interne estive delle mansarde.

Un recente studio effettuato dalla facoltà di Fisica Tecnica dell'Università di Padova² dimostra che un tetto ventilato "leggero", cioè con uno strato di 12 cm di isolante quale ad esempio il polistirene estruso, e munito di barriera radiante, è ancor più efficace di un tetto "tradizionale", cioè senza ventilazione e con notevole inerzia termica (vale a dire con bassi valori di trasmittanza termica periodica, Y_{IE}) ai fini del raffrescamento estivo delle mansarde. Lo studio conferma numerose altre ricerche, sia teoriche che sperimentali, sull'efficacia delle barriere radianti nei tetti ventilati e mostra inoltre come tali coperture siano conformi a quanto previsto dal recente D.P.R. 2 aprile 2009, n°59 in materia di rendimento energetico in edilizia.

INTRODUZIONE

Il D.P.R. 2 aprile 2009, n°59, relativo all'attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici, definisce i metodi di calcolo e i requisiti richiesti per le prestazioni energetiche degli stessi, sia per il periodo estivo che invernale. In particolare, all'articolo 18, il D.P.R. sopra citato impone delle verifiche ai fini della limitazione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva.

Al comma b), per tutte le zone climatiche ad eccezione della F, e per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione solare sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 , si prevede - per le pareti opache orizzontali ed inclinate - che la trasmittanza termica periodica Y_{IE} sia inferiore a $0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Il D.P.R. sopra citato tuttavia, al fine di permettere l'uso di soluzioni costruttive alternative a tetti tradizionali pesanti o con elevata inerzia termica - strettamente legata al parametro Y_{IE} -, al comma c) del medesimo articolo stabilisce che: *"...Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale o trasmittanza termica periodica delle pareti opache previsti alla lettera b), possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tal caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni"*.

¹ *Scienza e Mestieri*, anno XVI numeri 1/2008 e 3/2008

² *Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Fisica Tecnica* - "Valutazione dell'efficienza energetica derivante dall'applicazione di una barriera radiante su supporto OSB". I risultati dello studio sono disponibili al sito <http://www.edilcomm.com/barriereradianti>

Scopo del presente articolo è mostrare come i risultati di un recente studio del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova attestino che un tetto ventilato munito di barriera radiante, così come schematizzato nella *Figura 1*, è ancor più efficace “ai fini della limitazione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva” di un tetto tradizionale che rispetta il limite di $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ di trasmittanza termica periodica (Y_{IE}), e che quindi è conforme alle prescrizioni del D.P.R. 2 aprile 2009, n° 59.

La trasmittanza periodica, così come descritta dalla UNI EN 13786, è infatti un parametro che prende in considerazione la trasmissione di calore monodimensionale nella sezione corrente per conduzione e convezione, ma non tiene conto né della componente bidimensionale dovuta alla ventilazione dell'intercapedine (effetto camino), né dell'effetto della barriera radiante, cioè della forte diminuzione di calore irradiato all'isolante tradizionale, fenomeni che contribuiscono in modo determinante alla riduzione del calore trasmesso all'interno della struttura durante la stagione estiva. Nel caso di tetti tradizionali senza ventilazione, la trasmittanza periodica descrive bene la capacità del tetto di “smorzare” e “attenuare” l'onda termica diurna. Tuttavia nel caso di un tetto ventilato e munito di barriera radiante essa si rivela un parametro del tutto inappropriato, in quanto la situazione termo-fisica di un tetto ventilato è del tutto diversa da quella a cui fa riferimento il parametro stesso.

