



# I COOL ROOFS COME RIMEDIO ALLA URBAN HEAT ISLAND

*Dott. Ing. Alberto Muscio*

DIEF – Dip. di Ingegneria "Enzo Ferrari", Univ. di Modena e Reggio Emilia  
EELab – Laboratorio per l'Efficienza Energetica

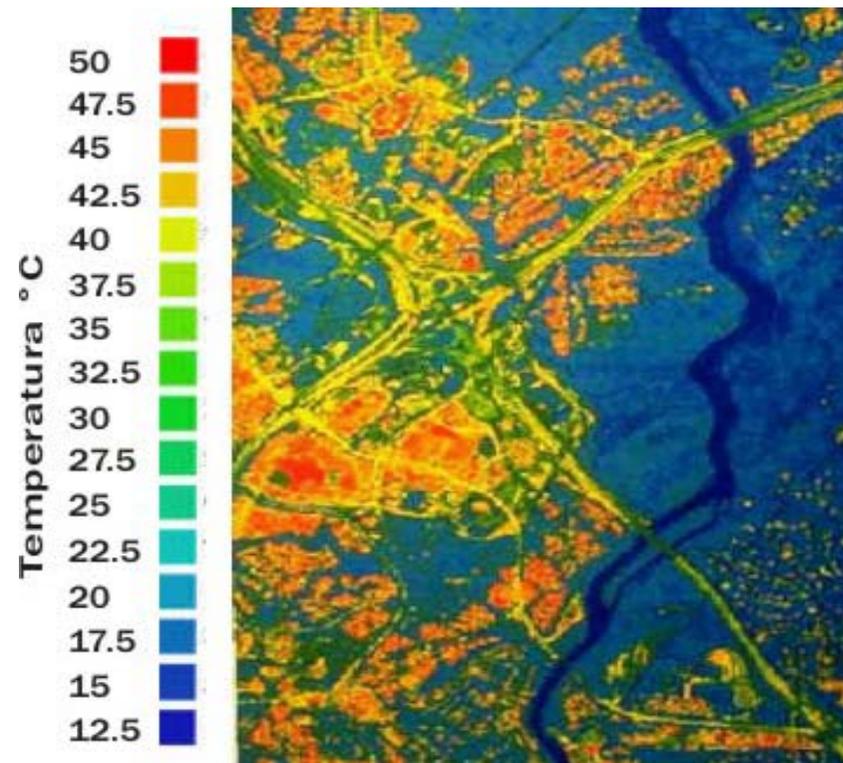
## Cool roofs (tetti freddi)

Nella terminologia tecnica, un **cool roof** è una copertura che si riscalda poco grazie a:

- **Riflettanza solare** elevata
- **Emissività termica** nell'infrarosso elevata
- **Stabilità nel tempo** delle proprietà superficiali
- **Tendenza allo sporco** ridotta

I cool roof sono nati in risposta al problema dell'**isola di calore urbana**), un fenomeno tipico delle aree urbanizzate:

- Le coperture degli edifici e del manto stradale si riscaldano a causa dell'irradiazione solare
- Gli edifici e l'asfalto rilasciano calore all'aria, di giorno e anche di notte
- La temperatura dell'aria rimane 4÷5°C e oltre più alta che nelle campagne circostanti



