

# Method for measuring energy savings on highly reflective coatings

## Metodo di misura del risparmio energetico con i rivestimenti ad alto potere riflettente



F. Cortes



P. Aragón



C. Borrelli

Francisco Cortes, Pablo Aragón, Titanium Technologies, Chemours Mexico  
Cristiana Borrelli, Titanium Technologies, Chemours Switzerland

### Abstract

The effect of high solar reflectance on roof coatings has been widely researched as an effective way of reducing heat gains inside a building. But real energy savings data for residential buildings are scarce and difficult to find. This paper describes a new method developed to measure energy savings on highly reflective coatings. The results generated by this model, can allow researchers to provide an estimate of potential energy savings in different weather conditions with high accuracy. Furthermore, during this development it was demonstrated how highly reflective coatings containing titanium dioxide can reduce the cooling load by 44% against a red roof coating and by 51% against a black asphalt roof coating.

### Riassunto

L'effetto esercitato dall'alta riflessione solare su rivestimenti di tetti è stato ampiamente studiato al fine di ridurre l'accumulo di calore all'interno dell'edificio. Eppure i dati reali del risparmio energetico relativi agli edifici residenziali sono insufficienti e difficili da reperire. In questo articolo è descritto un nuovo metodo, messo a punto per misurare i risparmi energetici con i rivestimenti ad alto potere riflettente. I risultati generati da questo modello possono consentire ai ricercatori di fornire con grande precisione la stima del risparmio energetico potenziale in varie condizioni climatiche. Inoltre, nel corso di questa attività di sviluppo è stato dimostrato in quale misura i rivestimenti ad alto potere riflettente, contenenti biossido di titanio possano ridurre il fabbisogno di raffreddamento del 44% rispetto ai rivestimenti per tetti rossi e del 51% rispetto ai rivestimenti per tetto costituiti da asfalto nero.

### INTRODUCTION

The effect of high solar reflectance on roof coatings has been widely researched as an effective way of reducing heat gains inside a building<sup>[1]</sup> and decreasing greenhouse gas emissions<sup>[2]</sup>. Most of the developed countries now have created regulations for using highly reflective materials in buildings and edifications, e.g. California's Title 24, LEED v4 and the Intelligent Energy-Europe II (IEE II) Program. The European Commission funded various case studies to assess the performance of cool roofing coatings<sup>[4]</sup>. In addition, studies showed that different construction systems affect the performance of cool roofs<sup>[5]</sup>. This has made translating energy savings to different climate zones with different construction systems very difficult.

### INTRODUZIONE

L'effetto dell'alta riflessione solare sui rivestimenti per tetti è stata ampiamente analizzata come tecnica efficace per ridurre l'accumulo di calore all'interno di un edificio<sup>[1]</sup> oltre alle emissioni dei gas serra<sup>[2]</sup>. Nella maggior parte dei paesi industrializzati sono state emanate normative per l'utilizzo di materiali ad alto potere riflettente per strutture edili in costruzione e per edifici, ad esempio il Titolo 24 in California, LEED v4 e il Programma Intelligent Energy-Europe II (IEE II). La commissione europea ha finanziato diversi casi studio per valutare la prestazione dei rivestimenti cool roof<sup>[4]</sup>. Questi studi hanno dimostrato che diverse tecniche costruttive influiscono sulla prestazione dei cool roof<sup>[5]</sup> rendendo altresì difficili i risparmi energetici in varie zone climatiche.

The aim of the proposed study is to develop a new method to measure energy savings on highly reflective coatings and to evaluate the performance of those coatings in a typical Mexican construction system. The Northern region of Mexico was selected for this study as it reaches maximum temperatures up to 50°C. The Mexico's Department of Energy estimates that 44% of the energy consumption of a household is for the HVAC system.

