



EDIZIONI LATERSERVICE

**RIFLETTANZA E *SOLAR*
REFLECTANCE INDEX "SRI"
DI MANTI PER COPERTURE IN
LATERIZIO**

Contesto normativo, modalità di caratterizzazione, efficacia

E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, C. Di Perna, A. Frattesi, R. Gulino

In copertina

KIRKLAND FRASER MOOR

Country House

Ockington Gloucestershire, Gran Bretagna

Courtesy of David Kirkland

©2017 Laterservice Edizioni

[Editore Gruppo Tecniche Nuove]

2^a ristampa

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: Marina Bassi

RIFLETTANZA E *SOLAR REFLECTANCE INDEX* “*SRI*”
DI MANTI PER COPERTURE IN LATERIZIO

Contesto normativo, modalità di caratterizzazione, efficacia

a cura di

Elisa Di Giuseppe**

Marco D'Orazio**

Costanzo Di Perna***

Alessandro Frattesi

Rosario Gulino*

*ANDIL **

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

TUTTI I DIRITTI RISERVATI @ 2017

Il presente manuale è il risultato di una collaborazione tra l'ANDIL ed i Dipartimenti DICEA e DIISM dell'UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE, nel progetto di ricerca 'determinazione dell'influenza delle proprietà termofisiche dei materiali del manto sul fenomeno isola di calore e sulle condizioni ambientali interne di comfort di ambienti sottotetto', volto alla determinazione dei valori di riflettanza e del Solar Reflectance Index (SRI) dei manti di coperture in "laterizio", rispettivamente ai sensi del D.M. 26/06/2015 "requisiti minimi" e del D.M. 24/12/2015 "Criteri Ambientali Minimi (CAM)". La ricerca ha avuto lo scopo di quantificare le prestazioni delle coperture discontinue in "cotto" nel limitare il fenomeno dell'isola di calore urbana e di fornire valori di calcolo utili ai progettisti tanto per la riflettanza (considerando anche gli effetti della ventilazione) quanto per l'SRI. Le soluzioni indicate e gli esempi forniti non sono ovviamente gli unici possibili, ma quelli ritenuti di più facile e generalizzabile applicazione nell'ambito di un manuale che si propone di fornire indicazioni di massima per diverse tipologie di prodotti per copertura in laterizio.



INDICE

1. Premessa	9
2. Il contesto normativo	10
3. I dati disponibili in letteratura	15
4. Caratterizzazione delle proprietà radiative di coperture in laterizio di produzione nazionale	17
5. Correlazione tra colore e riflettanza	18
6. Il contributo della ventilazione in relazione alle proprietà radiative del manto	20
7. Procedura schematica per verifica riflettanza	25
8. Conclusioni	27
9. Glossario	28
10. Bibliografia	29

1. PREMESSA

Il presente manuale è stato sviluppato in seguito ad una ricerca dell'Università Politecnica delle Marche (AN) relativa alle proprietà radiative dei manti di copertura in laterizio. Il manuale ha lo scopo di fornire a progettisti, imprese, aziende produttrici, un efficace ed agevole compendio per la determinazione delle proprietà di riflettanza (R) ed emissività e, quindi, SRI (*Solar Reflectance Index*) ai fini di specifiche verifiche richieste dalla legislazione cogente e da protocolli ambientali volontari. Il manuale è stato redatto grazie alla fattiva collaborazione di numerose aziende produttrici associate ad ANDIL, che hanno fornito prodotti per coperture assicurando una copertura pari a circa l'80% della produzione nazionale complessiva di manti in laterizio (1).

Il manuale riporta informazioni sul contesto normativo e sui più importanti protocolli ambientali in materia, evidenzia i dati disponibili in letteratura e riporta i risultati di determinazioni sperimentali e valutazioni analitiche sui materiali per il manto di copertura. Il manuale infine fornisce correlazioni pratiche utili a tener conto contemporaneamente dell'effetto dell'intercapedine di ventilazione e delle proprietà ottiche dei manti, nonché a stimare i valori di riflettanza a partire da grandezze colorimetriche.

(1) Dato Centro studi ANDIL sulla base della produzione italiana di prodotti per coperture in laterizio del 2015.

2. IL CONTESTO NORMATIVO

Il tema del contenimento del surriscaldamento a scala urbana (fenomeno “isola di calore” o *Heat island Effect*) e dei consumi energetici per raffrescamento negli edifici è in Italia affrontato attraverso alcuni strumenti legislativi e protocolli di certificazione.

I primi sono provvedimenti cogenti, ovvero con carattere di obbligatorietà, e nello specifico abbiamo i Decreti Ministeriali emanati nel corso del 2015: il DM 26.06.2015 sui cosiddetti “requisiti minimi” ed il successivo DM 28.12.2015, noto anche come “CAM” (Criteri Ambientali minimi). I secondi sono provvedimenti con carattere volontario e la cui applicabilità è discrezionale. Tra questi vi sono in particolare i protocolli ambientali quali LEED® (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e ITACA (2), riferendoci a quelli di più diffuso utilizzo nel nostro paese (3) (Figura 1).

10



Figura 1. Attuale quadro normativo italiano

(2) Questo pur non avendo carattere di obbligatorietà, è comunque collegato a disposizioni regionali specifiche.

(3) Esistono altri protocolli, sviluppati in aree geografiche differenti dal nostro paese che non hanno trovato al momento, traslazioni utili ad adeguarli a differenti ambiti geografici rispetto a quelli dove sono stati sviluppati.

Il DM 26.06.2015, in particolare, è il riferimento in Italia in materia di prestazioni energetiche degli edifici e costituisce il decreto attuativo della Legge 90/2013, in prosecuzione dell'attività di recepimento della direttiva europea 2010/31/UE (EPBD Recast). Il DM 28.12.2015 costituisce invece il riferimento circa i criteri ambientali da adottare per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici e per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione.

