

# Riflettanza “equivalente” di coperture in laterizio

Valutazione dei benefici sul raffrescamento degli edifici  
e sull'isola di calore urbana

M. D’Orazio, E. Di Giuseppe, N. Cozzolino,  
R. Allen, A. Di Fusco, G. D’Anna

In copertina  
Foster+Partners  
Nuovo padiglione per il vino  
Chateau Margaux, Bordeaux - Francia  
Foto: Nigel Young (Costruire in Laterizio 168)

©2019 Later service Edizioni  
Stampa: CSR – Roma, gennaio 2019

ISBN 9788890527135

Tutti i diritti riservati  
All rights reserved

Nessuna parte del presente fascicolo, testi ed immagini, può essere riprodotta in qualsiasi forma, in assenza di autorizzazione da parte di Later service Srl.

No part of this booklet, texts and images, may be reproduced in any form, without prior written permission of Later service Srl.

Graphic Design: Mattia Pavanello







# Riflettanza “equivalente” di coperture in laterizio

Valutazione dei benefici sul raffrescamento degli edifici  
e sull'isola di calore urbana

ANDIL  
Università Politecnica delle Marche

a cura di

M. D'Orazio\*\*

E. Di Giuseppe\*\*

N. Cozzolino\*\*

R. Allen \*\*\*

A. Di Fusco\*

G. D'Anna\*

ANDIL \*

Università Politecnica delle Marche, Dip.DICEA\*\*,

BMI Technical Centre \*\*\*

TUTTI I DIRITTI RISERVATI @ 2019

# Abstract

Il D.M 26.06.2015 “Requisiti Minimi” impone al progettista di valutare l'efficacia, in termini di rapporto costi-benefici, di soluzioni tecnologiche per le coperture degli edifici, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva ed il surriscaldamento a scala urbana.

Considerata la varietà di tecnologie costruttive, e dati i vincoli architettonici e tecnici esistenti, il progettista rischia di trovarsi disorientato e di privilegiare la scelta di materiali per il manto ad elevata riflettanza solare piuttosto che valutare strategie alternative, sostenibili e durevoli che sfruttano la climatizzazione passiva, come la ventilazione; soluzioni entrambe indicate dal legislatore.

Il presente manuale, risultato di una attività di ricerca condotta dall'ANDIL, dal DICEA dell'Università Politecnica delle Marche e dal BMI Technical Centre, presenta due metodi di calcolo complementari della “Riflettanza Equivalente” di coperture, ovvero della loro capacità di ridurre il calore estivo entrante nell'edificio o di limitare il surriscaldamento urbano. Tali metodi, e i valori di Riflettanza Equivalente ottenuti per diverse tipologie di copertura, possono essere utilizzati dal progettista come parte integrante e conforme alla valutazione richiesta nel D.M.

I risultati della ricerca mostrano che prendere in considerazione la sola riflettanza non garantisce sempre una rappresentazione adeguata delle prestazioni di una copertura. Notevoli possono essere infatti i vantaggi ottenibili con altre soluzioni, quali un corretto bilanciamento tra isolamento termico e massa inerziale, l'inserimento di membrane riflettenti sotto il manto e la presenza di uno strato di ventilazione/traspirazione sotto e attraverso le tegole.







# Indice

Introduzione	10
Coperture a falde e comfort interno: un metodo analitico per la valutazione dell'impatto di coperture in laterizio sul risparmio energetico di raffrescamento e il comfort interno	13
Coperture a falde e isola di calore urbana: un metodo empirico per la valutazione dell'impatto di coperture in laterizio sulla temperatura del manto	19
Conclusioni	26
Riferimenti	27

# Introduzione

Nel 2015, il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e il Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, ha emanato il Decreto Interministeriale 26.06.2015 “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”.

Si tratta di un documento complesso che aggiorna diversi aspetti della progettazione degli edifici. Tra le più rilevanti novità vi è l'introduzione di vincoli relativi alla prestazione dell'edificio in fase estiva, al fine di ridurre il fabbisogno energetico per il raffrescamento e limitare il riscaldamento delle aree urbane (il cosiddetto effetto “isola di calore urbana”, “Urban Heat Island” o UHI)<sup>1</sup>.

Poiché una quantità significativa del calore scambiato tra edificio e ambiente interno ed esterno passa attraverso la copertura, le scelte tecnologiche e costruttive relative della copertura svolgono un ruolo cruciale, sia per il comfort interno che per il surriscaldamento dell'aria esterna circostante.

Su tale considerazione si basa l'adempimento richiesto dalla nuova legislazione al progettista, riguardante la necessità di realizzare una analisi costi-benefici con lo scopo di valutare quali misure sono necessarie in copertura per ottenere una riduzione del consumo di energia per il raffrescamento e la limitazione del surriscaldamento nelle aree urbane. In particolare, per le coperture a falde viene introdotta la necessità di valutare la Riflettanza Solare Totale (RS)>0.3 di qualsiasi materiale utilizzato per il manto o l'opportunità di utilizzare tecnologie di raffrescamento passivo quali ventilazione sottomanto.

Poiché il requisito della Riflettanza Solare non è obbligatorio, il progettista è libero di prendere in considerazione soluzioni differenti per la progettazione di coperture inclinate, che non si limitino alla scelta di materiali riflettenti. In effetti, la scelta di un manto di copertura altamente riflettente non è sempre la soluzione migliore se si prendono in considerazione altri fattori come il clima locale, le scelte estetiche o il rispetto dei vincoli architettonici e paesaggistici locali.

Considerando il comfort interno, ad esempio, la riflessione di calore verso l'ambiente esterno risulta vantaggiosa durante i mesi estivi, ma non durante la stagione fredda, quando invece il calore aggiuntivo (apporto solare “gratuito”) contribuisce alla riduzione dei costi energetici per il riscaldamento invernale. Il miglioramento del comfort estivo per gli occupanti degli edifici, e conseguentemente una riduzione dei consumi per la climatizzazione, possono essere raggiunti anche utilizzando in copertura altre strategie

<sup>1</sup> Nello specifico l'allegato 1 “Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici” del DM 26.06.2015 (Requisiti minimi) riporta al punto 2.3, la seguente dizione: “Al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nonché di limitare il surriscaldamento a scala urbana, per le strutture di copertura degli edifici è obbligatoria la verifica dell'efficacia, in termini di rapporto costi-benefici, dell'utilizzo di: (a) materiali a elevata riflettanza solare per le coperture (cool roof), assumendo per questi ultimi un valore di riflettanza solare non inferiore a: 0,65 nel caso di coperture piane; 0,30 nel caso di copertura a falde; (b) tecnologie di climatizzazione passiva (a titolo esemplificativo e non esaustivo: ventilazione, coperture a verde).

“cool”; quali ad esempio la scelta di un corretto bilanciamento tra isolamento termico e massa inerziale, l’inserimento di membrane riflettenti sotto il manto di copertura e la presenza di uno strato sufficiente di ventilazione sotto le tegole.

Per quanto riguarda la limitazione dell’effetto “isola di calore urbana”, si possono utilizzare materiali esterni di finitura dei fabbricati in grado di riflettere il calore solare, riducendo la propria temperatura superficiale e la quantità totale di energia immagazzinata negli ambienti interni<sup>2</sup>. Tuttavia, la riflettanza di tali materiali, e conseguentemente la loro efficacia, potrebbe ridursi nel tempo a causa dell’invecchiamento, del deterioramento atmosferico, del deposito di polveri e microorganismi. Il progettista può quindi scegliere modi alternativi per ridurre la temperatura della superficie esterna di un edificio, basati ad esempio sulla ventilazione e sulla massa inerziale dell’involucro edilizio. In tale contesto, considerata la varietà di scelta tra tecnologie costruttive alternative, e dati i vincoli architettonici e tecnici esistenti, il progettista rischia di trovarsi disorientato e di privilegiare la scelta di materiali per il manto ad elevata riflettanza solare piuttosto che valutare strategie alternative, sostenibili e durevoli che sfruttano la climatizzazione passiva, come la ventilazione; soluzioni entrambe indicate dal legislatore [1].

In questo manuale vengono presentati due metodi di calcolo complementari della “Riflettanza Equivalente” (Re) di coperture a falde, ovvero della capacità di tali componenti di ridurre il calore entrante nell’edificio a vantaggio del comfort interno (primo metodo) o di limitare la UHI (secondo metodo). Tali metodi possono essere utilizzati dal progettista come parte integrante la valutazione costi / benefici richiesta nel D.M. 26.06.2015. Vengono inoltre forniti valori di riferimento della Riflettanza Equivalente di diverse tipologie di copertura comunemente utilizzate in Italia.

Il primo metodo utilizza modelli analitici calibrati su misurazioni reali per calcolare, sull’intera copertura con diverse soluzioni progettuali, la riduzione complessiva del fabbisogno energetico di raffrescamento, in relazione ad un migliorato comfort degli occupanti.

Il secondo metodo utilizza un modello empirico basato sull’interpretazione di misurazioni reali per calcolare la riduzione della temperatura superficiale esterna del manto in funzione dello strato di ventilazione, al fine di limitare il fenomeno “isola di calore urbana”.

Entrambi i metodi mostrano che prendere in considerazione la sola riflettanza solare non garantisce sempre una rappresentazione adeguata delle prestazioni di una copertura. I vantaggi ottenibili con altre soluzioni progettuali sono espressi come Riflettanza Equivalente: un indicatore sintetico della prestazione, utile al progettista nella valutazione richiesta dal legislatore.

<sup>2</sup> Il tema del contenimento della UHI attraverso l’uso di strategie passive e materiali riflettenti nell’involucro edilizio è affrontato anche nel D.M. 28.12.2015, noto come “CAM” (criteri ambientali minimi), e in protocolli ambientali di certificazione, quali LEED e ITACA, tra i più diffusi in Italia. Un approfondimento del tema è riportato in [1].