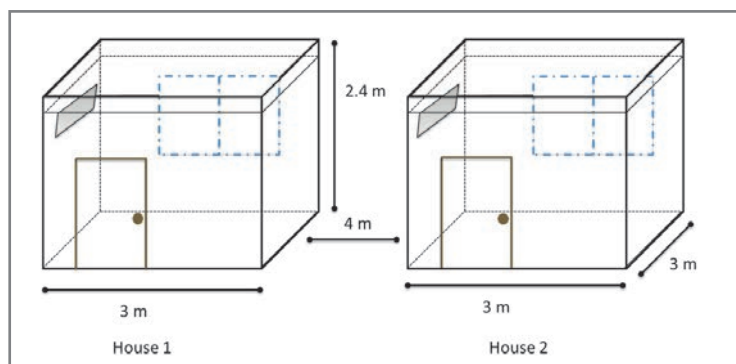
## EXPERIMENTAL PART

### Methodology for measuring energy consumption

To develop a method to accurately quantify the energy consumption and savings, two houses were equally constructed in outskirts of the city of Monterrey, Mexico, as illustrated in Figure 1.

The walls were built with two 15 cm hollow concrete blocks, separated by 2.5 cm polyisocyanurate insulation. A 5 cm aluminum profile was used for the double paned windows. The roof was made of block concrete with no insulation to allow the entire thermal load to come through the roof. The houses were separated by 4 m to avoid shadows.

Both houses had an air conditioning mini-split system with 1 ton capacity. The condensing units were placed outside the houses and connected to an independent Watt-hour-meter to measure energy. Temperature meters were placed on the roof, one on the interior and one on the exterior side. A weather station was placed approximately 10 meters from the houses to record weather conditions.



**Fig. 1 Scheme of the test houses**  
*Schema degli edifici sottoposti a test*

### Measurement System Validation

Figure 2 shows the initial setup of the houses. To validate the measurement system, the temperatures of the roof were evaluated with the AC equipment turned off.

The first period of measurements was from June 7<sup>th</sup> to June 16<sup>th</sup> of 2013. Initially, there were statistically significant differences between the temperatures (first two days, P-value = 0.00);

*La finalità di questo studio è lo sviluppo di un nuovo metodo di misura dei risparmi energetici con i rivestimenti ad alta riflessione e valutare la prestazione di quei rivestimenti in un sistema di costruzione tipico messicano. L'area settentrionale del Messico è stata selezionata per questo studio in quanto si raggiungono temperature massime, fino ai 50°C. Il ministero per l'energia in Messico ha stimato che il 44% dei consumi di energia di un nucleo familiare riguarda il sistema HVAC.*

## PARTE SPERIMENTALE

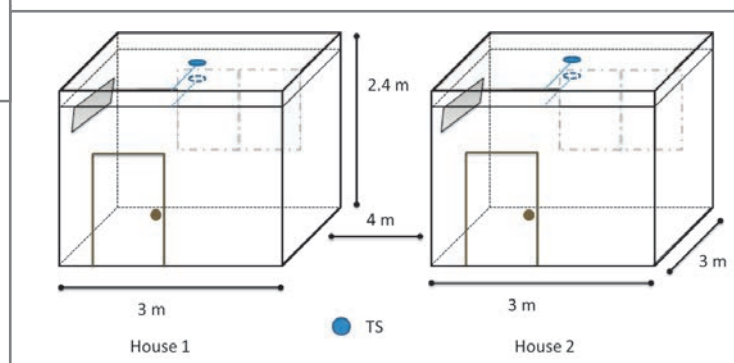
### Metodologia per misurare i consumi energetici

*Al fine di sviluppare un metodo per quantificare accuratamente i consumi e i risparmi energetici sono state costruite due case nella periferia della città di Monterrey, Messico, come illustrato in fig. 1. I muri sono stati edificati con blocchi di calcestruzzo a cavità di 15 cm, separati da strato isolante di poliisocianurato di 2,5 cm. Per le finestre a doppi vetri è stato utilizzato un profilo di alluminio di 5 cm. Il tetto è stato realizzato con blocchi di calcestruzzo non isolati per consentire all'intero carico termico di distribuirsi attraverso il tetto. Gli edifici abitativi sono stati distanziati per 4 metri al fine di evitare zone d'ombra.*