Tali decreti riprendono, relativamente ai limiti relativi alle proprietà radiative dei materiali di finitura degli edifici, e ad altri aspetti, quanto già presente su protocolli ambientali volontari (LEED®, BREEAM, ITACA ora UNI/Pdr 13/2015). In particolare il legislatore, nel DM 26.06.2015, con lo scopo dichiarato 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”*, ha introdotto valori soglia in merito alle proprietà radiative dei materiali costituenti l'involucro edilizio.

In particolare nell'Allegato 1, § 2.3, si indica la necessità di valutare, in termini costi/benefici, l'efficacia dell'utilizzo di materiali ad elevata riflettanza solare (>0,65 per coperture piane; >0,30 per quelle a falde) o di tecnologie di climatizzazione passiva, quale la ventilazione.(4)

(4) 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).

Il recente DM 24.12.2015 recante i CAM (Criteri Ambientali Minimi) (5) per gli appalti delle Pubbliche Amministrazioni, al § 2.2.3 “Riduzione dell’impatto sul microclima e dell’inquinamento atmosferico”, riporta *“Al fine di ridurre le emissioni in atmosfera e limitare gli effetti della radiazione solare (effetto isola di calore) il progetto di nuovi edifici o la riqualificazione di edifici esistenti (...) deve prevedere (...) l’uso di materiali ad alto indice di riflessione solare (Solar Reflectance Index) per un minimo del 75% della superficie di intervento come di seguito specificato: per le superfici di copertura (es. tetti) deve essere previsto un indice SRI di almeno 29, per le coperture degli edifici con pendenza >15%, e di almeno 78 per le coperture con pendenza minore o uguale al 15%, per le superfici non di copertura (es. marciapiedi, parcheggi) un SRI minimo di 29.”*

Tali verifiche e valutazioni devono essere puntualmente documentate nella relazione tecnica di cui al § 2.2.” Se si incrocia tale testo con quanto presente sugli allegati 1,2,3 al DM 26.6.2015 (Relazione tecnica) si evidenzia l’obbligatorietà della verifica dell’efficacia, in termini di rapporti costi benefici, dell’utilizzo di materiali ad elevata riflettanza e di tecnologie di climatizzazione passiva. Si ritiene che allo stato attuale tale obbligatorietà costituisca una oggettiva difficoltà operativa per i professionisti sia per l’assenza di informazioni specifiche utili a condurre analisi di costi-benefici che a causa di alcuni aspetti problematici relativi al calcolo. Per quanto attiene l’assenza di informazioni specifiche utili a condurre analisi di costi-benefici si evidenzia che la norma europea per le procedure di analisi costi-benefici per interventi che interessano le prestazioni energetiche degli edifici è la UNI EN 15459, la quale viene espressamente richiamata anche dal D.Lgs. 102/2014 (art. 9). Questa norma contiene dati utili a valutare, con adeguate procedure di attualizzazione, i costi globali (iniziali, di esercizio, ecc.) di interventi che interessano le prestazioni energetiche degli edifici, a fronte di dati di ingresso quali la durata di vita utile dei componenti o l’incidenza percentuale dei costi di manutenzione.

Pertanto, data l’assenza di riferimenti certi relativamente a tali dati di ingresso, tanto nella norma citata che in letteratura, indispensabili per effettuare tali tipologie di analisi, è di fatto oggi estremamente difficile effettuare tali valutazioni. Per quanto attiene le problematiche relative al calcolo, si evidenzia che risulterebbe necessario fare riferimento a strumenti di calcolo adeguati a valutare prestazioni inerenti gli aspetti dinamici di tipo termico e cinetico (moto dell’aria) tipicamente connessi con il funzionamento di tali tecnologie, aspetto oggi non contemplato dalle attuali procedure di calcolo.

Al quadro normativo cogente si affiancano i protocolli volontari, frutto di studi condotti negli ultimi due decenni e comprendenti aspetti relativi ai cosiddetti *cool roofs* o più in generale *cool materials*. Essi, attraverso l'utilizzo di specifici criteri e punteggi, mirano a mitigare l'effetto "isola di calore". Il protocollo Itaca (ora Prassi di Riferimento UNI/PdR 13:2015 "*Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità*"), nel Criterio C.6 "Impatto sull'ambiente circostante", C.6.8 "Effetto Isola di Calore", prevede per le superfici pavimentate e quelle delle coperture un indice di riflessione solare (SRI) pari o superiore a: 78, per le superfici piane o con inclinazione pari o minore di 8,5°; 29, per le superfici inclinate con pendenza maggiore di 8,5°. Invece, nel protocollo LEED®(6) sono presenti 2 differenti crediti riguardo la problematica dell'isola di calore: uno per le superfici esterne, ed uno per le coperture. Per le superfici esterne, si assegna un punto se vengono rispettati specifici requisiti. In particolare si prescrive che almeno il 50% delle superfici esterne debba essere coperto da una qualche forma di ombreggiatura (piante, pannelli PV o altro) oppure che le superfici pavimentate esterne abbiano un valore di SRI superiore a 29; valore che va rispettato anche se presenti elementi architettonici di copertura esterna, o coperture di parcheggi. Nelle coperture degli edifici, invece, se è presente solo una copertura semplice, per un minimo del 75% dell'area, il materiale di finitura dovrà avere un SRI pari ai valori riportati **Figura 2**.

(5) Il "collegato ambientale" della Legge di stabilità (art. 18, comma 4 della Legge 221 del 28/12/15 - Serie Generale n. 13 della Gazzetta Ufficiale del 18/01/16) aveva già dato pienamente attivazione al Green Public Procurement (GPP), rendendo obbligatoria l'applicazione dei "Criteri Ambientali Minimi (CAM)", approvati e di futura approvazione, per il 100% del valore posto a base d'asta per le categorie di appalto con le quali si consegue l'efficienza energetica negli usi finali e, per almeno il 50%, per le altre categorie di appalto. Il D.Lgs. 50/2016 cosiddetto "Nuovo codice degli appalti pubblici" nelle more dell'art. 34 "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" prevede esplicitamente l'inserimento nella documentazione progettuale e di gara, delle specifiche tecniche e delle clausole contrattuali contenute nei CAM, specificando le varie casistiche.