## Apporti solari estivi, riflettanza solare ed emissività termica

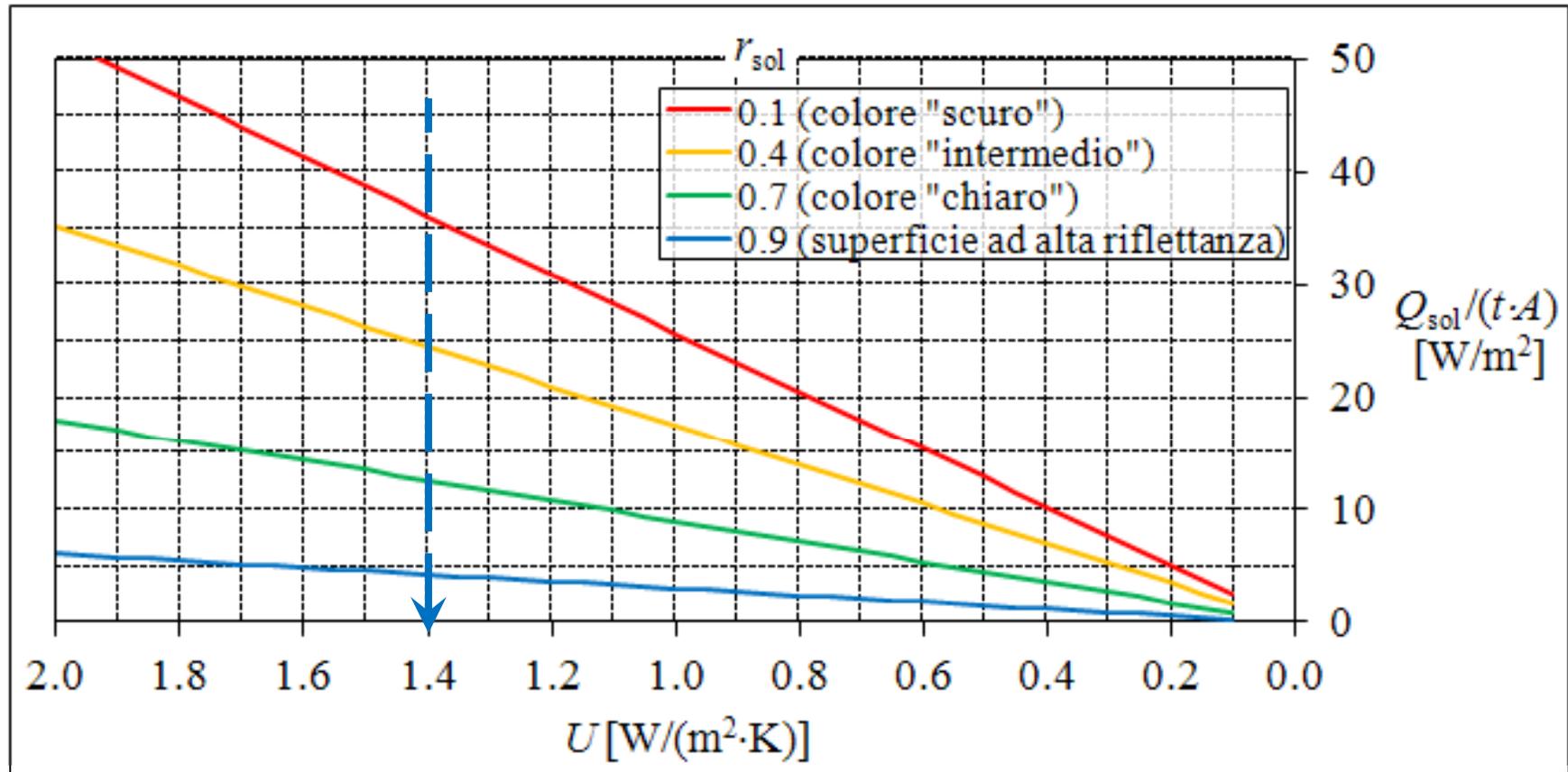
Si può dimostrare che **dalla riflettanza solare**  $r_{sol}$  (il rapporto tra radiazione solare riflessa e radiazione totale incidente) e **dall'emissività termica**  $e_{ter}$  (il rapporto tra radiazione emessa nell'infrarosso e massima emissione teorica alla stessa temperatura), oltre che dalla trasmittanza termica  $U$  della parete e dalle condizioni del sito (irradianza solare media giornaliera  $I_{sol}$ , temperatura ambiente, velocità del vento  $v_{vento}$ , ombreggiamenti eventuali), **dipende l'energia solare**  $Q_{sol}$  **captata** da parte degli elementi opachi dell'involucro edilizio in un dato intervallo temporale  $t$ :

$$Q_{sol} = U \cdot A \cdot \frac{F_{sh,ob} \cdot (1 - r_{sol}) \cdot I_{sol}}{(4 + 4 \cdot v_{vento}) + e_{ter} \cdot 4 \cdot \sigma_0 \cdot T_{me}^3} \cdot t$$

L'adozione di cool roofs con elevata emissività termica (di fatto, tutte le superfici non metalliche) e, soprattutto, elevata riflettanza solare (tendenzialmente, superfici di colore bianco o comunque molto chiaro) permette di ridurre gli apporti solari captati.