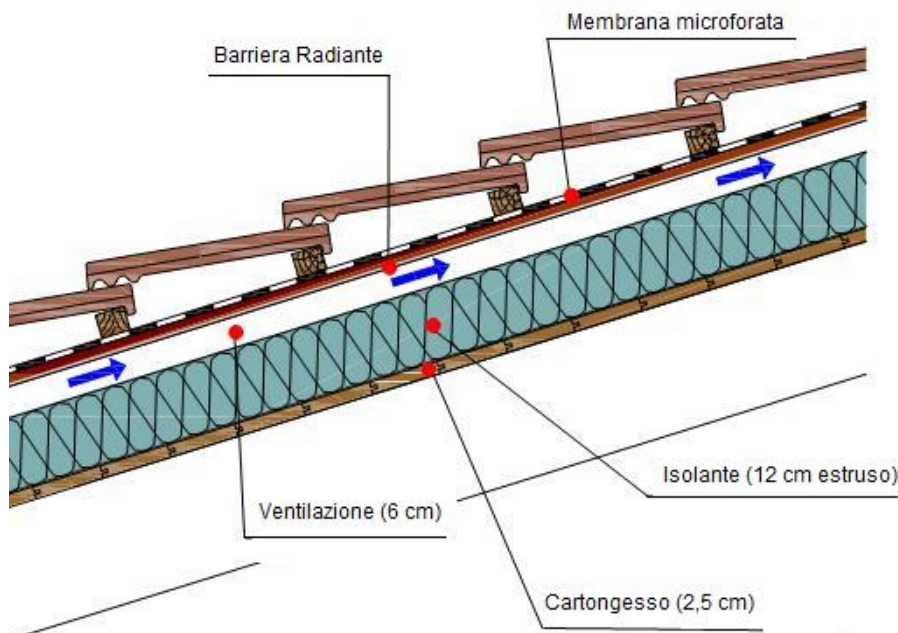


Figura 1. Stratigrafia della copertura ventilata e munita di barriera radiante.

Una copertura come quella mostrata nella *Figura 1* viene definita (UNI 9460-2008) “Copertura isolata, con ventilazione a intercapedine”. Lo spessore dell'intercapedine è conforme a quanto previsto dalla norma sopra citata, che dice:

“Generalmente, la sezione di flusso per intercapedini utili ad ottenere la massima riduzione del flusso termico in clima estivo, nel caso di pendenze usuali in Italia ($30 \div 35$)% e lunghezze di falda usuali (fino a 7 m), è almeno di 550 cm^2 netti per ogni metro di larghezza della falda, al di sotto della listellatura, nel caso in cui l'intercapedine sia in comunicazione con la listellatura stessa. Tali prescrizioni devono essere rispettate anche quando si adotta un'intercapedine delimitata da due strati piani paralleli (doppio tavolato, pannelli, ecc.)”.

La norma, in coerenza con numerosi studi sperimentali e teorici³, prevede quindi, per falde di lunghezza usuale, spessori di ventilazione di almeno 5,5 cm. In caso contrario si parla di

³ Vedi ad esempio la raccolta di articoli sui tetti ventilati elencata da <http://www.tettiventilati.it/biblio.htm>.

microventilazione, e questa viene suggerita solo qualora “non sia prioritaria l’esigenza della massima ventilazione estiva...”.

Come si vede, la norma UNI 9460 fornisce quindi già un’importante indicazione normativa in merito al corretto dimensionamento della camera di ventilazione per quanto riguarda i benefici estivi.

La valutazione quantitativa di questo effetto è tuttavia difficile da determinare, in quanto dipende dal complesso fenomeno di trasporto di calore all’interno dell’intercapedine stessa, ed è influenzata da diversi fattori tra cui la lunghezza della falda, la differenza di temperatura tra l’isolante e le tegole, l’inclinazione della falda, ecc..

L’aggiunta di una barriera radiante sopra la camera di ventilazione, cioè di un pannello OSB con una faccia rivestita di un materiale a bassa emissività (in questo caso alluminio), riduce ulteriormente questo flusso in quanto blocca la quantità di calore irraggiata dalle tegole verso l’isolante tradizionale.

Anche in questo caso studi teorici e sperimentali⁴ indicano come la barriera radiante possa ridurre ulteriormente, e di una quantità consistente, il flusso di calore complessivo entrante dalla copertura.

Questi studi tuttavia, pur dimostrando la bontà del tetto ventilato munito di barriera radiante, non forniscono al progettista degli elementi quantitativi su cui basare i calcoli ai fini delle vigenti normative in fatto di risparmio energetico.