$\frac{\text{Area di copertura che soddisfa il minimo SRI}}{\text{Area totale di copertura}} \cdot \frac{\text{SRI della copertura installata}}{\text{SRI richiesto}} \geq 75\%$										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TIPO DI COPERTURA</th> <th>PENDENZA</th> <th>SRI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Coperture a bassa pendenza</td> <td>≤15%</td> <td>78</td> </tr> <tr> <td>Coperture a pendenza elevata</td> <td>> 15%</td> <td>29</td> </tr> </tbody> </table>		TIPO DI COPERTURA	PENDENZA	SRI	Coperture a bassa pendenza	≤15%	78	Coperture a pendenza elevata	> 15%	29
TIPO DI COPERTURA	PENDENZA	SRI								
Coperture a bassa pendenza	≤15%	78								
Coperture a pendenza elevata	> 15%	29								

Figura 2. Valori di SRI indicati dal Protocollo LEED NC 2009 (agg.2011) Italia, riportati nella sezione “Sostenibilità del sito”, Credito 7.2 “Effetto isola di calore: coperture”

E' importante osservare che, mentre i protocolli ambientali fanno riferimento all'indice SRI che, come noto, si calcola a partire dai valori di riflettanza ed emissività dei materiali, il citato DM 26.06.2015 (requisiti minimi) fa riferimento alla sola riflettanza. Si tratta di un aspetto particolarmente problematico in quanto la temperatura superficiale che può raggiungere un corpo soggetto ad irraggiamento non dipende dal solo valore di riflettanza ma anche dalla sua emissività. Inoltre va evidenziato come i valori di riflettanza non possano considerarsi stabili nel tempo, in quanto i materiali sono soggetti a naturali fenomeni di viraggio cromatico sia per l'effetto della deposizione di sostanze esterne (formazione di patine che alterano il valore originario) che per naturali processi di invecchiamento (es. ossidazione dei materiali metallici o viraggi degli strati di finitura per presenza di leganti organici). A livello internazionale, oltre al già citato LEED[®], vi sono una serie di altri protocolli che sottolineano la necessità di porre limiti al valore SRI, soprattutto per le coperture piane o a bassa pendenza. Tra questi il protocollo ESTIDAMA (Emirati Arabi), il quale prescrive un sistema basato sul rating (Pearl System) dove la soglia di SRI viene fissata a 29 per tutte le superfici degli elementi esterni, e la certificazione HK BEAM PLUS, in vigore a Hong Kong, la quale al Site

(6) Protocollo internazionale che nell'ambito dell'area tematica Site Sustainability (Credits 7.1 e 7.2) fissa soglie di SRI che diventano più stringenti se il tetto è a bassa pendenza; per superfici esterne (marciapiedi, parcheggi, ecc.): SRI ≥ 29; tetto a bassa pendenza: SRI ≥ 78; tetto ad elevata pendenza: SRI ≥ 29.

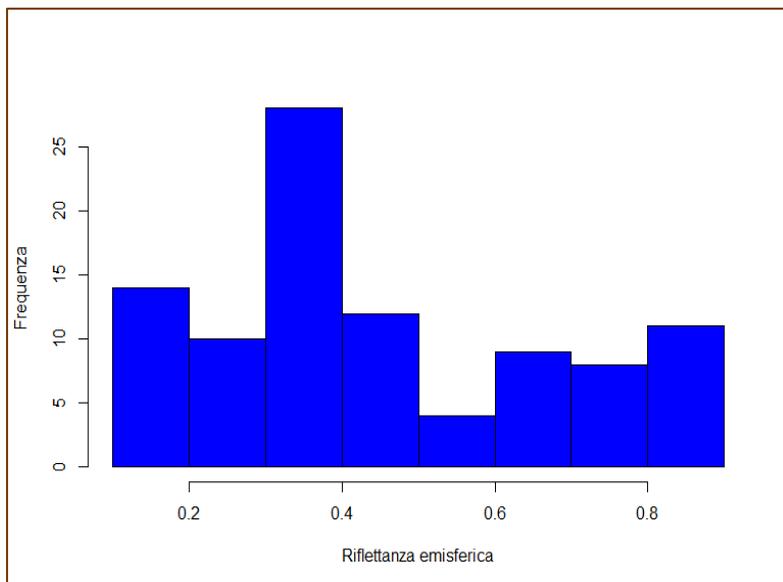
Aspect (SA) “Microclimate around Buildings” premia l’utilizzo di materiali per pavimentazioni con elevata albedo (7) (almeno 0,4), e materiali per coperture con SRI ≥ 78 (questi devono ricoprire almeno il 50% della superficie complessiva della copertura).