Apporti solari **estivi** attraverso una copertura non isolata

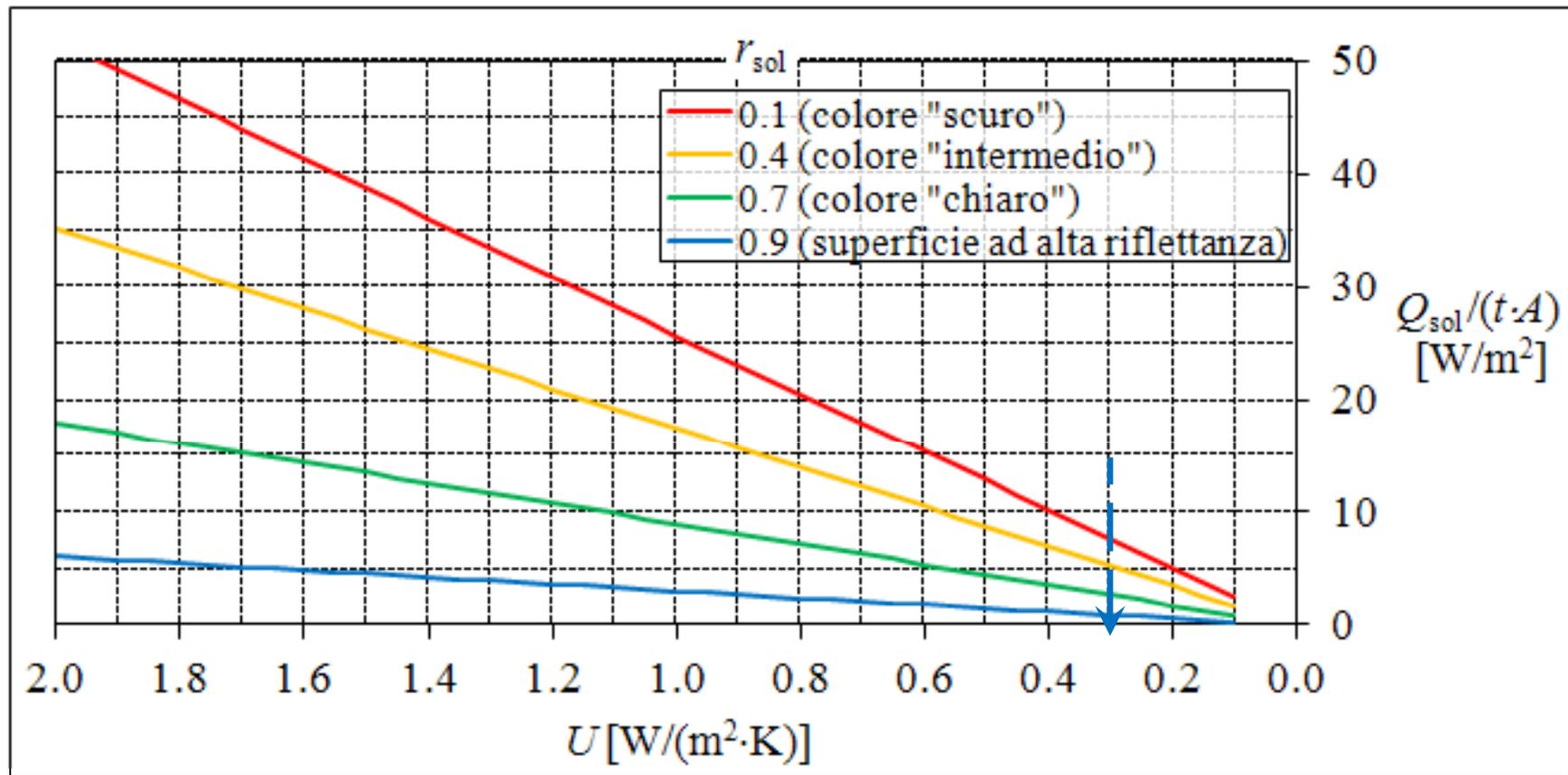
$$Q_{sol} = U \cdot A \cdot \frac{F_{sh,ob} \cdot (1 - r_{sol}) \cdot I_{sol}}{(4 + 4 \cdot v_{vento}) + e_{ter} \cdot 4 \cdot \sigma_0 \cdot T_{me}^3} \cdot t$$