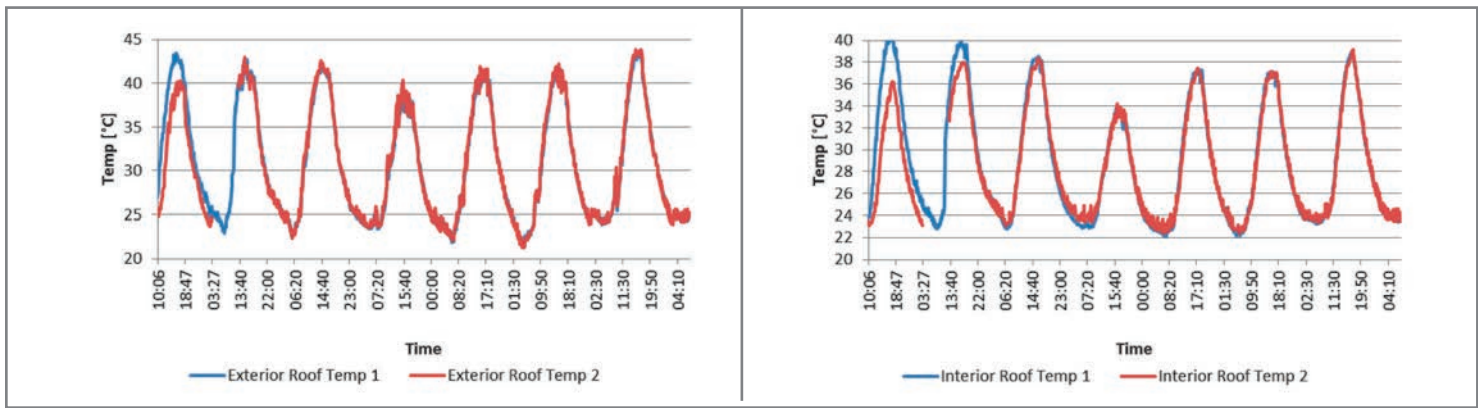
*Entrambi gli edifici erano dotati di un sistema di condizionamento con mini-apertura e capacità di 1 ton. Le unità di condensazione sono state poste all'esterno delle case e connesse ad un contatore Watt-ore separato per misurare i consumi. I misuratori della temperatura sono stati posti sul tetto, uno all'interno e uno all'esterno. Per registrare le condizioni meteo è stata poi allestita una stazione climatica, a circa 10 metri di distanza dalle case.*

### Convalida del sistema di misura

*In fig. 2 è illustrato il progetto iniziale dei due edifici. Per convalidare il sistema di misura, le temperature del tetto sono state valutate disattivando le attrezzature AC.*



**Fig. 2 Setup of system**  
*Impostazione del sistema*



**Fig. 3 Comparison of exterior (Left) and interior roof temperatures (Right) for the two houses**  
*Confronto fra le temperature del tetto esterna (sinistra) e interna (destra) dei due edifici abitativi*

however, after the third day, the differences disappeared as it is shown in Figure 3 (P-value = 0.361 and 0.965). After ensuring that the exterior and interior temperatures were equal, the AC equipment was turned on and, using a set-point of 23°C, energy measurements were taken from June 17<sup>th</sup> to June 26<sup>th</sup>. Table 1 shows that the energy consumptions are the same (79 kWh), validating the design (P-value=1.00).

Day Giorno	kWh House 1 kWh Casa 1	kWh House 2 kWh Casa 2
1	4	3
2	8	8
3	9	8
4	9	9
5	9	8
6	8	9
7	9	9
8	8	8
9	7	8
10	8	9

**Tab. 1 Results of energy consumption**  
*Risultati dei consumi energetici*

**Stage 1 - Highly reflective coating versus conventional reflective coating**

For the first stage of the test, House 1 was coated with a white conventional roof coating (Solar Reflectance = 0.72) and House 2 was coated with a highly reflective roof coating (Solar Reflectance = 0.80) containing titanium dioxide (Figure 4). Roof temperatures, energy consumption and weather variables were measured for both houses from June 28<sup>th</sup> to July 10<sup>th</sup>. The AC equipment were turned on and programmed for a set-point of 23°C, 24 hours a day.