# Coperture a falde e comfort interno: un metodo analitico per la valutazione dell'impatto di coperture in laterizio sul risparmio energetico di raffrescamento e il comfort interno

Il metodo di calcolo descritto in questo paragrafo, e i risultati ottenuti, permettono di quantificare il beneficio - in termini di riduzione dell'apporto di calore estivo attraverso il tetto - legato all'utilizzo di una copertura con sistemi di raffrescamento "passivi" (ventilazione, riflettanza e massa termica) rispetto alla sola considerazione di un elevato valore di riflettanza solare totale del manto. Tale beneficio si può considerare una "Riflettanza Equivalente" della copertura rispetto al calore entrante.

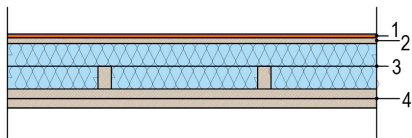
La Riflettanza Equivalente è stata calcolata per diverse coperture con lo stesso livello di isolamento e con alternative soluzioni tecnologiche (ventilazione, superfici riflettenti sotto manto e solai ad elevata massa inerziale), utilizzando un modello numerico. La procedura di calcolo consiste nell'impostare diversi valori di riflettanza solare ad una copertura non ventilata, con manto continuo e solaio "leggero" (copertura di riferimento), fino ad ottenere le stesse prestazioni, in termini di flusso termico entrante in fase estiva, delle alternative soluzioni di copertura (dettagli sulla metodologia di calcolo implementata sono forniti nel Box A).

Le caratteristiche delle coperture simulate sono riportate di seguito e in figura 1:

1. Copertura di riferimento non ventilata: manto continuo in rame su tavolato OSB di 1,5 cm; isolante EPS di 12 cm; doppio tavolato in abete di 5 cm;
2. Copertura di riferimento ventilata: manto con tegole in laterizio; ventilazione 6 cm; isolante EPS di 12 cm; doppio tavolato in abete di 5 cm;
3. Soluzione A: come la copertura ventilata, con aggiunta di barriera radiante sopra lo strato di isolamento e isolante in lana minerale di 12 cm (a sostituzione di quello in EPS);
4. Soluzione B: come la copertura ventilata, ma su solaio in laterocemento di spessore 20 cm (a sostituzione del doppio tavolato in abete);
5. Soluzione C: come la copertura ventilata, ma su solaio in laterocemento di spessore 20 cm (a sostituzione del doppio tavolato in abete) e con uno strato di micro-ventilazione di 3 cm (a sostituzione dello strato di 6 cm).

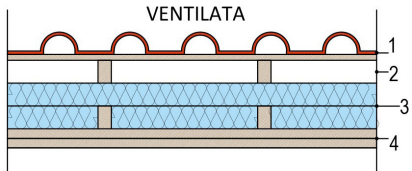
Copertura di riferimento non ventilata				
MATERIALE	SPESSORE (m)	CONDUCIBILITA' TERMICA (W/mK)	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CALORE SPECIFICO (J/Kg K)
Lastra in rame	0,001	380000	8900	382
Strato separatore (fibre sintetiche-elastomeriche)	0,003			
Tavolato OSB	0,015	0,130	630	1600
Isolante EPS	0,120	0,035	25	1470
Doppio tavolato Abete	0,050	0,120	550	1400

COPERTURA DI RIFERIMENTO  
NON VENTILATA



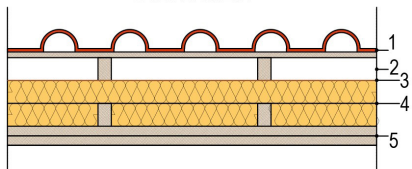
Copertura di riferimento ventilata				
MATERIALE	SPESSORE (m)	CONDUCIBILITA' TERMICA (W/mK)	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CALORE SPECIFICO (J/Kg K)
Tegole in laterizio	0,015	0,900	1950	1000
Ventilazione	0,060			
Isolante EPS	0,120	0,035	25	1470
Doppio tavolato Abete	0,050	0,120	550	1400

COPERTURA DI RIFERIMENTO  
VENTILATA

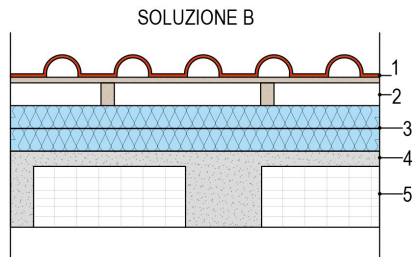


Soluzione A				
MATERIALE	SPESSORE (m)	CONDUCIBILITA' TERMICA (W/mK)	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CALORE SPECIFICO (J/Kg K)
Tegole in laterizio	0,015	0,900	1950	1000
Ventilazione	0,060			
Barriera radiante	0,001	0,300	960	1400
Isolante (MW)	0,120	0,035	12	1030
Doppio tavolato Abete	0,050	0,120	550	1400

SOLUZIONE A



Soluzione B				
MATERIALE	SPESSORE (m)	CONDUCIBILITA' TERMICA (W/mK)	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CALORE SPECIFICO (J/Kg K)
Tegole in laterizio	0,015	0,900	1950	1000
Ventilazione	0,060			
Isolante (EPS)	0,120	0,035	25	1470
Calcestruzzo armato	0,040	1330	2400	1000
Pignatte in laterizio	0,160	0,560	505	800



Soluzione C				
MATERIALE	SPESSORE (m)	CONDUCIBILITA' TERMICA (W/mK)	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CALORE SPECIFICO (J/Kg K)
Tegole in laterizio	0,015	0,900	1950	1000
Ventilazione	0,030			
Isolante (EPS)	0,120	0,035	25	1470
Calcestruzzo armato	0,040	1330	2400	1000
Pignatte in laterizio	0,160	0,560	505	800

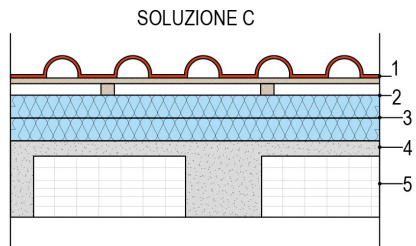


Figura 1 Soluzioni di copertura analizzate, dati termofisici dei materiali componenti le stratigrafie.

La tabella 1 riassume i risultati ottenuti in termini di Riflettanza Equivalente. Ad esempio, a confronto con la copertura di riferimento non ventilata, con riflettanza del manto pari a 0.3, la Riflettanza Equivalente per:

- la copertura di riferimento ventilata in laterizio è circa 0.7;
- la soluzione A è circa 0.76;
- la soluzione B è circa 0.84;
- la soluzione C è circa 0.83.

Copertura	Strategia di raffrescamento passivo	Riflettanza				
Copertura di riferimento non ventilata	-	Riflettanza del solo manto				
		0.1	0.20	<b>0.30</b>	0.40	0.42
		Riflettanza Equivalente				
Copertura di riferimento ventilata	Ventilazione	0.62	0.66	<b>0.70</b>	0.74	0.75
Soluzione A	Ventilazione Barriera radiante su isolante	0.70	0.73	<b>0.76</b>	0.79	0.80
Soluzione B	Ventilazione Massa termica del solaio	0.79	0.81	<b>0.84</b>	0.86	0.86
Soluzione C	Massa termica del solaio	0.78	0.81	<b>0.83</b>	0.85	0.86

Tabella 1 Corrispondenza tra i valori di “Riflettanza Equivalente” per le diverse coperture simulate (la riflettanza 0.42 è stata presa in considerazione essendo il valore relativo alle tegole installate sulla copertura ventilata monitorata usata per calibrare il modello numerico).

Da questi risultati si può dedurre che il beneficio maggiore, in termini di riduzione dei flussi termici passanti in fase estiva, si ottiene con un aumento della massa termica, seguito dall’inserimento di una barriera radiante accoppiata alla ventilazione, ed infine anche solo con lo strato di ventilazione.

Si può inoltre osservare come la presenza di diverse strategie di raffrescamento passivo dell’intera copertura (ventilazione e permeabilità all’aria delle tegole, presenza di barriere radianti, massa termica), garantisce comunque elevati valori di Re (sempre superiori a 0.62), anche in relazione a una riflettanza del manto pari a solo 0.1.

Il metodo di calcolo presentato può essere utilizzato per confrontare i benefici di diverse scelte tecnologiche in copertura anche durante l’intero anno, tenendo conto che alcune soluzioni con materiali ad elevata riflettanza potrebbero avere anche un effetto negativo nella stagione invernale, per effetto della riduzione del guadagno solare, con l’aumento dell’energia spesa per il riscaldamento.



## Box A - Ulteriori dettagli sul metodo di calcolo 1

Il modello di copertura implementato nel Monier Roof Physics Software [2] è stato calibrato a fronte dei dati sperimentali raccolti sui due sistemi di copertura di riferimento presentati precedentemente: una copertura non ventilata con manto continuo in rame e una copertura ventilata con manto in laterizio (figura 1). La calibrazione del modello è stata realizzata raffrontando il flusso di calore simulato e quello misurato attraverso entrambe le coperture, considerando i dati raccolti nel mese di agosto 2009 (figura A.1).

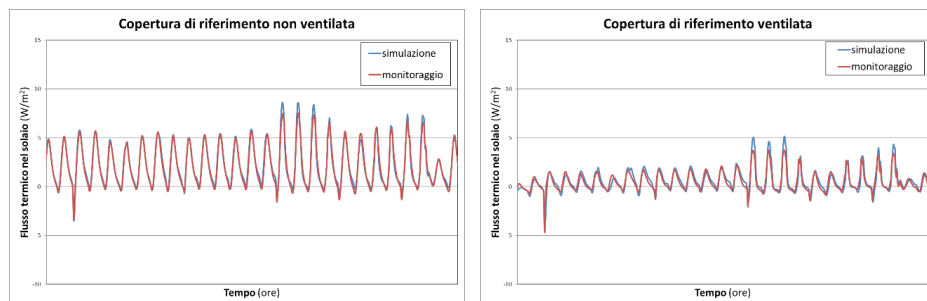


Figura A.1 Andamento dei flussi termici attraverso le coperture, raffronto tra dati monitorati e simulati.

Il buon livello di rispondenza tra dati misurati e simulati raggiunto per entrambe le coperture giustifica l'utilizzo del software per modellare coperture simili con un alto grado di sicurezza. Pertanto, è stato possibile estendere il numero di tipologie di copertura valutabili al di là del set di dati di misurazioni reali disponibile.