Modena, superficie orizzontale, mese di **luglio**,  $v_{vento} = 0$  m/s,  $e_{ter} = 0.9$

## Apporti solari **estivi** attraverso una copertura isolata

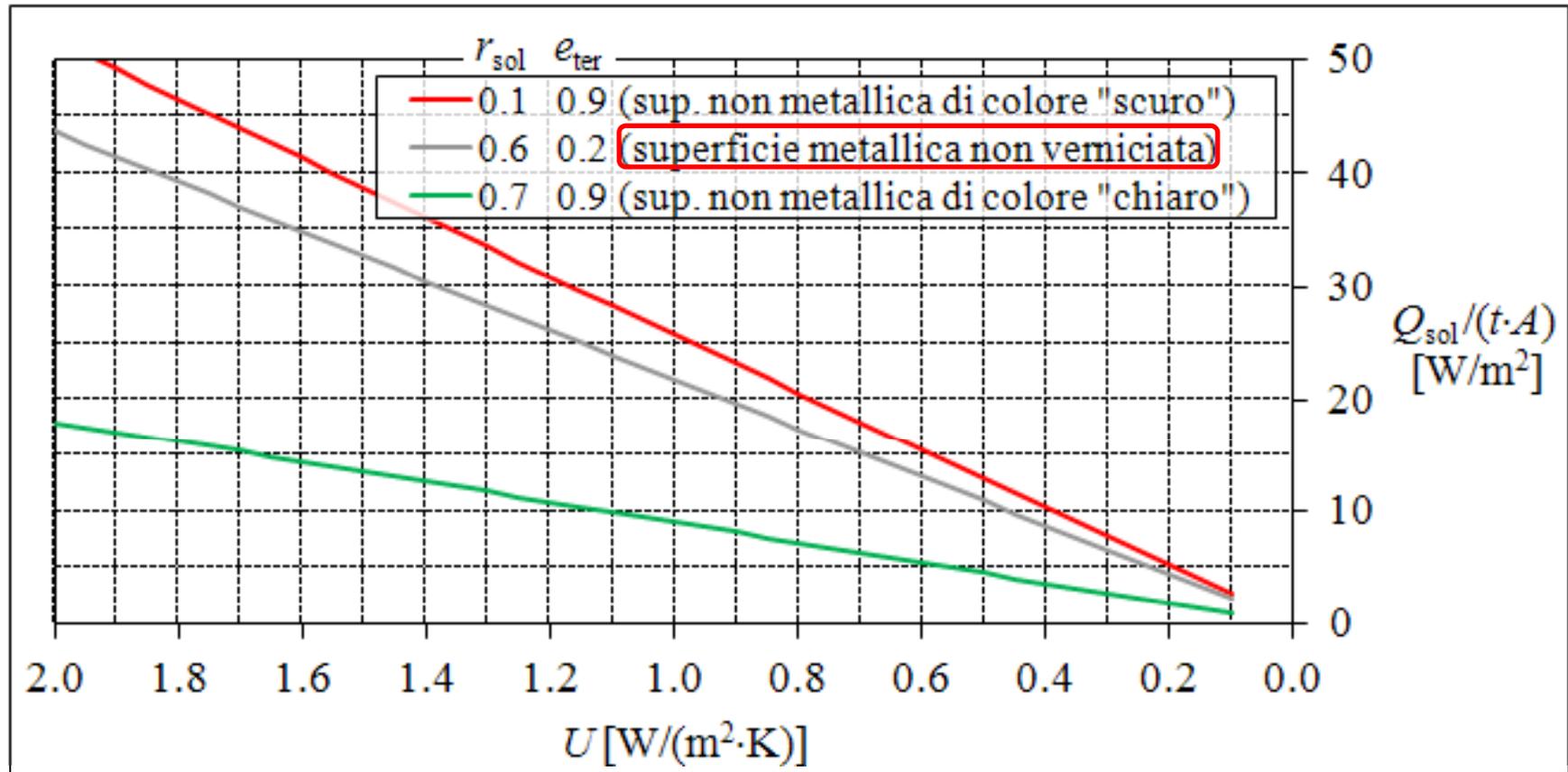
$$Q_{\text{sol}} = U \cdot A \cdot \frac{F_{\text{sh,ob}} \cdot (1 - r_{\text{sol}}) \cdot I_{\text{sol}}}{(4 + 4 \cdot v_{\text{vento}}) + e_{\text{ter}} \cdot 4 \cdot \sigma_0 \cdot T_{\text{me}}^3} \cdot t$$