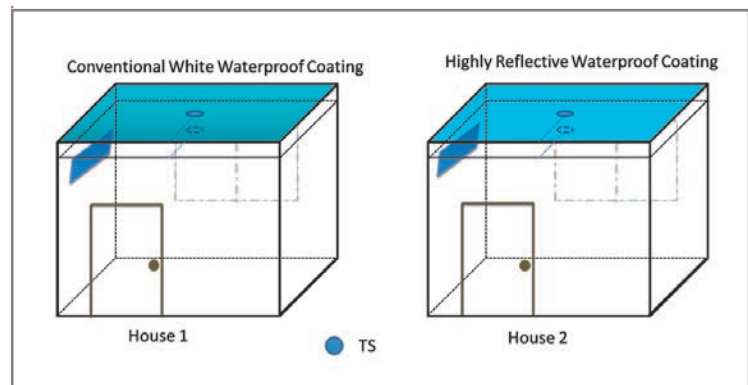
Table 2 shows that the energy consumption in House 2 is approximately 12% lower using the highly reflective coating. To verify the statistical validity of the differences with a 95% confidence, a paired t-test was performed on the kWh consumed

*Il primo periodo in cui sono state compiute le misure è stato dal 7 al 16 giugno del 2013. In un primo momento sono state riscontrate differenze significative fra le temperature (primi due giorni, valore-P = 0.00); tuttavia, al terzo giorno, le differenze sono scomparse come si osserva in fig. 3 (valore-P = 0,361 e 0,965).*

*Dopo essersi accertati che le temperature esterne ed interne fossero uguali, sono state attivate le attrezzature AC settando la temperature a 23°C, e la misura dell'energia è stata eseguita dal 17 al 26 giugno. In tab. 1 si osserva che i consumi energetici sono i medesimi (79kWh), a convalida del progetto (valore P = 1.00).*

**Fase 1- Rivestimento ad alto potere riflettente contro i rivestimenti convenzionali**

*Per la prima fase del test, l'abitazione 1 è stata rivestita con un rivestimento cool roof bianco convenzionale (riflettanza solare = 0,72) e l'abitazione 2 con un rivestimento per tetti ad alto potere riflettente (riflettanza solare = 0,80), contenente biossido di titanio (fig. 4), le temperature del tetto, i consumi energetici e le variabili climatiche sono state misurate per entrambe le abitazioni dal 28 giugno al 10 luglio. Le attrezzature AC sono state attivate e programmate per un set-point di 23°C, per 24 ore al giorno.*



**Fig. 4 Stage 1 setup**  
*Impostazione fase 1*

Date Data	Hour Ora	Energy reading House 1 Lettura energia Casa 1	Energy reading House 2 Lettura energia Casa 2	kWh House 1 kWh Casa 1	kWh House 2 kWh Casa 2
28-jun	08.00 a.m.	2014	120	9	9
29-jun	08.00 a.m.	2023	128	9	8
30-jun	08.00 a.m.	2031	136	8	8
1-jul	08.00 a.m.	2038	141	7	5
2-jul	08.00 a.m.	2044	147	6	6
3-jul	08.00 a.m.	2048	150	4	3
4-jul	08.00 a.m.	2053	155	5	5
5-jul	08.00 a.m.	2059	160	6	5
6-jul	08.00 a.m.	2066	166	7	6
8-jul	08.00 a.m.	2079	177	13	11
9-jul	08.00 a.m.	2083	180	4	3
10-jul	08.00 a.m.	2089	186	6	6
			<b>Total kWh Totale kWh</b>	<b>84</b>	<b>75</b>

**Tab. 2**  
**Stage 1 Energy consumptions**  
**Fase 1, risultati dei consumi**  
**energetici**

each house. The result was a P-value=0 demonstrating significant differences between the energy consumptions along with the 12% of energy consumption reduction.

### Stage 2 - Highly reflective coating versus traditional red roof coating system

In the second stage of the test, House 1 was coated with a traditional red roof coating (Solar Reflectance = 0.32) and House 2 was coated with the same highly reflective coating used in Stage 1.

The AC system was turned on at a set-point of 23°C, 24 hours a day (Figure 5). The experiment was run from June 11<sup>th</sup> to July 24<sup>th</sup>.