Innanzitutto, lo studio ha previsto la simulazione del modello di copertura di riferimento non ventilata variando i valori di Riflettanza Solare totale del manto, effettuata con dati climatici esterni estivi della città di Ancona e temperatura interna fissa a 26°C. Quindi, i risultati ottenuti, espressi in termini di flusso termico medio passante attraverso la copertura nel mese di agosto, sono stati inseriti in un grafico in relazione ai valori di Riflettanza Solare totale simulati, ottenendo una curva di riferimento (figura A.2).

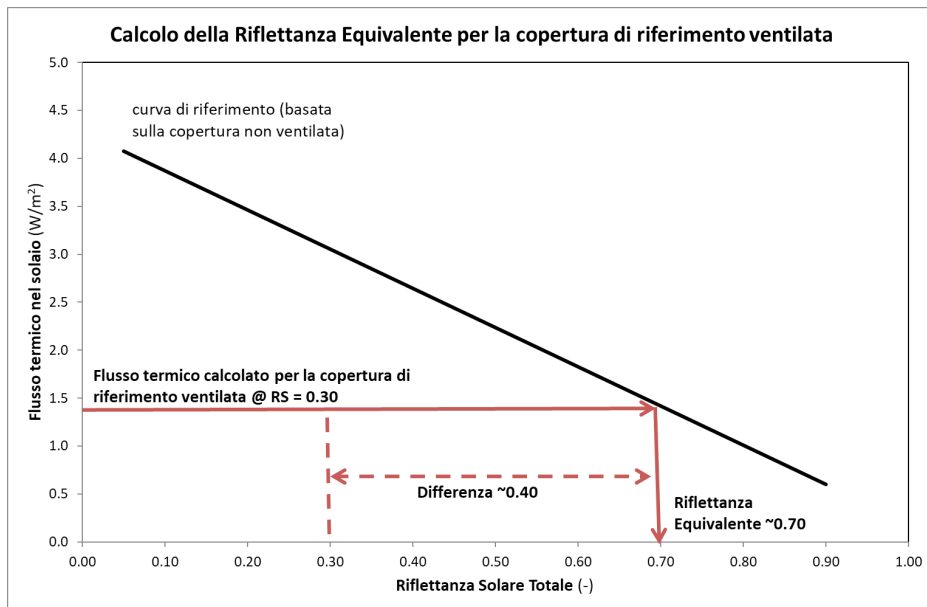


Figura A.2 Curva di riferimento per la quantificazione della “Riflettanza Equivalente” di coperture, in termini di impatto sui flussi termici passanti

Tramite la curva è stato quindi possibile convertire i flussi di calore ottenuti dalle successive simulazioni sulle altre tipologie di copertura in una “Riflettanza Equivalente” di queste; ovvero la Riflettanza Solare totale richiesta alla copertura non ventilata di riferimento per raggiungere lo stesso livello di prestazioni delle altre coperture modellate. Per compatibilità con i risultati della calibrazione del modello, sono qui presentati solo i risultati per il mese di agosto; tuttavia, è possibile comparare i dati ottenuti con le medie dell’intera stagione estiva (giugno, luglio, agosto).

# Coperture a falde e isola di calore urbana: un metodo empirico per la valutazione dell'impatto di coperture in laterizio sulla temperatura del manto

Il metodo descritto di seguito si propone di individuare una “Riflettanza Equivalente” di coperture ventilate in laterizio, al fine di quantificare il beneficio dell'utilizzo della ventilazione sottomanto quale tecnica di raffrescamento passivo per la riduzione della temperatura superficiale delle tegole.

Il metodo si basa sull'interpretazione dei dati termici e climatici ottenuti con monitoraggi in ambiente esterno di diverse tipologie di coperture ventilate a scala reale <sup>3</sup>.

I dati raccolti sulle coperture sono stati utilizzati per calcolare il valore di riflettanza in grado di avvicinare il più possibile il valore di temperatura del manto, calcolato utilizzando l'equazione della temperatura aria-sole, con quello misurato durante il monitoraggio (dettagli sulla metodologia di calcolo implementata sono forniti nel box B e in [3]).

Il valore di  $R_e$  indica la capacità dei manti ventilati in laterizio di limitare le temperature raggiunte dalla copertura quando sottoposta ad elevato irraggiamento solare. Tale prestazione nasce dalla efficace sinergia tra le proprietà termiche dei materiali componenti e la configurazione tecnologica delle coperture ventilate in laterizio: la presenza della ventilazione sottomanto, la permeabilità all'aria degli elementi discontinui (tegole, coppi), nonché le proprietà termiche (conducibilità e capacità termica) e radiative che caratterizzano le tegole in laterizio.

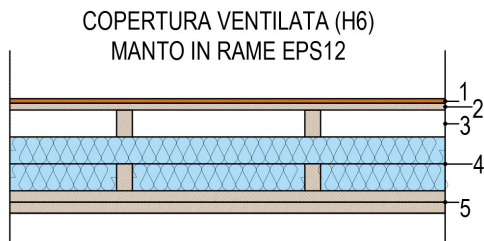
Le caratteristiche delle coperture monitorate, per le quali si è ottenuto il valore di  $R_e$ , sono riportate di seguito e in figura 2. A queste si aggiunge la copertura di riferimento ventilata già descritta nel paragrafo precedente (figura 1).

- Copertura ventilata (H6) manto in rame EPS12: manto continuo in rame su tavolato OSB di 1,5 cm; ventilazione di 6 cm; isolante EPS di 12 cm; doppio tavolato in abete di 5 cm;
- Copertura ventilata (H3) tegole in laterizio EPS12: manto con tegole in laterizio; ventilazione di 3 cm; isolante EPS di 12 cm; doppio tavolato in abete di 5 cm;
- Copertura ventilata (H5) tegole in laterizio MDF8: manto con tegole in laterizio; ventilazione di 5 cm; isolante in fibra di legno di 8 cm; doppio tavolato in abete di 5 cm;
- Copertura ventilata (H3) tegole in laterizio EPS3: manto con tegole in laterizio; ventilazione di 3 cm; isolante EPS di 3 cm; tavolato di legno di 3 cm;
- Copertura ventilata (H6) tegole in laterizio EPS3: come la copertura precedente, ma con uno strato di ventilazione di 6 cm;
- Copertura ventilata (H9) tegole in laterizio EPS3: come la copertura precedente, ma

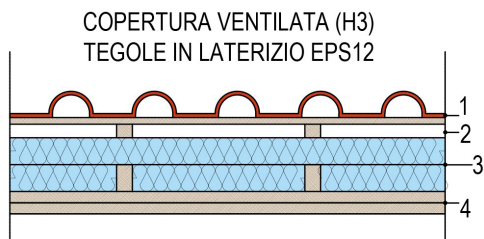
<sup>3</sup> Monitoraggi condotti dal Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura dell'Università Politecnica delle Marche [4–6].

- con uno strato di ventilazione di 9 cm;
- Copertura ventilata (H6) marsigliesi in laterizio EPS3: manto con tegole marsigliesi in laterizio; ventilazione di 6 cm; isolante EPS di 3 cm; tavolato di legno di 3 cm;
- Copertura ventilata (H9) marsigliesi in laterizio EPS3: come la copertura precedente, ma con ventilazione di 9 cm.

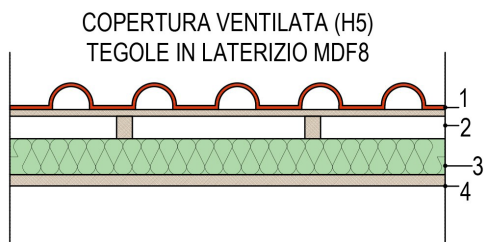
Copertura ventilata (H6) manto in rame EPS12	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Lastra in rame	0,001
Tavolato OSB	0,015
Ventilazione	0,060
Isolante (EPS)	0,120
Doppio tavolato Abete	0,050



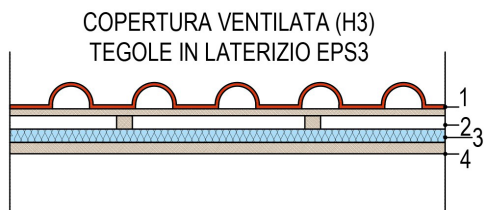
Copertura ventilata (H3) tegole in laterizio EPS12	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole in laterizio	
Ventilazione	0,030
Isolante (EPS)	0,120
Doppio tavolato Abete	0,050



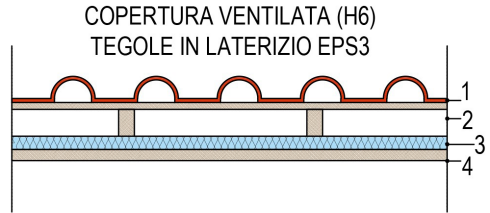
Copertura ventilata (H5) tegole in laterizio MDF8	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole in laterizio	
Ventilazione	0,050
Isolante (Fibra di Legno)	0,080
Tavolato Abete	0,030



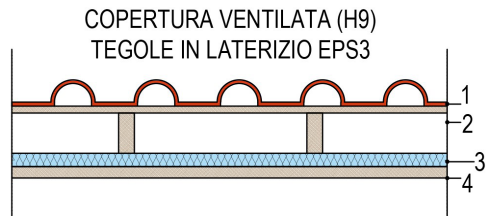
Copertura ventilata (H3) tegole in laterizio EPS3	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole in laterizio	
Ventilazione	0,030
Isolante (EPS)	0,030
Tavolato in legno	0,030



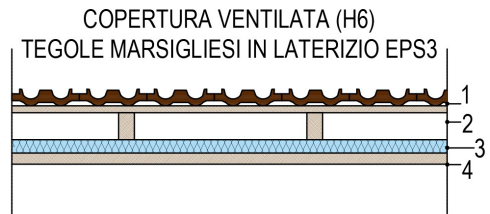
Copertura ventilata (H6) tegole in laterizio EPS3	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole in laterizio	
Ventilazione	0,060
Isolante (EPS)	0,030
Tavolato in legno	0,030



Copertura ventilata (H9) tegole in laterizio EPS3	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole in laterizio	
Ventilazione	0,090
Isolante (EPS)	0,030
Tavolato in legno	0,030



Copertura ventilata (H6) Marsigliesi in laterizio EPS3	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole Marsigliesi in laterizio	
Ventilazione	0,060
Isolante (EPS)	0,030
Tavolato in legno	0,030



Copertura ventilata (H9) Marsigliesi in laterizio EPS3	
MATERIALE	SPESSORE (m)
Tegole Marsigliesi in laterizio	
Ventilazione	0,090
Isolante (EPS)	0,030
Tavolato in legno	0,030

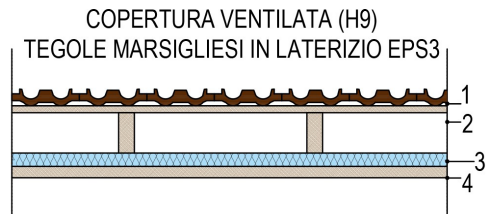


Figura 2 Stratigrafie e immagini delle coperture oggetto di monitoraggio termico e climatico in Italia.