3. I DATI DISPONIBILI IN LETTERATURA

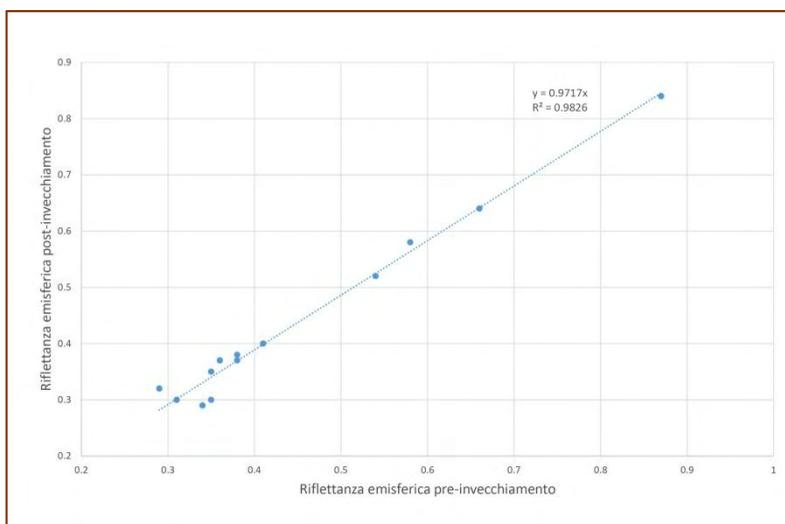
Moltissimi studi sono stati condotti in letteratura sui cool roof materials, cioè quei materiali capaci di mantenere temperature relativamente basse anche se soggetti a carichi radiativi significativi. Grazie a tali studi è stato possibile effettuare una rassegna delle proprietà radiative dei prodotti comunemente utilizzati per i manti di copertura. Nella **Figura 3** si riporta il quadro dei dati disponibili in letteratura relativamente alle proprietà radiative delle tegole in laterizio. Il grafico in alto (a) in particolare riporta la distribuzione di frequenza di circa 100 valori di riflettanza (R) di tegole/coppi in laterizio. E’ possibile osservare come, anche per via degli ingobbi utilizzati, le riflettanze dei manti di copertura siano comprese in un range molto ampio di valori, comprendendo anche valori assimilabili a quelli tipici dei cool roofs.

Il grafico in basso (b) invece riporta, per quei prodotti per i quali erano disponibili tali informazioni, la correlazione tra i valori di riflettanza, pre e post invecchiamento. E’ possibile osservare come l’invecchiamento determini una riduzione dei valori di riflettanza mediamente del 3%.

(7) *L'albedo di una superficie è la frazione di radiazione incidente che viene riflessa. Se la parola albedo viene usata senza ulteriori specifiche, si intende la frazione riflessa dell'irradiazione solare ($\lambda < 2,5\mu\text{m}$). In tal caso, l'albedo coincide con la riflettanza solare. Assume valori da 0 ad 1 (in percentuale dallo 0 al 100%). Una albedo pari a 1, ossia del 100%, indica che tutta l'energia incidente è riflessa verso l'atmosfera.*



(a)



(b)

Figura 3. In alto (a): Proprietà radiative di tegole in laterizio disponibili in letteratura. In basso (b): correlazione tra valori di riflettanza pre e post invecchiamento. I valori sono stati ricavati dall'analisi degli studi sperimentali condotti a livello internazionale su tali tipologie di materiali negli ultimi 20 anni. Gli studi di riferimento sono citati in bibliografia

4. CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETÀ RADIATIVE DI COPERTURE IN LATERIZIO DI PRODUZIONE NAZIONALE

La caratterizzazione delle proprietà radiative è stata effettuata su campioni rappresentativi di tegole/coppi in laterizio a diversa colorazione, con e senza ingobbio, a confronto con materiali cementizi, ceramici e metallici. La **Tabella 1** riporta i dati ricavati di colore (coordinate CIE-Lab(8)), riflettanza, emissività e SRI.

ID.	COORDINATE CIE-Lab			RIFLETTANZA	EMISSIVITÀ	SRI
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	ρ	ϵ	-
1	56.778	20.054	28.194	47	0.9	55
2	48.482	19.974	23.792	38	0.9	43
9	48.698	20.876	20.91	41	0.9	46
10	49.79	21.354	23.994	40	0.9	45
11	42.94	13.458	15.264	34	0.9	37
12	43.912	5.96	10.596	29	0.9	30
13	56.326	10.396	16.708	44	0.9	50
14	68.504	9.294	27.36	55	0.9	65
15	57.078	6.338	22.076	39	0.9	44
16	52.028	24.678	28.304	45	0.9	51
17	57.672	18.174	20.454	48	0.9	55
18	48.766	9.412	14.64	35	0.9	39
19	66.304	7.202	21.402	52	0.9	61
20	52.48	18.482	20.642	44	0.9	50
21	57.568	15.626	20.77	46	0.9	53
22	75.68	6.886	22.532	63	0.9	76
23	55.646	8.33	24.886	35	0.9	39
24	59.376	11.278	16.22	47	0.9	54
25	53.582	22.46	28.938	45	0.9	52
26	41.114	10.928	15.232	32	0.9	34
30	67.106	10.952	18.304	53	0.9	62
31	59.266	1.29	2.582	40	0.9	44
32	50.364	23.798	27.084	42	0.9	49
33	48.262	24.486	27.476	38	0.9	42
34	50.478	16.904	20.746	41	0.9	46
35	39.22	8.698	9.482	29	0.9	31
36	74.508	7.818	24.282	61	0.9	73
37	55.582	17.274	21.514	46	0.9	53
38	58.744	2.592	12.864	43	0.9	49
39	48.878	1.524	2.4	35	0.9	38

Tabella 1. Valori di riflettanza, emissività e SRI. Quest'ultimo valore è stato calcolato come prevede la norma ASTM E 1980-11 utilizzando un coefficiente di scambio convettivo (h_c) pari a $12 \text{ W/m}^2\text{K}$

5. CORRELAZIONE TRA COLORE E RIFLETTANZA

Nonostante le recenti disposizioni legislative, la disponibilità di informazioni circa le proprietà radiative dei materiali appare limitata. Viceversa le caratteristiche cromatiche sono generalmente note. Sebbene queste ultime non permettano di caratterizzare le proprietà radiative di una superficie, dato che si riferiscono ad una frazione limitata dello spettro (la frazione del visibile), queste possono comunque essere considerate un primo “indizio” circa il comportamento radiativo che assumerà il materiale «laterizio» in assenza di trattamenti con particolari proprietà radiative.

Pertanto, sebbene la riflettanza si riferisca all'intero spettro, grazie ai dati sperimentali ricavati è possibile ottenere una correlazione, da considerare in termini qualitativi, tra misure di colore e riflettanza.