Per colmare questa lacuna, il dipartimento di Fisica Tecnica dell’Università di Padova ha realizzato uno studio in cui si mettevano a confronto due diverse coperture per una tipica mansarda, schematizzata in Figura 2.

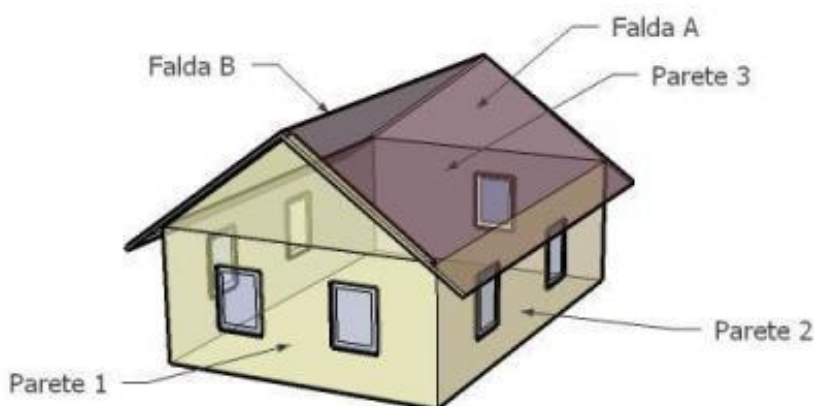


Figura 2. Mansarda oggetto dello studio energetico

MANSARDA OGGETTO DELLO STUDIO

La mansarda oggetto di studio (schematizzata in Figura 2) è riferita ai dati climatici di Milano, immaginando la falda A esposta a sud. Il solaio, supposto adiabatico in quanto su ambiente anch’esso abitato, ha dimensioni di 12 m x 10 m x 1,9 metri, e l’inclinazione della falda è di 30°, il che comporta una lunghezza di falda di circa 7 m. Il colore delle tegole previsto è scuro

Studi recenti di tipo di tipo universitario sono ad esempio: G. Villi, W. Pasut, M. De Carli “CFD modelling and thermal performance analysis of a wooden ventilated roof structure”, BUILD SIMUL (2009) 2: 215–228. Ciampi M, Leccese F, Tuono G (2005). Energy analysis of ventilated and microventilated roofs. *Solar Energy*, 79: 183 – 192.

⁴ Vedi ad esempio la documentazione disponibile su http://www.edilcomm.com/barriere_radianti

(coefficiente di assorbimento assunto pari a 0,9), mentre per le pareti laterali è previsto un coefficiente di assorbimento pari a 0,6. L'edificio, previsto residenziale con destinazione d'uso E1 in relazione alle fonti interne di calore, è a ventilazione naturale. Le pareti laterali sono composte da laterizio porizzato di spessore pari a 30 cm e con cappotto esterno in polistirene espanso da 6 cm. La mansarda ha una superficie finestrata pari a circa 1/8 della superficie laterale e per le finestre – con vetri basso emissivi - si assume una trasmittanza termica totale (finestra più telaio) pari a 2,15 W/m²K. Durante la stagione invernale si assume che le finestre siano senza schermo, mentre in estate quelle del quadrante Ovest-Sud-Est sono considerate chiuse da imposte. In estate la luce è garantita dalle finestre del quadrante nord.

Per quanto riguarda la copertura, sono state scelte due diverse tipologie da confrontare: un tetto tradizionale (non ventilato) isolato in fibra di legno (tetto A), e un tetto ventilato munito di barriera radiante (tetto B), come mostrato nella Figura 1. Per entrambe le coperture si riportano di seguito i dettagli stratigrafici.