Come si può evincere dai risultati riportati in tabella 2, espressi in termini di valore della Riflettanza Equivalente ottenuta sulle coperture, a confronto con i valori di riflettanza misurata del materiale del manto ( $R_m$ ), si può osservare come per le tipologie di coperture monitorate il valore della  $R_e$  aumenta significativamente grazie alla ventilazione sotto il manto di copertura.

I risultati evidenziano anche che maggiore è il livello di ventilazione, maggiore è il beneficio che si ottiene in termini di riduzione delle temperature del manto, come si evince in figura 3, dove vengono tracciate curve di correlazione empirica tra i valori di  $R_e$  e i valori di  $R_m$  delle coperture ventilate analizzate.

Noti i valori di riflettanza del materiale del manto, in presenza di intercapedini di ventilazione, è quindi fornita una utile indicazione sulla Riflettanza Equivalente dell'intero manto e conseguentemente dei benefici ottenibili sul fenomeno UHI.

Copertura	Livello di ventilazione del manto	Riflettanza misurata	Riflettanza Equivalente
Copertura ventilata H3 tegole in laterizio	basso	0.38	<b>0.40</b>
Copertura ventilata H3 tegole in laterizio	basso	0.42	<b>0.54</b>
Copertura ventilata H6 manto in rame	medio	0.32	<b>0.38</b>
Copertura ventilata H6 tegole in laterizio	medio	0.38	<b>0.52</b>
Copertura di riferimento ventilata	medio	0.42	<b>0.57</b>
Copertura ventilata H6 marsigliesi in laterizio	medio	0.44	<b>0.66</b>
Copertura ventilata H5 tegole in laterizio	medio	0.46	<b>0.69</b>
Copertura ventilata H9 tegole in laterizio	alto	0.38	<b>0.60</b>
Copertura ventilata H9 marsigliesi in laterizio	alto	0.44	<b>0.68</b>

Tabella 2 Sintesi dei valori di  $R_e$  ottenuti, a confronto con i valori di  $R_m$ , per le tipologie di coperture monitorate

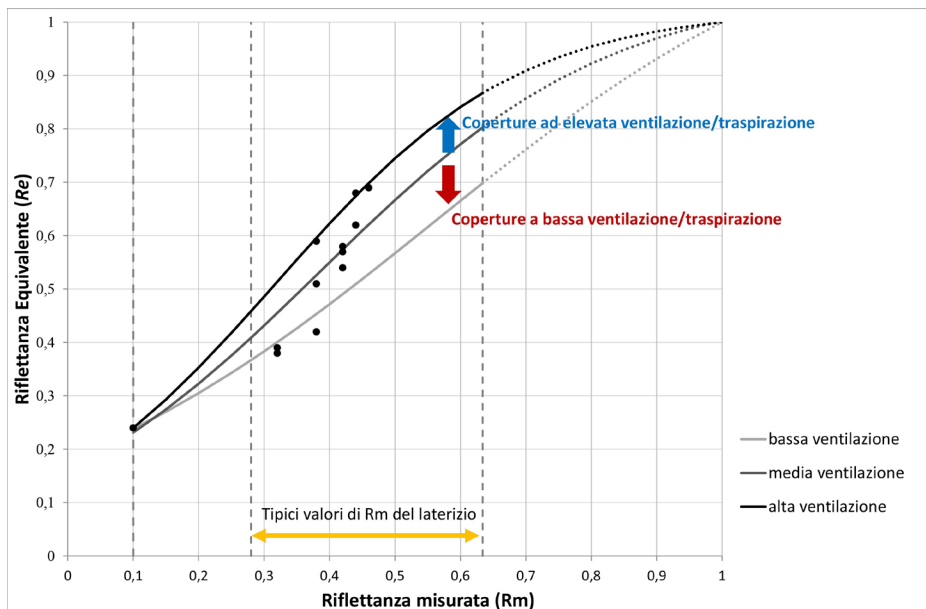


Figura 3 Curve di correlazione empirica tra i valori di Re e i valori di Rm di coperture ventilate.

Si noti che i risultati ottenuti per la Riflettanza Equivalente del manto di coperture ventilate in laterizio ottenuti con questo metodo non sono direttamente confrontabili con quelli ottenuti col metodo analitico. Infatti, il primo metodo considera l'intero sistema copertura per calcolare il flusso di calore nell'edificio (efficacia in termini di raffrescamento interno), mentre il secondo si concentra sulla parte superiore della stratigrafia per calcolare la temperatura della superficie del manto (efficacia in termini di impatto sulla UHI).

## Box B - Ulteriori dettagli sul metodo di calcolo 2

I dati climatici e quelli termici raccolti sulle coperture presentate in Figura 2 (temperature superficiali e flussi di calore) sono stati utilizzati per calcolare il valore di assorbanza del manto ( $\alpha$ ) in grado di eguagliare la temperatura del manto misurata ( $T_c$ ) durante il monitoraggio e quella ottenuta utilizzando la nota relazione della temperatura aria-sole (Equazione 1):

(1)

$$T_{as} = T_e + \frac{1 - Re}{h_e} I - Fr \frac{h_r * \Delta\theta_e}{h_e}$$

L'equazione mette in relazione le seguenti grandezze climatiche esterne con la temperatura aria-sole del manto ( $T_{as}$ ): radiazione solare misurata ( $I$ ), temperatura dell'aria esterna misurata ( $T_e$ ), coefficiente di scambio termico superficiale (convettivo  $h_c$  + radiativo  $h_r = h_e$ ), fattore di forma tra il tetto e il cielo ( $Fr$ ) (UNI/TS 11300-1:2014), differenza tra temperatura dell'aria esterna e temperatura equivalente del cielo ( $\Delta\theta_e$ ) considerata pari a 11°C (UNI EN ISO 13790:2008).

Il valore calcolato per  $\alpha$  può essere convertito in una "Riflettanza Equivalente",  $Re$ , tramite la relazione  $Re = 1 - \alpha$ . Il valore di Riflettanza Equivalente del manto è stato calcolato per tutte le coperture monitorate nelle seguenti condizioni:

- elevati valori di temperatura esterna ed irraggiamento solare, tipici di giornate estive in Italia;
- in un intervallo temporale specifico (dalle 11:00 alle 15:00) e per radiazione solare sul piano orizzontale superiore a 500 W/m<sup>2</sup>, così da considerare le condizioni di maggiore sollecitazione termica del manto.

Un esempio del confronto tra la temperatura superficiale del manto misurata e la temperatura calcolata dell'aria-sole per uno dei casi studio (copertura di riferimento ventilata H6) è mostrato in figura B.1. I dati misurati e calcolati sono comparabili con un grado accettabile di accuratezza.



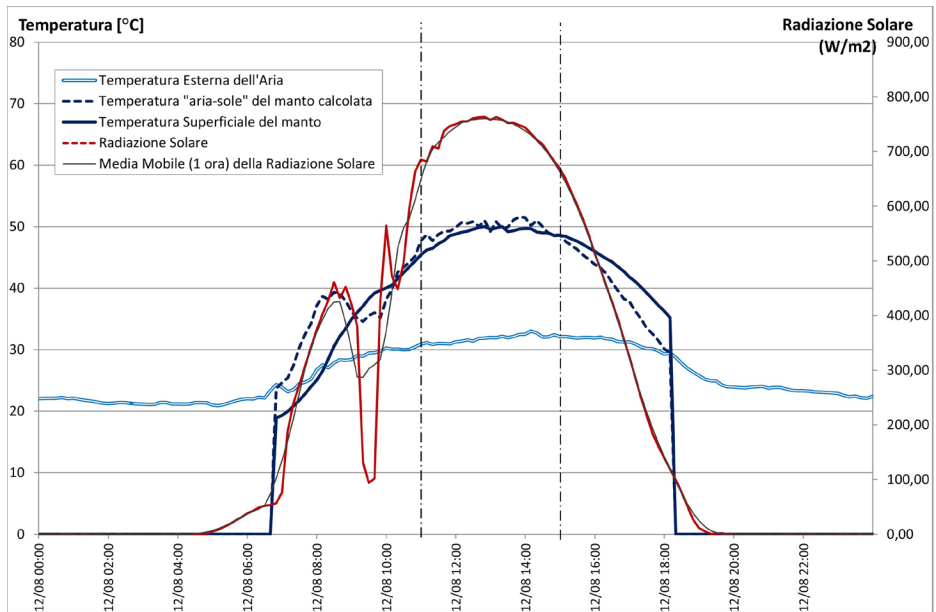


Figura B.1 Andamento delle temperature registrate nella copertura di riferimento ventilata H6, della temperatura aria-sole calcolata e delle grandezze climatiche esterne durante una giornata estiva

Applicando la procedura a tutte le tipologie di copertura dei diversi casi studio si è quindi ottenuta la distribuzione di frequenza della Riflettanza Equivalente per ogni tipologia. L'errore che si commetterebbe nell'assumere i valori medi di  $R_e$  validi su tutto il periodo di monitoraggio è stato stimato essere sempre inferiore al 6,5%, indicando quindi l'elevata accuratezza del metodo utilizzato.