As it was expected, the energy consumption for the House 1 is significantly higher than House 2 (Table 3). The paired t-test showed that the differences are statistically significant different with a 95% confidence as the resulting P-value=0. There is an average daily difference of 2.33 kWh, representing a 45% saving in energy consumption.

### Stage 3 - Highly reflective coating versus traditional black asphalt system

House 1 was coated with a black asphalt coating (Solar Reflectance = 0.05). House 2 was coated with the same highly reflective coating as the previous stages. The test was

In tab. 2 sono riportati i consumi dell'abitazione 2 i quali risultano essere inferiori di circa il 12% grazie all'utilizzo del rivestimento riflettente. Per verificare la validità statistica delle differenze, con un margine di fiducia del 95%, è stato eseguito un test parallelo sui kWh consumati in ogni abitazione. Il risultato è stato un valore P=0, che dimostra le differenze significative fra i consumi energetici a fronte del 12% di riduzione dei consumi energetici.

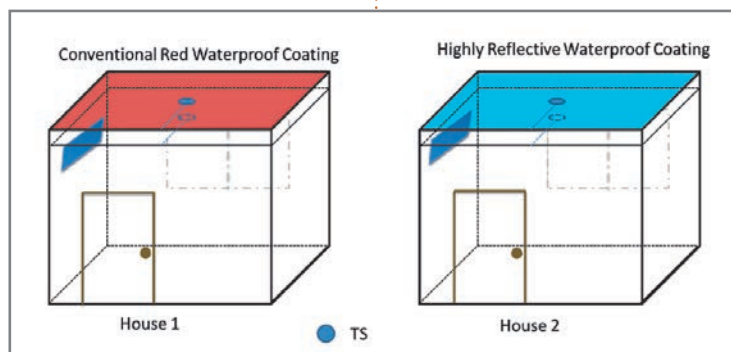
### Fase 2 - Rivestimento ad alto potere riflettente contro i rivestimenti convenzionali rossi

Nella seconda fase del test, l'abitazione 1 è stata rivestita con un rivestimento rosso per tetti tradizionale (riflettanza solare = 0,32) e l'abitazione 2 con lo stesso rivestimento ad alto potere riflettente utilizzato nella fase 1.

Il sistema AC è stato attivato ad un set-point di 23°C, 24 ore al giorno (fig. 5). L'esperimento è stato eseguito dall'11 giugno al 24 luglio.

Come previsto, il consumo energetico dell'abitazione 1

è risultato di molto superiore rispetto all'abitazione 2 (tab. 3). Il t-test parallelo ha dimostrato che le differenze sono statisticamente significative con un margine di fiducia del 95%, al pari del valore risultante P=0. Esiste una differenza media giornaliera di 2,33 kWh, pari a un risparmio dei consumi energetici del 45%.



**Fig. 5 Setup of Stage 2**  
**Impostazione fase 2**

Date Data	Energy reading House 1 Lettura energia Casa 1	Energy reading House 2 Lettura energia Casa 2	kWh House 1 kWh Casa 1	kWh House 2 kWh Casa 2
12-jul	2104	198	9	7
13-jul	2114	205	10	7
14-jul	2123	211	9	6
15-jul	2133	218	10	7
16-jul	2142	224	9	6
17-jul	2149	229	7	5
18-jul	2152	231	3	2
19-jul	2155	233	3	2
20-jul	2161	237	6	4
22-jul	2171	243	10	6
23-jul	2179	248	8	5
24-jul	2186	254	7	6
		<b>Total kWh Totale kWh</b>	<b>91</b>	<b>63</b>