Stratigrafia delle coperture a confronto

CASO A: TETTO TRADIZIONALE (gli strati si intendono dall'interno verso l'esterno)

	Descrizione	Spessore cm.	Densità kg/m ³	Cond. term. W/m K	Calore Spec. J/(Kg K)	Coef. Resist Vapore
<u>1</u>	Cartongesso in lastre	2,5	900	0,21	840	8
<u>2</u>	Membrana Freno Vapore	0,15	1.500	1	1.250	1.000
<u>3</u>	Pannelli di fibra di legno 150/160 kg/m ³	12	150	0,038	2.100	10
<u>4</u>	Pannelli di fibra di legno 220 kg/m ³	2	220	0,045	2.100	12
<u>5</u>	Tegole in cemento	2	1.500	1,2	840	1

CASO B: TETTO VENTILATO E MUNITO DI BARRIERA RADIANTE (vedi Figura 1)

	Descrizione	Spessore cm.	Densità kg/m ³	Cond. term. W/m K	Calore Spec. J/(Kg K)	Coef. Resist Vapore
1	Cartongesso in lastre	2,5	900	0,21	840	8
2	Membrana Freno Vapore	0,15	1.500	1	1.250	1.000
3	Polistirene estruso in lastre	12	33	0,034	1.450	40
4	Camera ventilata - spessore 6 cm	6	-	-	-	-
5	Barriera Radiante (*)	1,5	900	0,16	2.100	60
6	Tegole in cemento	2	1.500	1,2	840	1

(*) La Barriera Radiante è costituita da un pannello di OSB di 1,5 cm rivestito, nella parte rivolta verso l'isolante, di un foglio di alluminio che ne abbassa l'emissività a valori inferiori a 0,05.

La prima copertura (tetto A), essendo priva di ventilazione, ha parametri termici facilmente calcolabili in base alla vigente normativa. La trasmittanza termica periodica Y_{IE} risulta pari a 0,13 W/(m²K), mentre la trasmittanza termica usuale (U) è invece pari a 0,26 W/(m²K). Entrambi i parametri sono ampiamente entro i limiti previsti dalla legge.

METODI DI CALCOLO UTILIZZATI

Il dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova, attraverso l'utilizzo congiunto di diverse tecniche di modellazione numerica, ha simulato il comportamento delle due mansarde. Rimandando alla loro relazione tecnica (vedi nota 2) per i dettagli della modellazione, è opportuno ricordare qui come la simulazione abbia richiesto due momenti distinti: nella prima fase si è utilizzata la termofluidodinamica numerica (*Computational Fluid Dynamics*, CFD) per descrivere i complessi fenomeni di scambio di massa e calore nell'intercapedine ventilata in un numero sufficientemente elevato di condizioni stazionarie di esercizio diverse. Impostando come condizioni al contorno l'irradianza solare estiva e la temperatura dell'aria del comune di Milano, è possibile stimare il rapporto tra la quantità di calore entrante nell'ambiente sottostante la copertura con o senza barriera radiante per varie condizioni di irradianza e temperatura. Particolare cura è stata

mostrata nell'adottare accorgimenti che assicurassero una corrispondenza con la situazione reale, come ad esempio le perdite di imbocco e sbocco in corrispondenza delle sezioni iniziale e terminale dell'intercapedine ventilata, oppure il raffinamento della *mesh* nelle zone dove i gradienti di velocità e temperature lo richiedevano.

Con i risultati ottenuti dalla CFD è stato quindi possibile effettuare la simulazione dinamica della mansarda, utilizzando TRNSYS, un codice di calcolo dedicato allo sviluppo di simulazioni energetiche dinamiche di sistemi complessi. Ottenute le funzioni di trasferimento che caratterizzano il comportamento dinamico dell'elemento tetto ventilato, è stato possibile integrare i risultati ottenuti dalla CFD all'interno del modello energetico dinamico e simulare il comportamento della mansarda nella sua evoluzione temporale. Dopo aver verificato la corrispondenza del modello teorico con i dati sperimentali ottenuti su tetti reali, (in particolare confrontando gli andamenti di temperatura previsti e quelli misurati sulle due facce del canale di ventilazione), è stato possibile calcolare nel corso dell'anno il calore che si deve fornire (in inverno) o asportare (in estate) alla mansarda per mantenere una data temperatura interna.

RISULTATI OTTENUTI

Rimandando ancora alla relazione tecnica dell'Università di Padova per quanto riguarda i dettagli, vogliamo qui riassumere i risultati principali, sia per quanto riguarda il comportamento estivo che invernale.

COMPORAMENTO ESTIVO

La Tabella 1 mostra il confronto tra il fabbisogno termico annuo estivo della mansarda in oggetto nel caso delle due coperture, per mantenere la temperatura interna ad un valore massimo 26°C.