## Conclusioni

L'attuale Decreto 26.06.2015 "Requisiti Minimi", con le prescrizioni sulle tecnologie di copertura, si pone il duplice obiettivo di limitare sia il fabbisogno energetico di raffrescamento degli edifici che il fenomeno "isola di calore urbana".

A tal fine, non si impone al progettista direttamente l'obbligo di utilizzare materiali di finitura con Riflettanza Solare maggiore di 0.3 (seppure tale valore è direttamente suggerito dal legislatore), tuttavia a questi è richiesto di effettuare una analisi costi-benefici al fine di giustificare la scelta di determinate strategie di raffrescamento in copertura. Ciò in considerazione del fatto che non sempre un materiale per il manto con un elevato valore di riflettanza solare totale è l'unica soluzione proponibile, anzi, in alcuni casi, tale soluzione potrebbe non essere né necessaria né benefica.

In questo manuale sono stati presentati due metodi di calcolo complementari che possono essere utilizzati dal progettista per una adeguata scelta della tecnologia di copertura, tale da rispondere contemporaneamente sia alla necessità di contenimento dei consumi per il raffrescamento che a quella di mitigazione della UHI.

Dai risultati ottenuti con entrambi i metodi, si può dedurre come una buona prestazione di tecnologie di copertura in fase estiva non sia legata alle sole proprietà di riflettanza del manto. Occorre invece prendere in esame la copertura come un sistema unico e considerare che prestazioni ottenibili con l'utilizzo di materiali ad elevata riflettanza possono essere raggiunte -o superate - anche attraverso altre soluzioni, quali l'utilizzo di ventilazione sottomanto, solai ad elevata massa inerziale e superfici riflettenti su isolanti: soluzioni con "Riflettanza Equivalente".

In questo modo, il progettista ha la libertà di scegliere tra diverse soluzioni tecnologiche per coperture, in grado di soddisfare i requisiti legislativi e migliorare le prestazioni dell'edificio e il comfort degli occupanti.

## Riferimenti

- [1] Di Giuseppe E, D’Orazio M, Di Perna C, et al (2017) Riflettanza e Solar Reflectance Index (SRI) di manti per coperture in laterizio. Contesto normativo, modalità di caratterizzazione, efficacia. Laterservice Edizioni
- [2] De With G, Cherry N, Haig J (2009) Thermal Benefits of Tiled Roofs with Above-sheathing Ventilation. *J Build Phys* 33:171–194. doi: 10.1177/1744259109105238
- [3] D’Orazio M, Di Giuseppe E, Di Perna C, Cozzolino N (2018) Una “riflettanza equivalente” per coperture ventilate in laterizio. *Costruire in Laterizio* 177:76–91
- [4] D’Orazio M, Stazi A, Di Perna C, Di Giuseppe E (2011) The physics of vented roofs in hot and temperate climates: Analysis of different strategies for the reduction of energy consumption and the improvement of environmental comfort. *Energy Build. Effic. Air Qual. Conserv.* 349–368
- [5] D’Orazio M, Di Perna C, Di Giuseppe E, et al (2010) The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates. *Energy Build* 42:1619–1627. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.04.004
- [6] D’Orazio M, Di Perna C, Di Giuseppe E (2014) Experimental operating cell temperature assessment of BIPV with different installation configurations on roofs under Mediterranean climate. *Renew Energy* 68:378–396. doi: 10.1016/j.renene.2014.02.009

# Riflettanza “equivalente” di coperture in laterizio

Valutazione dei benefici sul raffrescamento degli edifici  
e sull'isola di calore urbana

M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, N. Cozzolino,  
R. Allen, A. Di Fusco, G. D'Anna

# “Equivalent” reflectance of tiled pitched roofs

Assessment of benefits for cooling buildings  
and Urban Heat Island

M. D’Orazio, E. Di Giuseppe, N. Cozzolino,  
R. Allen, A. Di Fusco, G. D’Anna

## References

- [1] Di Giuseppe E, D'Orazio M, Di Perna C, et al (2017) Riflettanza e Solar Reflectance Index (SRI) di manti per coperture in laterizio. Contesultato normativo, modalità di caratterizzazione, efficacia. Later Service Edizioni
- [2] DeWitt G, Cherry N, Haig J (2009) Thermal Benefits of Tiled Roofs with Above-Sheathing Ventilation. J Build Phys 33:171-194 . doi: 10.1177/1744259109105238
- [3] D'Orazio M, Di Giuseppe E, Di Perna C, Cozzolino N (2018) Una "riflettanza equivalente" per coperture ventilate in laterizio. Costruire in Laterizio 177:76-91
- [4] D'Orazio M, Stazi A, Di Perna C, Di Giuseppe E (2011) The physics of ventilated roofs in hot and temperate climates: Analysis of different strategies for the reduction of energy consumption and the improvement of environmental comfort. Energy Build. Effic. Air Qual. Conserv. 349-368
- [5] D'Orazio M, Di Perna C, Di Giuseppe E, et al (2010) The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates. Energy Build 42:1619-1627. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.04.004
- [6] D'Orazio M, Di Perna C, Di Giuseppe E (2014) Experimental operating cell temperature assessment of BIPV with different installation configurations on roofs under Mediterranean climate. Renew Energy 68:378-396. doi: 10.1016/j.renene.2014.02.009

The current legislation in DM 26\_06\_2015 referring to roof systems is intended to reduce both the cooling energy needs of a building and the local Urban Heat Island effect. It is not a mandatory requirement to use materials with a  $TSR > 0.3$  to achieve these improvements - despite this value being specifically mentioned in the legislation. Instead, the designer is only required to perform a cost/benefit analysis of the roof construction to justify their proposed implementation. This acknowledges the fact that a roof covering with a high TSR is not the only solution and, in some cases, it is neither necessary nor desirable.

Two complementary calculation methods have been presented which can be used to assist with this analysis; one focussing on the reduction in cooling energy and the other on the reduction of the UHI effect.

Both indicate that the benefit of a roof construction is not solely based upon the TSR of the outer surface. Consideration must be given to the behaviour of a roof as a system, and to the effective increases in a standard TSR that can be provided - or even exceeded - by means of reflective surfaces, ventilation and thermal mass: an "Equivalent Reflectance" value.

In this way the designer has the freedom to choose any roofing material and construction and has the means by which they can satisfy legislative requirements as well as improve the performance of the building and the comfort of the occupants.

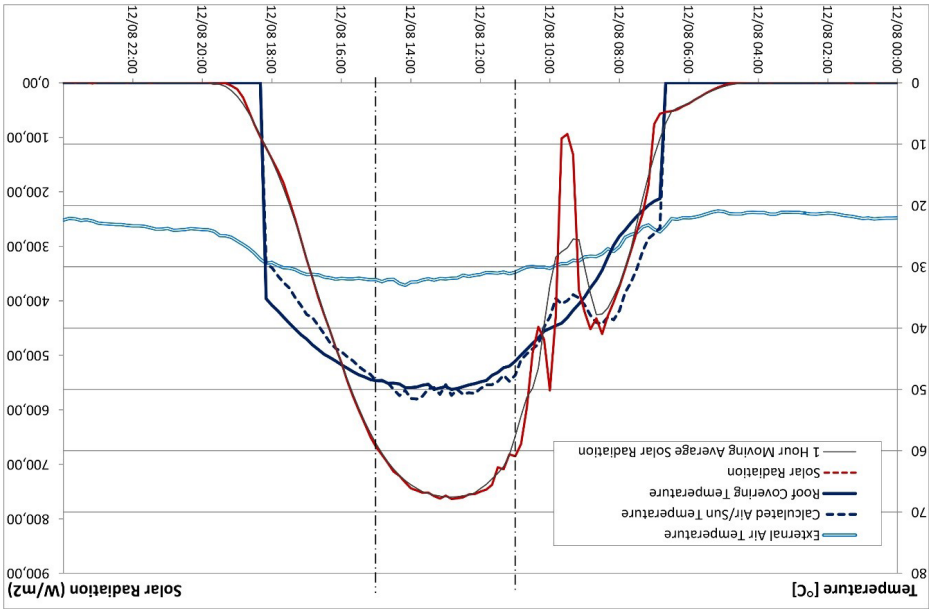


Figure B.1 Temperatures recorded in the reference ventilated roof, the calculated sol-air temperature and the external climate during a summer day.

By applying the procedure to all the roof types in the different case studies, the frequency distribution of Re was obtained for each roof. The deviation in assuming the Re median values for the roof over the whole monitoring period was estimated to be always less than 6.5%, thus indicating a high accuracy of the method.



## Box B – Further details on calculation method 2

Using the climatic and thermal data from the roofs presented in Figure 2 (surface temperatures and heat flows) and equation 1, it is possible to adjust the solar absorptance of the roof surface,  $\alpha$ , until the predicted sol-air temperature ( $T_{as}$ ) matches the measured value on the roof covering ( $T_c$ ). This value of  $\alpha$  expresses the opposite of the Equivalent Reflectance; i.e.,  $Re = 1 - \alpha$ .

$$T_c = T_e + \frac{h_e}{1 - Re} \left( T_{as} - T_e \right) - \frac{F_{r, e}}{h_r * \Delta\theta_e} h_e \quad (1)$$

The equation relates the following external climatic values with the sol-air temperature of the covering ( $T_{as}$ ): measured solar radiation ( $I$ ), measured external air temperature ( $T_e$ ), surface heat exchange coefficient (convective  $h_c$  + radiative  $h_r = h_e$ ), form factor between the roof and the sky ( $F_r$ ) (UNI/TS 11300-1: 2014), difference between outdoor air temperature and equivalent sky temperature ( $\Delta\theta_e$ ) considered equal to 11°C (UNI EN ISO 13790: 2008). The derived value for  $\alpha$  can be easily converted to an Equivalent Reflectance,  $Re$ , as  $Re = 1 - \alpha$ .

The  $Re$  values for the monitored roof constructions were calculated under the following conditions:

- External temperatures and solar radiation typical of Italian summer days;
- During a specific time-frame (11:00 am – 3:00 pm) and with the solar radiation greater than 500 W/m<sup>2</sup>, to take into account the higher covering temperatures.