**Tab. 3 Stage 2 Energy consumptions**  
*Fase 2, risultati dei consumi energetici*

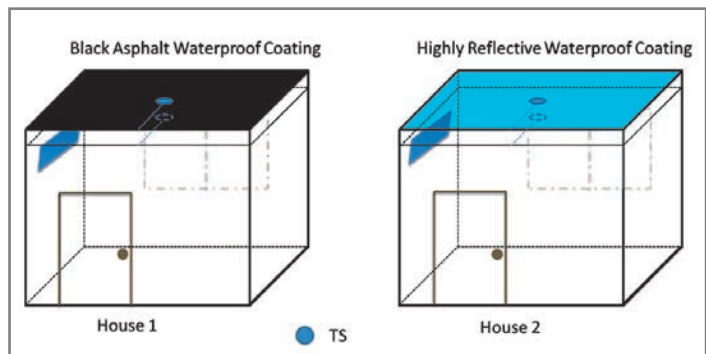
run beginning on Jul 25<sup>th</sup> and finished on Aug 14<sup>th</sup> with the AC system turned on at 23°C (Figure 6).

The energy consumption of House 1 with the black asphalt coating is considerably higher than the energy consumption of House 2 (Table 4). The paired t-test was performed on the data, giving a P-value=0.

The mean difference of energy consumption between both houses was 4.38 kWh, the highly reflective waterproof coating provided 51% of savings against the black one.

**Energy Consumption Predicting model**

The generated data were used to an energy consumption predicting model using an artificial neural network of the feed forward back propagation type (BPN), which is an ideal tool for the modeling and analysis of nonlinear, multivariate phenomena.



**Fig. 6 House setup for Stage 3**  
*Impostazione fase 3*

Date Data	Energy reading House 1 Lettura energia Casa 1	Energy reading House 2 Lettura energia Casa 2	kWh House 1 kWh Casa 1	kWh House 2 kWh Casa 2
26-jul	2206	267	11	7
27-jul	2218	275	12	8
28-jul	2229	283	11	8
29-jul	2240	290	11	7
30-jul	2250	297	10	7
31-jul	2261	304	11	7
1-aug	2272	311	11	7
2-aug	2283	319	11	8
5-aug	2316	341	33	22
6-aug	2327	349	11	8
7-aug	2338	356	11	7
8-aug	2350	365	12	9
9-aug	2362	373	12	8
12-aug	2387	388	25	15
13-aug	2393	392	6	4
14-aug	2403	398	10	6
		<b>Total kWh Totale kWh</b>	<b>208</b>	<b>138</b>

**Tab. 4 Stage 3 Energy consumptions**  
*Fase 3, risultati dei consumi energetici*

**Fase 3 - Rivestimento ad alto potere riflettente contro i rivestimenti convenzionali a base di asfalto**

L'abitazione 1 è stata rivestita con un rivestimento a base di asfalto nero (riflettanza solare = 0,05). L'abitazione 2 è stata rivestita con il medesimo rivestimento riflettente delle fasi precedenti. Il test è stato eseguito a partire dal 25 luglio fino al 14 agosto con il sistema AC attivato a 23°C (fig. 6).

Il consumo di energia dell'abitazione 1 con il rivestimento a base di asfalto è considerevolmente più elevato rispetto ai consumi dell'abitazione 2 (tab. 4). Il t-test parallelo è stato eseguito in base ai dati, fornendo un valore P = 0.

La differenza media dei consumi di energia fra le due abitazioni è risultata pari a 4,38 kWh, e il rivestimento impermeabilizzante ad alto potere riflettente ha fornito il 51% di risparmi rispetto al rivestimento nero.

**Modello della stima del consumo energetico**

I dati generati sono stati utilizzati per creare un modello della stima dei consumi energetici con un reticolo neurale artificiale della propagazione in avanti (BPN), una tecnica ideale per la modellizzazione e l'analisi del fenomeno nonlineare multivariato.

Gli input utilizzati erano parametri locali quali la radiazione

The used inputs were local parameters such as solar radiation, outside humidity and temperature, wind speed and the outside surface roof temperature.

A total of 2936 input and energy consumption measurements, were used to train the BPN, until the recall set was optimized, using a Minitab® software.

The 5 components optimized model predicts total energy consumption, when a highly reflective roof coatings is used, with an R<sup>2</sup> value of 54% (Figure 7).