Tetto	Fabbisogno termico annuo estivo (kWh)
A: tetto tradizionale	203
B: tetto ventilato con Barriera Radiante	127 (-37%)

Tabella 1: confronto tra i fabbisogni termici annui estivi per condizionare la mansarda.

Come è evidente, il tetto ventilato munito di barriera radiante si dimostra decisamente più efficiente nel proteggere dalle sovratemperature estive, comportando un **carico di condizionamento inferiore del 37%** rispetto al tetto tradizionale.

I risultati sono coerenti con altri risultati teorici e sperimentali, che confermano come la presenza di una barriera radiante e di una camera ventilata riduca in modo considerevole il flusso termico entrante. In tal caso infatti la maggior parte del calore irraggiato dal sole scalda le tegole ma non viene trasmesso all'isolante sottostante.

E' inoltre del tutto evidente che, nel caso in cui la mansarda non venga condizionata, il minor flusso termico entrante porti a temperature interne inferiori e quindi a un maggior *comfort* abitativo.

COMPORAMENTO INVERNALE

Ai fini invernali, nel caso del tetto ventilato è ragionevole trascurare gli strati sopra l'isolante tradizionale, in quanto in inverno il calore solare apportato dal tetto è modesto, e in questo caso il canale di ventilazione si può pensare percorso da aria alla stessa temperatura dell'aria esterna. Questo è quanto prevede la UNI EN ISO 6946 – 2007 che nel caso di stati ben ventilati (punto 5.3.4) prevede appunto di considerare ai fini del calcolo della trasmittanza termica i soli strati prima del canale di ventilazione. Procedendo in questo modo, si trova per il tetto ventilato proposto un

valore di $U = 0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, che risulta essere conforme ai valori previsti dalle norme (valore massimo permesso pari a $0,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$). Il valore di U sopra riportato sarà quindi quello da utilizzare ai fini del calcolo energetico invernale..

I risultati dell'analisi dell'Università di Padova sono coerenti con questa valutazione, come mostrato dalla Tabella 2 che mostra i fabbisogni termici invernali nei due casi.

Tetto	Fabbisogno termico annuo invernale (kWh)
A: tetto tradizionale	6760
B: tetto ventilato con Barriera Radiante	6360 (-6%)

Tabella 2: confronto tra i fabbisogni termici invernali per i due casi analizzati

Come è evidente dalla Tabella 2, il tetto ventilato e munito di barriera radiante, pur avendo uno strato di isolante di 12 cm rispetto ai 14 cm del tetto tradizionale (e a parità di trasmittanza termica), ha un comportamento leggermente migliore anche in inverno. Ciò è dovuto in gran parte al fatto che la barriera radiante limita la dispersione di calore irradiato dal tetto, in particolare durante la notte. Il calore emesso per radiazione infrarossa dal tetto viene in questo caso riflesso dalla barriera e ciò, oltre a compensare la perdita del calore irradiato dal sole di giorno, permette un leggero guadagno termico globale.

CONCLUSIONI

Il confronto tra due tetti a copertura di una tipica mansarda, uno tradizionale con valore di Y_{IE} a norma secondo il D.P.R. 2 aprile 2009, n°59 e l'altro ventilato e munito di una barriera radiante, mostra come il secondo risulti più efficace ai fini del contenimento del flusso termico in entrata durante il periodo estivo.

Il tetto ventilato proposto in Figura 1 risulta quindi non soltanto conforme a quanto previsto dall'articolo 18 (comma c) in relazione alla limitazione dei fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e del contenimento della temperatura interna degli ambienti, ma addirittura più efficace di un tetto tradizionale dotato di un' ottima trasmittanza termica periodica (Y_{IE} pari a $0,13 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$).

Dal punto di vista invernale le due soluzioni sono pressoché equivalenti (cosa attesa dato il valore di trasmittanza termica identico), anche se vi è evidenza che il tetto munito di barriera radiante permetta un leggero contenimento dei consumi grazie alla limitazione del calore irradiato dal tetto verso l'esterno.

Ing. Paolo Pancheri