An example of the comparison between measured roof covering temperature and calculated sol-air temperature for one of the monitored roofs (reference ventilated roof H6) is shown in figure B.1. Measured and calculated data are comparable with an acceptable degree of accuracy.

Note that the Equivalent Reflectance results from this Method are not directly comparable with those from Method 1 as Method 1 considers the whole roof construction to calculate the heat flow into the building (impact on indoor comfort and cooling energy consumption), whereas Method 2 focusses on the upper part of the roof construction to calculate the roof surface temperature (impact on UHI).

Figure 3 Empirical correlation curves between  $R_e$  and  $R_m$  values of ventilated roofs.

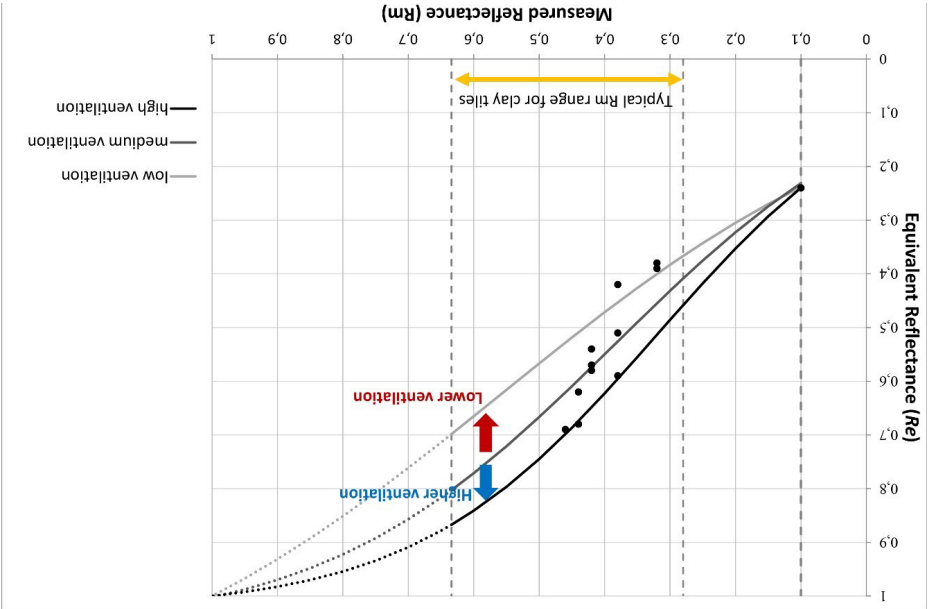
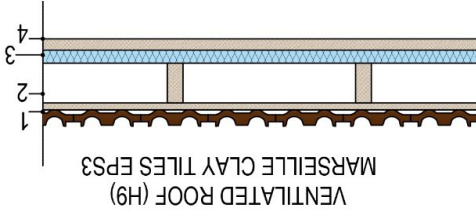


Table 2 Re values obtained compared with the values of Rm for the monitored roofs.

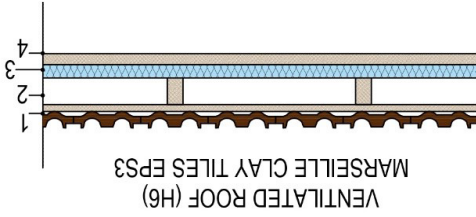
Roof typology	Roof ventilation level	Measured Reflectance	Equivalent Reflectance
Ventilated roof H13 clay tiles	low	0.38	0.40
Ventilated roof H13 clay tiles	low	0.42	0.54
Ventilated roof H6 copper	medium	0.32	0.38
Ventilated roof H6 clay tiles	medium	0.38	0.52
Reference ventilated roof (H6)	medium	0.42	0.57
Ventilated roof H6 Marseille clay tiles	medium	0.44	0.66
Ventilated roof H5 clay tiles	medium	0.46	0.69
Ventilated roof H9 clay tiles	high	0.38	0.60
Ventilated roof H9 Marseille clay tiles	high	0.44	0.68

The greater the level of ventilation, the greater the benefit in terms of a reduction in covering temperature. This is shown in figure 3 where empirical correlation curves are drawn between the median values of Re and the Rm values of pitched ventilated roofs. Given the reflectance values of the covering material, in presence of ventilation gaps, a useful indication is given on the Equivalent Reflectance of the entire roof covering and, consequently, the benefits obtainable for the UHI effect.

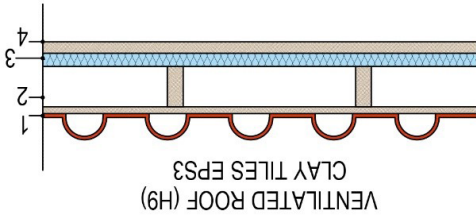
Figure 2 Description and images of the roofs subject to thermal and climatic monitoring in Italy.



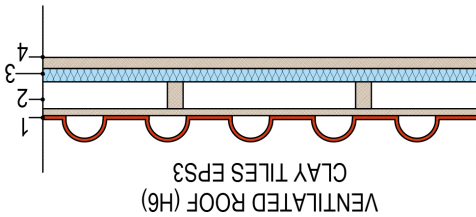
MATERIAL	THICKNESS (m)
Marseille Clay Tiles	0,090
Ventilated batten space	0,030
Insulation (EPS)	0,030
Wood Paneling	0,030



MATERIAL	THICKNESS (m)
Marseille Clay Tiles	0,060
Ventilated batten space	0,030
Insulation (EPS)	0,030
Wood Paneling	0,030

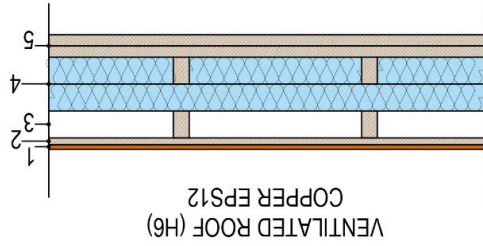


MATERIAL	THICKNESS (m)
Clay Tiles	0,090
Ventilated batten space	0,030
Insulation (EPS)	0,030
Wood Paneling	0,030

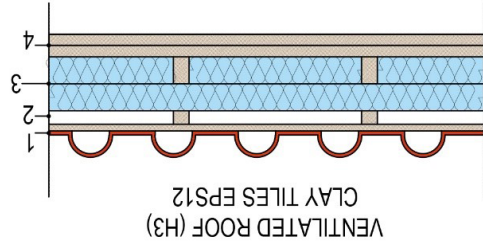


MATERIAL	THICKNESS (m)
Clay Tiles	0,060
Ventilated batten space	0,030
Insulation (EPS)	0,030
Wood Paneling	0,030

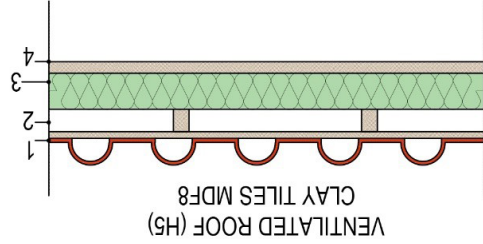
It can be seen from the results in table 2, expressed in terms of  $R_e$  compared with the measured reflectance for the monitored roof coverings ( $R_m$ ), that by accounting for the benefit of ventilation below the tiles it is possible to significantly increase the equivalent reflectance of a roof covering above its standard TSR value.



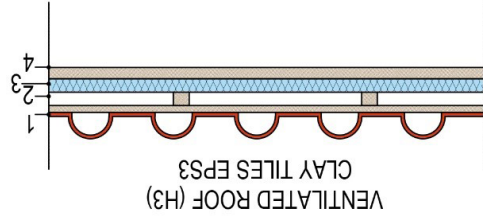
MATERIAL	THICKNESS (m)
Copper	0,001
OSB board	0,015
Ventilated EPS12	0,060
batten space	0,060
Insulation (EPS)	0,120
Fir Wood	0,050



MATERIAL	THICKNESS (m)
Clay Tiles	0,030
Ventilated EPS12	0,300
batten space	0,120
Insulation (EPS)	0,120
Fir Wood	0,050



MATERIAL	THICKNESS (m)
Clay Tiles	0,050
Ventilated MDF8	0,050
batten space	0,080
Insulation (Wood Fiber)	0,080
Fir Wood	0,050



MATERIAL	THICKNESS (m)
Clay Tiles	0,030
Ventilated EPS3	0,030
batten space	0,030
Insulation (EPS)	0,030
Wood Panelling	0,030

# Tiled pitched roofs and Urban Heat Island: an empirical method for the assessment of the impact of tiled pitched roofs on covering temperature

The method described below aims to evaluate the benefit of ventilation below and between the tiles in terms of the how it can effectively increase the TSR of the roof covering. It is based on the interpretation of field measurements on different roof systems under real weather conditions<sup>3</sup>.

The climatic and thermal data collected on the roofs were used to calculate the Equivalent Reflectance for a particular roof covering which would allow the calculated covering temperature from the sol-air temperature equation to match the measured value. Details of the calculation methodology are provided in Box B and in [3].

The Equivalent Reflectance value represents the ability of a ventilated clay covering to limit the temperatures reached when subjected to high solar irradiation. This enhanced performance is due to the interaction between the thermal properties of the component materials and the construction of a ventilated clay roof; i.e. the presence of ventilation below and between discontinuous elements (tiles), as well as the thermal (conductivity and thermal capacity) and optical properties that characterize clay tiles.