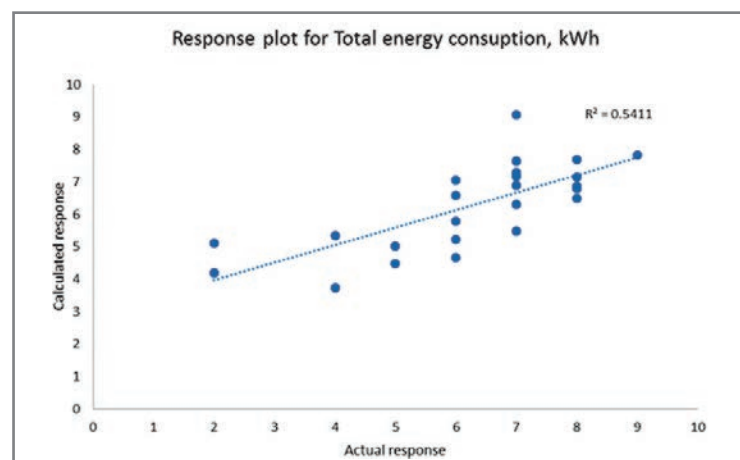


Fig. 7 Response plot for total energy consumption  
*Schema consumi totali di energia*

## CONCLUSIONS

A quick, cost-efficient methodology was developed to provide an accurate estimate of potential energy savings in different weather conditions. This method demonstrated also how using highly reflective coatings with titanium dioxide leads to significant energy savings, up to 45% reduction in AC energy consumption in summer periods for residential buildings; and overall of 20% reduction in electricity costs against the traditional red roof coatings. The measured savings are associated also to less greenhouse gas emissions and reduced heat-island effect.

## REFERENCES

- [1] Konopacki, S. (2010). Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL Paper LBNL-40673
- [2] 2. Levinson, R., & Akbari, H. (2010). Volume 3 Issue 1, 53-109.
- [3] 3. A., Hashem, T. Xu, H.r Taha, C. Wray, J. Sathaye, V. Garg, S. Tetali, M. H. Bobu, and K. N. Reddy, 2011. Lawrence Berkeley National Laboratory Report.
- [4] 4. Intelligent Energy Europe. Cool Roof in Europe: Initiatives and Examples.
- [5] 5. A. Synnefa, M. Santamouris, H. Akbari, Volume 39, Issue 11, November 2007, Pages 1167-1174.

*solare, l'umidità e la temperatura esterne, la velocità del vento e la temperatura della superficie del tetto esterno.*

*Per eseguire il BPN sono state usate 2936 input e misure dei consumi energetici fino all'ottimizzazione dell'impostazione con l'ausilio del software Minitab®.*

*Il modello ottimizzato a cinque componenti dà una stima dei consumi energetici totali quando viene utilizzato un rivestimento per tetti ad alto potere riflettente, con un valore R<sup>2</sup> pari al 54% (fig. 7).*

Parameter <i>Parametro</i>	Consumption kWh HR White <i>Consumo kWh HR bianco</i>	Consumption kWh HR White Standardized <i>Consumo kWh HR bianco standardizzato</i>
Constant <i>Costante</i>	-2.66245	0.00000
Outside temperature <i>Temperatura esterna</i>	1.49365	2.37507
Wind speed <i>Velocità del vento</i>	0.25058	0.25471
Outside roof temperature <i>Temperatura esterna del tetto</i>	-1.28858	-1.94056
Solar radiation <i>Radiazione solare</i>	0.00075	0.05478
Outside umidity <i>Umidità esterna</i>	0.00358	0.02725

Tab. 5 Calculated coefficients for input parameters  
*Coefficienti dei parametri di immissione*

## CONCLUSIONI

*Per ottenere una stima precisa dei potenziali risparmi energetici in diverse condizioni meteorologiche è stata messa a punto una metodologia veloce e ad efficacia di costi.*

*Questa tecnica ha dimostrato anche che l'utilizzo di rivestimenti ad alto potere riflettente produce risparmi energetici significativi, pari ad una riduzione del 45% dell'energia AC nei periodi estivi per abitazioni residenziali, vale a dire una riduzione totale del 20% dei costi di elettricità rispetto ai valori ottenuti con i rivestimenti rossi tradizionali. I risparmi misurati sono associati anche alla riduzione delle emissioni dei gas serra e delle isole di calore.*