La **Figura 4** nello specifico descrive la correlazione tra i valori di riflettanza emisferica determinati ed i corrispondenti valori colorimetrici misurati nella scala CieLab. Questi ultimi sono stati rappresentati in termini di modulo del vettore nello spazio L,a,b , assumendo come origine il valore corrispondente a zero.

(8) *Nel modello colorimetrico L^*a^*b (cosidetto CIELab), elaborato dalla Commissione Internazionale dell'Illuminazione (CIE), un colore è individuato in uno spazio i cui assi sono costituiti da tre valori:*

“L”, la luminanza, espressa in percentuale (0 per il nero e 100 per il bianco); “a” e “b” due gamme di colori che vanno rispettivamente dal verde al rosso e dal blu al giallo con dei valori da -120 a +120.

Lo spazio colore CIELab copre così l'intero spettro visibile dall'occhio umano e lo rappresenta in modo uniforme. Descrive, quindi, l'insieme dei colori visibili indipendentemente da qualsiasi tecnologia grafica, comprendendo la totalità dei colori RGB e CMYK. Tale modello garantisce che un colore sia visto da tutti nello stesso modo.

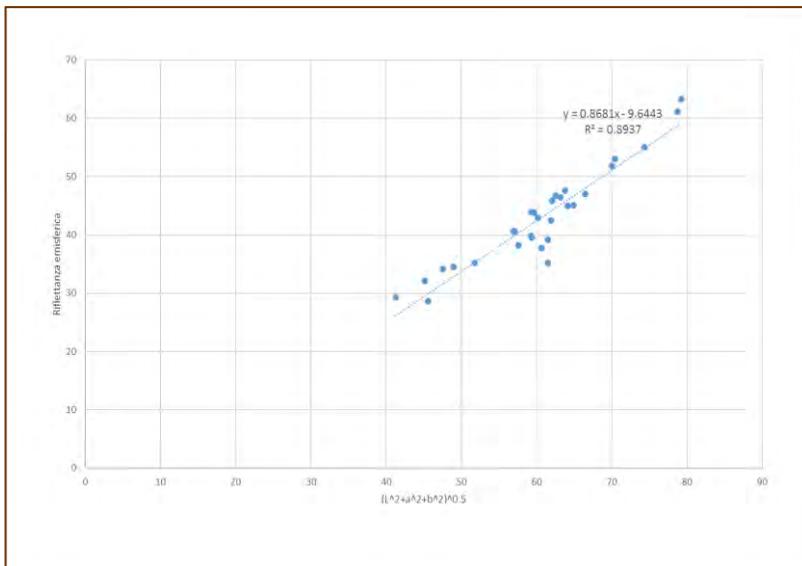


Figura 4. Riflettanza emisferica e modulo del vettore su scala CIELab

E' possibile osservare come il valore di R sia elevato, aspetto che rende possibile utilizzare tale relazione per tipologie di tegole (coppi) comuni o con rivestimenti le cui proprietà riflettenti sono simili tanto nel campo IR che nel campo del visibile.

6. IL CONTRIBUTO DELLA VENTILAZIONE IN RELAZIONE ALLE PROPRIETÀ RADIATIVE DEL MANTO

Come noto, il riscaldamento di una superficie soggetta ad irraggiamento dipende non solo dalle sue proprietà radiative ma anche dalla possibilità di scambio termico convettivo della superficie stessa. Qualora la superficie fosse lambita da un flusso d'aria, questa ovviamente tenderebbe a riscaldarsi in maniera inferiore. Questo avviene tanto se la superficie è lambita da un flusso d'aria superiormente quanto se lo è inferiormente.

Tale aspetto è stato rilevato in numerose sperimentazioni. Identici manti di copertura soggetti ad irraggiamento, aventi o meno al di sotto strati di ventilazione, raggiungono valori di temperatura differenti (come ovvio temperature inferiori se ventilate). Si pone pertanto il problema di valutare la reale efficacia dell'impiego di manti di copertura con particolari proprietà radiative quando sono presenti intercapedini di ventilazione.

La necessità di considerare contestualmente le proprietà radiative del manto e la ventilazione in intercapedine, ci ha spinto a definire, quale valore utile per il progettista, la "*riflettanza equivalente*" (*Re*), definita come la riflettanza da assegnare al manto per considerare tanto la sua riflettanza effettiva quanto la capacità dissipativa dell'intercapedine d'aria. La *Re* si può utilizzare in luogo della riflettanza del materiale di finitura in elementi edilizi ventilati, al fine di ottenere un indice sintetico delle capacità di raffrescamento passivo di tali componenti, in virtù degli scambi radiativi e convettivi che si attuano a livello degli strati più esterni.

La proposta di specifici valori di riflettanza equivalente R_e a partire dai valori noti di riflettanza del materiale per manto R_m (riflettanza misurata) deriva dall'analisi di numerosi dati sperimentali ottenuti dal monitoraggio delle grandezze termiche di coperture in laterizio a scala reale poste su un edificio sperimentale appositamente realizzato (**Figura 5**).

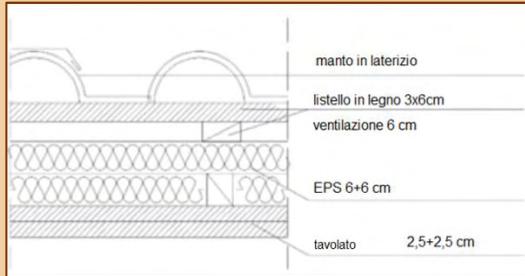


Figura 5. Falda di copertura monitorata

Il box di seguito descrive con maggiore dettaglio le attività sperimentali e analitiche condotte.

Vagliando un numero elevato di dati sperimentali si è ricavata la retta di regressione e la relativa equazione che permette, pur con le approssimazioni descritte nel box, di calcolare la riflettanza equivalente R_e , a partire dalla riflettanza R_m nota, al fine di considerare l'effetto dell'intercapedine di ventilazione.