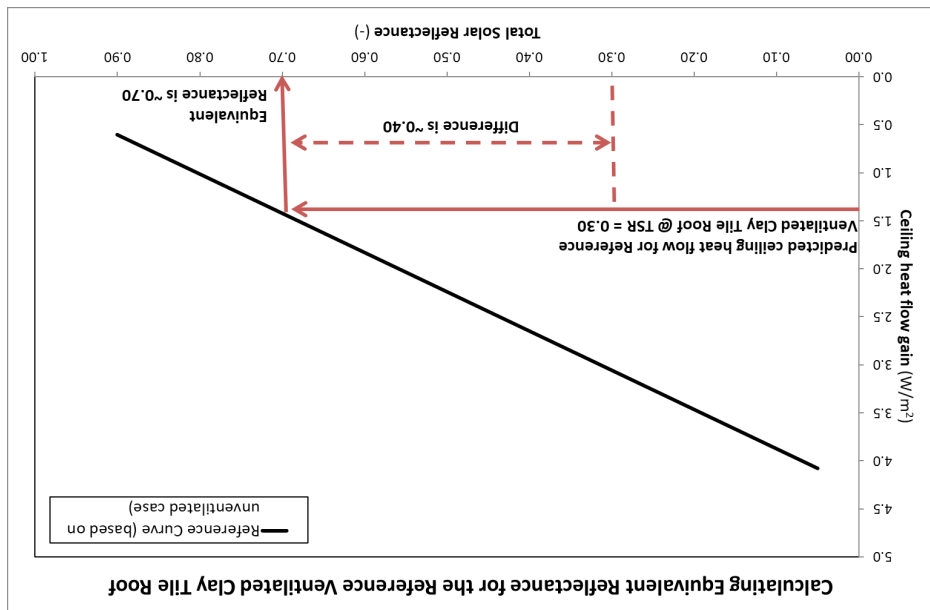
The characteristics of the monitored roofs, for which the value of  $R_e$  was obtained, are described below and in figure 2. These are supplemented by the reference ventilated roof (H6) described previously.

- Ventilated Roof (H6), copper, EPS12: copper sheet; 1,5 cm OSB; 6 cm ventilated batten space; 12 cm EPS; 5 cm wood deck;
- Ventilated Roof (H3), clay tiles, EPS12: clay tiles; 3 cm ventilated batten space; 12 cm EPS; 5 cm wood deck;
- Ventilated Roof (H5), clay tiles, MDF8: clay tiles; 5 cm ventilated batten space; 8 cm wood fiber; 5 cm wood deck;
- Ventilated Roof (H3), clay tiles, EPS3: clay tiles; 3 cm ventilated batten space; 3 cm EPS; 3 cm wood deck;
- Ventilated Roof (H6), clay tiles, EPS3: as previous one, but with 6 cm ventilated batten space;
- Ventilated Roof (H9), clay tiles, EPS3: as previous one, but with 9 cm ventilated batten space;
- Ventilated Roof (H6), marselle clay tiles, EPS3: marselle clay tiles; 6 cm ventilated batten space; 3 cm EPS; 3 cm wood deck;
- Ventilated Roof (H9), marselle clay tiles, EPS3: as previous one, but with 9 cm ventilated batten space.

<sup>3</sup> Monitoring carried out by the Civil Building Engineering and Architecture Department of the Università Politecnica delle Marche, Italy [4-6].

This reference curve was then used to convert the predicted ceiling heat flows for the other constructions into an "Equivalent Reflectance" for that construction; i.e. the TSR other constructions into an "Equivalent Reflectance" for that construction to achieve the same level of performance as the other roofing system modelled. For compatibility with the calibration results only the predicted results for August are presented here; however, they are comparable with the averages for the whole summer (June, July, August).

Figure A.2 Reference curve for the quantification of the "Equivalent Reflectance" of roofs, in terms of impact on incoming heat flows



## Box A – Further details on calculation method 1

The roof model in the Monier Roof Physics Software [2] was calibrated against the experimental data collected on the two roof reference systems presented previously: an un-ventilated roof and a ventilated clay tile roof (figure 1). Heat flow measured through the ceiling during August 2009 was compared with the simulated heat flow and the results are shown in figure A.1.

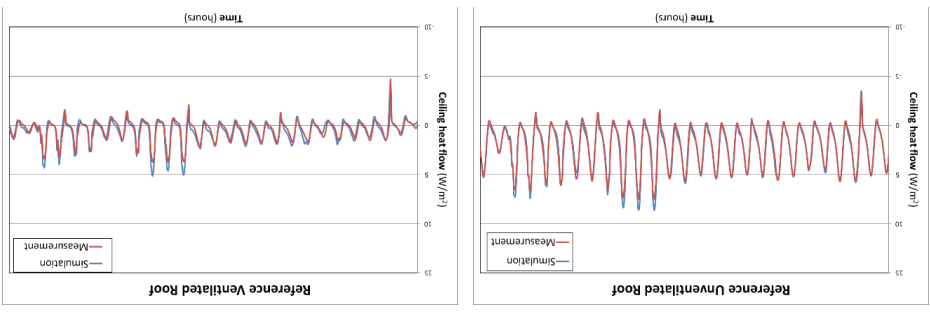


Figure A.1 Heat flows through the ceilings, comparison between monitored and simulated data.

A good level of agreement between the datasets for both constructions indicated that the software could be used to model similar roof constructions with a high degree of confidence. Therefore, it was possible to extend the range of constructions that could be assessed beyond the available field measurements dataset.  
 First, the unventilated reference construction was simulated over a range of covering TSR values using standardised external summer climate data for Ancona and a fixed internal temperature of 26°C. Then, the average heat flow through the ceiling during August was plotted against the TSR to create a reference curve (figure A.2).



Roof typology	Roof cooling strategy	Reflectance
Reference unventilated roof	-	Covering Reflectance
		0.1 0.20 <b>0.30</b> 0.40 0.42
Reference ventilated roof	Ventilation	0.62 0.66 <b>0.70</b> 0.74 0.75
	Ventilation Reflective barrier	0.70 0.73 <b>0.76</b> 0.79 0.80
Solution A	Ventilation Reflective barrier	0.79 0.86 0.86 0.86
	Ventilation Thermal mass	0.79 0.81 <b>0.84</b> 0.86 0.86
Solution B	Ventilation Thermal mass	0.78 0.81 <b>0.83</b> 0.85 0.86
	Thermal mass	0.78 0.81 0.81 0.86
Solution C	Thermal mass	0.78 0.81 0.81 0.86

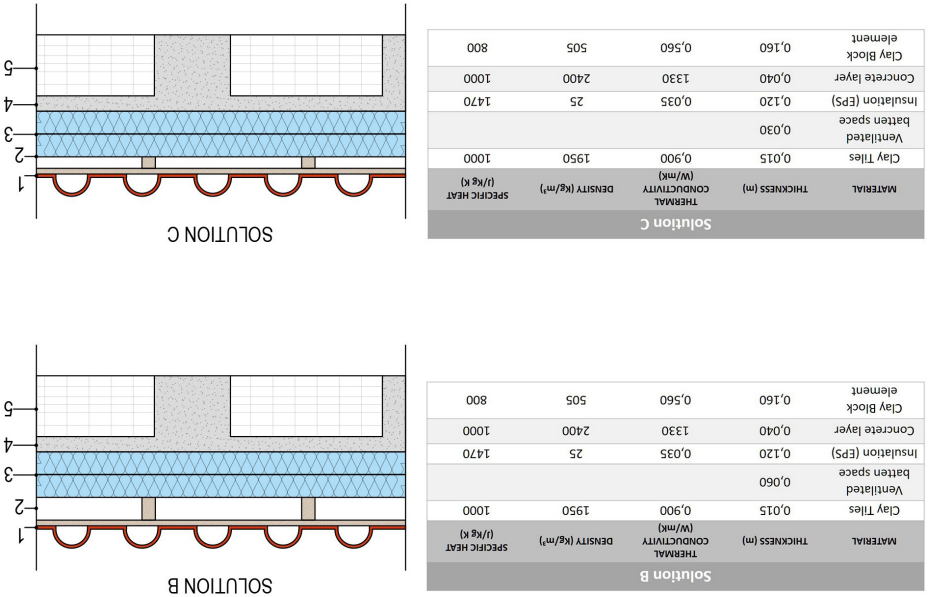
Table 1 Correspondence between the values of "Equivalent Reflectance" for the different simulated roofs (a TSR of 0.42 represents the clay tile value from the test roof measurements used to calibrate the computational model).

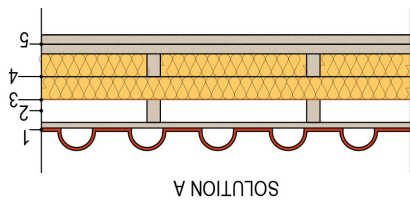
These results indicate that the greatest benefit, in terms of reduction of the incoming heat flux, comes from increased thermal mass, followed by a radiant barrier with a ventilated batten space and, finally, ventilating the batten space alone. It can also be seen that the benefit of the whole roof system gives Equivalent Reflectance values far exceeding the nominal TSR values. For example, because of the different passive cooling strategies present, a basic tile roof with a TSR of 0.1 still provides an Equivalent Reflectance of more than double the minimum TSR specified in the legislation at 0.62. This method could also be used to compare roofing systems over an entire year, as some measures may have a detrimental effect in winter by reducing the beneficial solar gain and, therefore, increasing the heating load.

The predicted results for all constructions are given in table 1 in terms of Equivalent Reflectance. For example, compared with the unventilated reference roof with a TSR of the covering of 0.3 (the minimum value specified in the legislation), the Equivalent Reflectance for:

- reference ventilated clay tile roof is approximately 0.7;
- solution A is approximately 0.76;
- solution B is approximately 0.84;
- solution C is approximately 0.83.

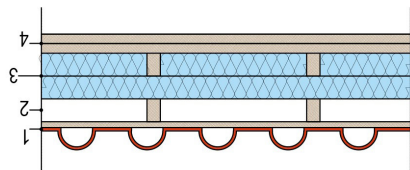
Figure 1 Analyzed roof constructions, thermophysical data of the materials composing the layers.





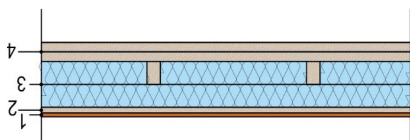
SOLUTION A

MATERIAL	THICKNESS (m)	THERMAL CONDUCTIVITY (W/mk)	DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )	SPECIFIC HEAT (J/kg K)
Clay Tiles	0,015	0,900	1950	1000
Ventilated batten space	0,060			
Reflective underlay	0,001	0,300	960	1400
Insulation (MW)	0,120	0,035	12	1030
Fir wood	0,050	0,120	550	1400



REFERENCE VENTILATED ROOF

MATERIAL	THICKNESS (m)	THERMAL CONDUCTIVITY (W/mk)	DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )	SPECIFIC HEAT (J/kg K)
Clay Tiles	0,015	0,900	1950	1000
Ventilated batten space	0,060			
Insulation (EPS)	0,120	0,035	25	1470
Fir wood	0,050	0,120	550	1400



REFERENCE UNVENTILATED ROOF

MATERIAL	THICKNESS (m)	THERMAL CONDUCTIVITY (W/mk)	DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )	SPECIFIC HEAT (J/kg K)
Copper covering	0,001	380000	8900	382
Synthetic elastomeric compounds	0,003			
OSB board	0,015	0,130	630	1600
Insulation EPS	0,120	0,035	25	1470
Fir wood	0,050	0,120	550	1400

## Tiled pitched roofs and internal comfort: an analytical approach for the assessment of the impact of tiled pitched roofs on cooling energy savings and occupant comfort

In this section the methodology and the calculated results allow the designer to quantify the benefits, in terms of reducing summer heat gain through the ceiling, of a passive roofing system (i.e. ventilation, reflectivity and thermal mass) compared with only considering the Total Solar Reflectance (TSR) of the uppermost surface. This benefit can be considered as the Equivalent Reflectance (Re) of the whole roof system.

Equivalent Reflectance was calculated using an existing computational roof model for five different roof constructions with the same level of insulation but with alternative technological solutions (ventilation, reflective surfaces and thermal mass) intended to lower the amount of heat entering the living space. The calculation procedure consists of simulating different values of TSR on an unventilated roof with a continuous covering and a "light" slab (reference roof), to create a relationship between TSR and the heat flow entering the building in summer. This relationship is then used to convert the simulated heat flow for the four alternative roof constructions into an Equivalent Reflectance. Details of the calculation methodology are provided in Box A.

- The features of the roof constructions are given below and in figure 1:
1. Reference unventilated roof: copper sheet; 1,5cm OSB; 12cm EPS 035; 5cm wood deck;
  2. Reference ventilated clay tile roof: clay tiles; 6cm ventilated batten space; 12cm EPS 035; 5cm wood deck;
  3. Solution A: as ventilated clay tile roof + radiant barrier on insulation, EPS 035 replaced with 12cm mineral wool 035;
  4. Solution B: as ventilated clay tile roof, wooden deck replaced with 20cm concrete deck;
  5. Solution C: as Proposal B, micro-ventilated batten space (counter-battens removed).



materials, and consequently their effectiveness, is reduced over time due to aging, atmospheric deterioration, dust and microorganisms. From a designer's perspective, there are other ways to lower the temperature of the outer surface based, for example, on ventilation and the inertial mass of the building envelope.

The legislation intends for the designer to consider a variety of construction technologies alongside the existing architectural and technical constraints; however the legislation, whilst promoting all passive cooling solutions in general, also mentions high reflectivity surfaces specifically. The risk therefore is that the designer, when faced with such complexity, believes their only choice is to select materials with high Total Solar Reflectance rather than evaluating alternative sustainable and durable strategies that exploit passive cooling [1].

In this handbook two complementary methods to calculate a roof's "Equivalent Reflectance" (Re) are presented; i.e. the capacity of the roof construction to reduce the heat entering the building to improve the internal comfort (first method) or to limit the UHI (second method). These methods can be used as part of the cost / benefit assessment described in the legislation. Reference values of the Equivalent Reflectance are also provided for different roof types commonly used in Italy.

The first method is based on computer models validated against field measurements. It calculates the overall reduction in cooling energy requirement based on the performance of the entire roof construction, considering several factors based on design and material properties, thereby improving occupant comfort.

The second method is based on an empirical model devised from field measurements. It calculates the reduction in roof covering temperature due to above-sheathing ventilation, thereby reducing the UHI.

Both methods show that considering TSR alone is not an adequate representation of the performance of a roof. The improvements obtained with other strategies are expressed in terms of an Equivalent Reflectance, a derived empirical index which can then be used directly in the assessment required by the legislation.

<sup>2</sup> Mitigating the UHI effect by using passive strategies and reflective materials as part of the building envelope is addressed in D.M. 28.12.2015 - known as "CAM" (minimum environmental criteria) - and in environmental certification protocols, such as LEED and ITACA, which are among the most widespread in Italy. An in-depth analysis on this topic is reported in [1].

In 2015, the Italian Ministry of Economic Development issued Decree 26\_06\_2015 on "Applying methods of calculation of energy performance, definition of requirements and minimum requirements for buildings";

This is a complex document which updates several aspects of building design. Among the most important innovations there is the introduction of constraints related to the performance of the building in the summer, aiming to reduce the cooling energy requirements and to limit the warming of urban areas (the so-called "Urban Heat Island" effect, or UHI);

A significant amount of the heat exchanged between the inside of a building and the external environment is via the roof. The construction of the entire roof system has a crucial role to play in how much of that energy is transferred from the roof covering into the living space and to the surrounding air.

To take this into consideration, the new legislation requires that the building designer performs a cost / benefit analysis to evaluate what measures are necessary to achieve a reduction in cooling energy consumption and a reduction in localized warming. The designer is requested to consider the effectiveness of a minimum value for Total Solar Reflectance (TSR) for any material used on the outer surface (0.3 for pitched roofs) and the use of passive cooling technologies.

As the requirement on TSR is not mandatory, the designer is free to consider a range of pitched roofing solutions and is not limited to high reflectance materials for the outer roof surface. Indeed, a highly reflective outer layer is not always the best solution when considering factors such as the local climate, aesthetics or meeting local architectural and landscape constraints. Concerning indoor comfort, for example, whilst reflecting away solar energy is beneficial during the summer months this is not the case during the winter months, where the additional heat ("solar gain") is beneficial and can reduce winter heating energy costs. Improved summer comfort for building occupants, and consequently a reduction of summer air conditioning, can already be achieved using existing "cool roof" technologies; i.e. specifying the correct amount of thermal mass and insulation according to Italian legislation, the use of reflective membranes below the tiles, and sufficient ventilation between the tiles and the membrane.

In terms of reducing the UHI effect, "cool" materials can be used to reflect away more of solar energy, thereby lowering the temperature of the outer surface and the overall amount of energy stored in the local environment<sup>2</sup>. However, the reflectance of these

<sup>1</sup> Specifically, Annex 1 "General criteria and requirements for the energy performance of buildings" of Ministerial Decree 26.06.2015 highlights the following point in section 2.3: "In order to limit the energy requirements for summer air conditioning and to contain the internal temperature of the rooms, as well as limiting the overheating on an urban scale, for the roofing structures of buildings it is mandatory to verify the effectiveness, in terms of cost-benefit ratio, of the use of: (a) materials with high solar reflectance for roofs (cool roof), assuming for them a solar reflectance value not lower than: 0.65 in the case of flat roofs; 0.30 in the case of pitched roofing; (b) a passive air-conditioning technologies (by way of example and not exhaustively: ventilation, green roofing).

# Contents

10	Introduction
13	Tiled pitched roofs and internal comfort: an analytical approach for the assessment of the impact of tiled pitched roofs on cooling energy savings and occupant comfort
19	Tiled pitched roofs and Urban Heat Island: an empirical method for the assessment of the impact of tiled pitched roofs on covering temperature
26	Conclusions
27	References







Ministerial Decree 26.06.2015 "Minimum Requirements" requires the designer to evaluate the effectiveness of technological solutions for building roofs in limiting energy requirements for summer air conditioning and the Urban Heat Island effect. The evaluation is in the form of a cost-benefit analysis.

The legislation intends for the designer to consider a variety of construction technologies alongside the existing architectural and technical constraints; however the legislation, whilst promoting all passive cooling solutions in general, also mentions high reflectivity surfaces specifically. The risk therefore is that the designer, when faced with such complexity, believes their only choice is to select materials with high Total Solar Reflectance rather than evaluating alternative sustainable and durable strategies that exploit passive cooling.

This manual, the result of research activity conducted by ANDIL, DICEA of the Università Politecnica delle Marche and BMI Technical Centre, presents two complementary methods for calculating the "Equivalent Reflectance" of roofs; i.e. their ability to reduce the summer heat entering the building or to limit urban overheating. These methods, and the Equivalent Reflectance values obtained for different roof construction types, can be used by the designer as an integral and compliant part of the evaluation required in the legislation.

The results of the research show that considering reflectance of the covering alone does not guarantee an adequate representation of the performance of a roof. In fact there are considerable benefits provided by other solutions, such as a correct balance between thermal insulation and inertial mass, the use of reflective membranes below the tiles and ventilation beneath and through the tiles.

a cura di

M. D'Orazio\*

E. Di Giuseppe\*\*

N. Cozzolino\*\*

R. Allen\*\*\*

A. Di Fusco\*

G. D'Anna\*

ANDIL \*

Università Politecnica delle Marche, Dip.DICEA\*\*,  
BMI Technical Centre \*\*\*

TUTTI I DIRITTI RISERVATI @ 2019

# “Equivalent” reflectance of tiled pitched roofs

Assessment of benefits for cooling buildings  
and Urban Heat Island

ANDIL

Università Politecnica delle Marche





In copertina

Foster+Partners

Nuovo padiglione per il vino

Chateau Margaux, Bordeaux - Francia

Foto: Nigel Young (Costruire in Laterizio 168)

©2019 LaterService Edizioni!

Stampa: CSR – Roma, gennaio 2019

ISBN 9788890527135

Tutti i diritti riservati

All rights reserved

Nessuna parte del presente fascicolo, testi ed immagini, può

essere riprodotta in qualsiasi forma, in assenza di autorizzazione

da parte di LaterService Srl.

No part of this booklet, texts and images, may be reproduced in  
any form, without prior written permission of LaterService Srl.

Graphic Design: Mattia Pavanello



# “Equivalent” reflectance of tiled pitched roofs

Assessment of benefits for cooling buildings  
and Urban Heat Island



M. D'Orazio, E. Di Giuseppe, N. Cozzolino,  
R. Allen, A. Di Fusco, G. D'Anna