Per la determinazione della “riflettanza equivalente” Re di una copertura ventilata in laterizio si sono utilizzati i dati sperimentali delle seguenti grandezze misurate in prossimità di coperture in laterizio a scala reale poste su un edificio sperimentale appositamente realizzato: velocità del vento (v), radiazione solare (I), temperatura esterna (T_e). Si è inoltre misurata la temperatura del manto (T_m).



Stratigrafia di una delle due coperture in laterizio monitorate. L'altra è identica ma con solaio in laterocemento

Le grandezze sono state rilevate tramite datalogger a 12 bit e acquisite ogni 10 minuti nel corso di più di sette anni a partire dal 2008 fino al 2015 dando luogo pertanto ad un ampio database, quindi, ad una alta affidabilità statistica per l'attendibilità dei modelli elaborati.

A partire dai dati sperimentali ottenuti si è in primo luogo calcolato il coefficiente di scambio convettivo sulla superficie del manto (h_c) con la relazione empirica:

$$h_c = 5 + 4,5 * v - 0,14 * v^2 \quad (1)$$

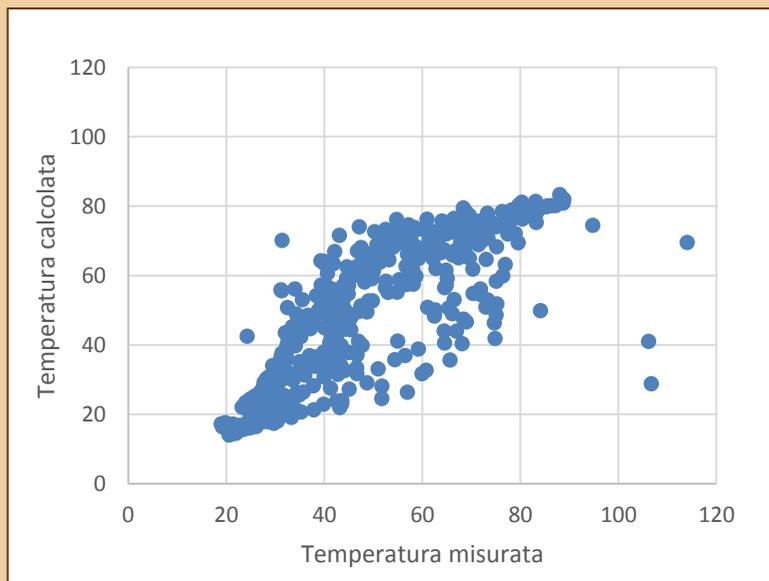
Nota la relazione per il calcolo della temperatura aria-sole (T_{as}), limitandosi alla sola fase diurna, così da considerare il beneficio della riflettanza nel contenimento delle temperature superficiali di giorno:

$$T_{as} = T_e + \frac{I \propto}{h_c} \quad (2)$$

si è determinato il valore α (assorbanza del manto) tale da minimizzare la differenza tra la temperatura aria-sole e la temperatura del manto della copertura in ciascun istante.

Il valore α (assorbanza) ed il suo opposto (riflettanza) sono stati determinati considerando soglie di radiazione solare $>100 \text{ W/m}^2$, in modo da escludere valori significativamente affetti da errori sperimentali nelle fasi notturne e di scarso irraggiamento (si è trascurato il fenomeno di re-irraggiamento in fase notturna). Tale valore di riflettanza ottenuto è quello medio nel periodo considerato. Il confronto tra le temperature superficiali esterne misurate e quelle ricavate utilizzando la riflettanza equivalente calcolata, per uno dei giorni di simulazione in una delle coperture monitorate, è riportato a titolo di esempio nella figura sotto.

La dispersione di alcuni dati è dovuta al fatto che il modello di calcolo utilizzato non considera gli aspetti inerziali (il passaggio di un corpo nuvoloso si traduce in un immediato abbassamento delle temperature della superficie).



Confronto tra dati sperimentali e valori di calcolo relativamente alle temperature superficiali esterne.

Considerando che, in caso di riflettanza pari a 1, i valori del modello sperimentale e del modello di calcolo di fatto coinciderebbero, è possibile ricavare l'equazione che meglio approssima i risultati. L'equazione risultante è:

$$R_e = a/(1 + be^{-cR_m}) \quad (3)$$

Dove: $a = 0,99$; $b = 132,62$; $c = 15,525$. L'equazione è valida, per le ipotesi di calcolo, esclusivamente nel range di riflettanza: 0,25-0,85.

L'equazione sopra indicata permette pertanto di ricavare, per prodotti le cui riflettanze R_m (riflettanze misurate) note ricadano nell'intervallo prima definito, il valore R_e (riflettanza equivalente) da inserire nei codici di calcolo al fine di tener conto dell'effetto dell'intercapedine di ventilazione.

Attraverso i valori precedentemente misurati e riportati nell'abaco di *Tabella 1* è possibile pertanto determinare i valori di Riflettanza equivalente R_e e SRI al fine di tener conto dell'effetto dell'intercapedine di ventilazione.

7. PROCEDURA SISTEMATICA PER VERIFICA RIFLETTANZA

Di seguito si riporta una schematizzazione della possibile procedura per la valutazione della riflettanza ai fini degli adempimenti previsti sia da norme cogenti che da protocolli volontari quali LEED® e ITACA.

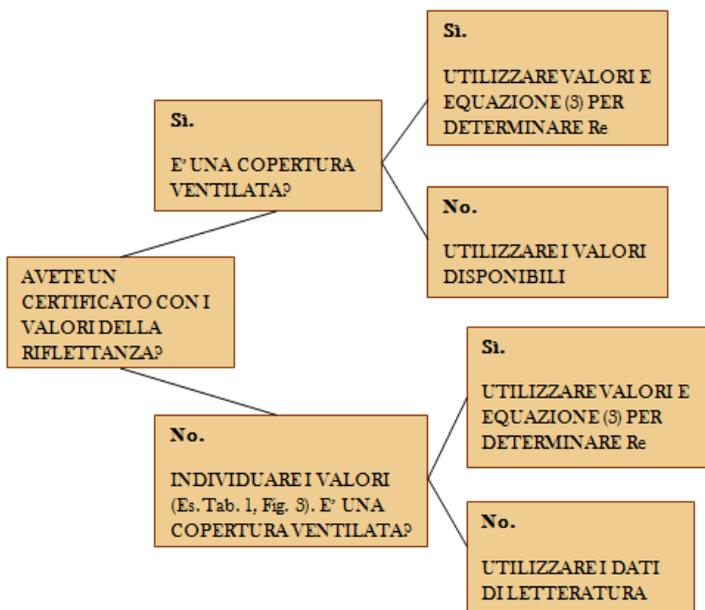


Figura 6. Schema della procedura per l'individuazione della riflettanza

Nel caso in cui ci si trovi in presenza di una copertura ventilata che rispetti le prescrizioni della UNI 9460(9), sulla base dei valori di riflettanza disponibili si può individuare la R_e alternativamente sulla base di dati da “abaco” o “misurati” e successivamente, avendo a disposizione i valori di emissività (l'emissività oscilla mediamente tra 0,89 e 0,9 per le tegole/coppi comuni) determinare anche l'SRI(10) utilizzando l'equazione di cui al paragrafo 6.

(9) La UNI 9460: 2008 definisce al paragrafo 9.3.1 “ventilazione” quanto segue “...omissis... 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 ÷ 35)% e lunghezza di falda usuali (fino a 7 m), è almeno di 550 cm² 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. ...omissis ... Nel caso di coperture in coppi posati in modo tradizionale, data l'alta permeabilità all'aria del sistema, i valori innanzi riportati possono essere dimezzati».

(10) Il valore di SRI (indice di riflessione solare) si calcola in accordo con la norma ASTM E1980. Fissato un flusso solare di riferimento pari a 1000 W/m², la temperatura ambiente dell'aria pari a 310°K e fissato il coefficiente convettivo di scambio termico (h_c) per esprimere gli scambi convettivi dovuti all'aria che lambisce la superficie esterna, e fissate le superfici standard (bianco e nero) si calcola il valore di SRI come quel valore compreso tra gli estremi corrispondenti alle superfici standard tale per cui $SRI=100(T_b-T_s)/(T_b-T_w)$, dove T_b è la temperatura di una superficie nera standard esposta al flusso radiativo prima indicato, T_w è la temperatura di una superficie bianca standard sottoposta alle stesse condizioni e T_s è la temperatura che in tali condizioni raggiunge la superficie della quale si vuole determinare il valore di SRI. SRI pertanto rappresenta un indice che esprime la posizione (scala 0-100) rispetto alla temperatura raggiunta in caso di soleggiamento da superfici standard.*

8. CONCLUSIONI

Recenti disposizioni legislative (D.M. 26/6/2016) indicano la necessità di valutare gli effetti, anche in termini costi/benefici, dati dall'inserimento di materiali ad elevata riflettanza solare (0,65 nel caso di coperture piane - 0,30 nel caso di copertura a falde) o di tecnologie di climatizzazione passiva (quali la ventilazione nelle coperture) negli edifici con la finalità di riduzione dei consumi energetici o di miglioramento ambientale, dato che riducendo la temperatura superficiale dei materiali del manto, quando questi sono soggetti ad irraggiamento, si riduce l'effetto isola di calore e nello stesso tempo il flusso di calore entrante attraverso la copertura (11).

Occorre considerare tuttavia che, nel caso di coperture con intercapedini di ventilazione, la relazione tra riflettanza e temperatura superficiale si modifica, dato che l'aria esterna è a temperatura inferiore rispetto a quella relativa alla superficie del materiale sottoposto ad irraggiamento e pertanto, lambendo i due lati dei materiali del manto, determina temperature superficiali inferiori a quelle ottenibili dallo stesso materiale se posto direttamente a contatto con il supporto.

Si è allora sviluppato, con i dati di rilievi sperimentali, il calcolo di una "riflettanza equivalente", definita quale la riflettanza da assegnare al manto per considerare tanto la sua riflettanza effettiva quanto la capacità dissipativa dell'intercapedine d'aria. Inoltre si è individuata una correlazione tra grandezze colorimetriche e riflettanza per poter disporre di indicazioni qualitative in assenza di dati sperimentali.

(11) *Nei limiti del fatto che l'elevato livello di isolamento oggi richiesto ai componenti edilizi ha fortemente ridotto gli scambi termici attraverso i componenti opachi.*

9. GLOSSARIO

Albedo: Si riferisce ad una superficie ed è la frazione di radiazione incidente che viene riflessa in tutte le direzioni. L'albedo varia tra 1 (totale riflessione) e 0 (assenza di riflessione).

Assorbanza: l'assorbanza o coefficiente di assorbimento indica il rapporto tra la frazione di radiazione assorbita e quella incidente su un corpo. Può assumere valori compresi tra 0 e 1. Dipende dalla natura, dalla forma e dalla temperatura del corpo considerato.

Cool materials: materiali caratterizzati da valori di riflettanza particolarmente elevati.

Cool roofs (tetti freddi): si tratta di coperture realizzate con materiali che limitano gli apporti solari grazie alle proprie caratteristiche di elevata riflettanza ed emissività termica.

Cool colors roofs: coperture colorate che hanno le stesse caratteristiche dei cool roofs.

Copertura ventilata: copertura dotata di una intercapedine aperta fra lo strato di isolamento e il manto di copertura.

Emissività: è la frazione di energia irraggiata dal materiale rispetto all'energia irraggiata da un corpo nero alla stessa temperatura. Assume valori compresi tra 0 e 1. Dipende da fattori quali la temperatura, l'angolo di emissione, la lunghezza d'onda e la finitura superficiale del corpo osservato.

Isola di calore (*Urban Heat Island*): è il fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane cittadine, rispetto a quella delle zone periferiche e rurali circostanti.

Micro-ventilazione: strato necessario per il buon funzionamento della copertura e per garantire una durata nel tempo dell'elemento di tenuta. E' costituito dallo spazio tra manto ed elementi di supporto, generalmente formato da listelli o altri sostegni su cui poggiano tegole e/o coppi.

Re "riflettanza equivalente": definita quale riflettanza media da assegnare al manto per considerare tanto la riflettanza effettiva del manto che la capacità dissipativa dell'intercapedine d'aria (copertura ventilata).

Riflettanza: la riflettanza solare è la misura della frazione di radiazione solare incidente che viene riflessa da una superficie irradiata. Il valore varia tra 0 (per una superficie totalmente assorbente) e 1 (per una superficie totalmente riflettente).

SRI - Solar Reflectance Index: E' un indice calcolato dipendente dalla riflettanza e dall'emissività di una superficie, si esprime in scala 0-100 ed esprime la posizione rispetto al comportamento di una superficie bianca e di un corpo nero. L'indice si calcola utilizzando la ASTM E1980 a partire dai valori di riflettanza e di emissività dei materiali costituenti il manto di copertura (o altra superficie) ed imponendo un coefficiente di scambio convettivo.

10. BIBLIOGRAFIA

DM 26/06/2015 Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

DM 24/12/2005 CRITERI AMBIENTALI MINIMI, per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione.

DM 26/06/2015 Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.

D. Lgs. 50/2016 "Nuovo codice degli appalti pubblici" (Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture).

GBC Italia, "Protocollo LEED - Green Building Council Italia. Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni - Novembre 2013".

Building Research Establishment (BRE), "BRE Environmental Assessment Method (BREEAM)", (2014).

UNI/PdR 13:2015 Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità. Sezione 0: Inquadramento generale e principi metodologici. Sezione 1: Edifici residenziali.

C. Ferrari, A. Libbra, A. Muscio, C. Siligardi., "Isola di calore e surriscaldamento estivo: cool colors in laterizio", *Costruire in Laterizio* 158 (2014), 64-69.

A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, "Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies", *Energy and Buildings* 43 (2011), 971-979.

S. Attia, M. Hamdy, W. O'Brian, S. Carlucci, "Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design", *Energy and Buildings* 60 (2013) 110-124.

Y. Sun, "Sensitivity analysis of macro-parameters in the system design of net zero energy building", *Energy and Buildings* 86 (2015), 464-477.

Cool Roof Rating Council (C.R.R.C.), "Product Rating Program Manual (CRRC-1)", (2015).

Cool Roof Rating Council (C.R.R.C.), "ANSI/CRRC S100 - Standard Test Methods for Determining Radiative Properties of Materials", (2015).

N. Sanjai, P. Chand, "Passive cooling techniques in buildings: past and present a review", *ARISER* 4 (2008), 37-46.

A.L. Pisello, F. Cotana, "The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring", *Energy and Building* 69 (2014), 154-164.

N.L. Alchapar, E.N. Correa, M.A. Cantòn, "Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zone", *Energy and Building* 69 (2014), 22-32.

M. Kolokotroni, B.L. Gowreesunker, R. Giridharan, "Cool roof technology in London: An experimental and modelling study", *Energy and Buildings* 67 (2013), 658-667.

- C. Romeo, M. Zinzi, "Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study", *Energy and Buildings* 67 (2013), 647-657.
- A.L. Pisello, F. Cotana, L. Brinchi, "On a cool coating for roof clay tiles: development of the prototype and thermal-energy assessment", *Energy Procedia* 45 (2014), 453-462.
- R. T. Araújo. Prado, F. L. Ferreira, "Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials", *Energy and Buildings* 37 (2005), 295-300.
- G.M. Revel, M. Martarelli, M. Emiliani, A. Gozalbo, M. J. Orts, M. Á. Bengochea, L. G. Delgado, A. Gaki, A. Katsiapi, M. Taxiarchou, I. Arabatzis, I. Fasaki, S. Hermanns, "Cool products for building envelope - Part I: Development and lab scale testing", *Solar Energy* 105 (2014), 770-779.
- E. Mastrapostoli, T. Karlessi, A. Pantazaras, D. Kolokotsa, K. Gobakis, M. Santamoris, "On the cooling potential of cool roof in cold climates: Use of cool fluorocarbon coatings to enhance the optical properties and the energy performance of industrial buildings", *Energy and Buildings* 69 (2014), 417-425.
- Pacific Gas And Electric Company, "High Albedo Roofs", 6 (2000), 1-2.
- T.Karlessi, M. Santamouris, K. Apostolakis, A. Synnefa, I. Livada, "Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures", *Solar Energy* 83 (2009), 538-551.
- E. Di Giuseppe, M. D'Orazio, "Laterizi ed "isola di calore": strategie cool nella tradizione", *Costruire in Laterizio* 150 (2012), 54-58.
- S. Kültür, N. Türkeri, "Assessment of long term solar reflectance performance of roof coverings measured in laboratory and in field", *Building and Environment* 48 (2012) 164-172.
- A. Čičelsky, I. A.Meier, "Parametric analysis of environmentally responsive strategies for building envelopes specific for hot hyperarid regions", *Sustainable Cities and Society* 13 (2014), 279-302.
- M. Zhao, P. C. Tabarez-Velasco, J. Srebric, S. Komareni, R. Berghage, "Effect of plant and substrate selection on thermal performance of green roofs during the summer", *Building and Environment* 78 (2014), 199-211.
- R. Levinson, S. Chen, P. Berdahl, P. Rosado, L. A. Medina, "Reflectometer measurement of roofing aggregate albedo", *Solar Energy* 100 (2014), 159-171.
- H. Akbari, R. Levinson, S. Stern, "Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies", *Solar Energy* 82 (2008), 648-655.
- H. Radhi, E. Assem, S. Sharples, "On the colour and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions", *Building and Environment* 72 (2014), 162-172.



978-88-905271-1-1