Modena, superficie orizzontale, mese di **luglio**,  $v_{\text{vento}} = 0$  m/s,  $e_{\text{ter}} = 0.9$

Apporti solari **estivi** attraverso le coperture: effetto dell'emissività

$$Q_{sol} = U \cdot A \cdot \frac{F_{sh,ob} \cdot (1 - r_{sol}) \cdot I_{sol}}{(4 + 4 \cdot v_{vento}) + e_{ter} \cdot 4 \cdot \sigma_0 \cdot T_{me}^3} \cdot t$$



Modena, superficie orizzontale, mese di **luglio**,  $v_{vento} = 0$  m/s

## **Cool roofs: vantaggi e svantaggi**

### **Vantaggi diretti** (per l'utenza):

- Minori costi di condizionamento
- Maggiore benessere all'interno degli edifici (minore temperatura percepita, no effetto testa calda)
- Minori sollecitazioni strutturali e a fatica del tetto
- Minore degrado chimico-fisico dei materiali (ricoprimenti, isolanti, ecc.)

### **Vantaggi indiretti** (per la collettività):

- Minore rilascio di inquinanti per degrado chimico-fisico dei materiali
- Minore riscaldamento dell'ambiente urbano circostante (isola di calore)
- Riduzione dello smog foto-chimico
- Riduzione dei consumi elettrici e del rilascio di anidride carbonica

### **Svantaggi:**

- Impatto estetico (eventuale) in contesti di interesse storico artistico
- Costo di installazione o conversione (ridotto e ammortizzabile)
- Necessità di manutenzione periodica (lavaggio)

## Cool roofs: offerta commerciale

### Verniciatura delle superfici

- Riflettanza solare dipendente dal colore ( $>0.80 \div 0.90$  per colore bianco)
- Emissività termica influenzata dal materiale di base ( $0.50 \div 0.90$ )
- (Problemi di adesione al materiale di base e di durata)

### Membrane polimeriche bituminose e non

- Riflettanza solare dipendente dal colore ( $>0.70$  per colore bianco)
- Emissività termica elevata ( $>0.90$ )

### Granulati chiari su base asfaltata

- Riflettanza solare dipendente dal colore ( $>0.60$  per colore bianco)
- Emissività termica elevata ( $>0.90$ )

### Piastrelle e pietre in lastra

- Riflettanza solare  $>0.70 \div 0.80$
- Emissività termica elevata  $>0.90$

### Tetti metallici (alluminio, rame, ecc.) verniciati chiari

- Riflettanza solare  $>0.70 \div 0.80$
- Emissività termica  $>0.60 \div 0.70$

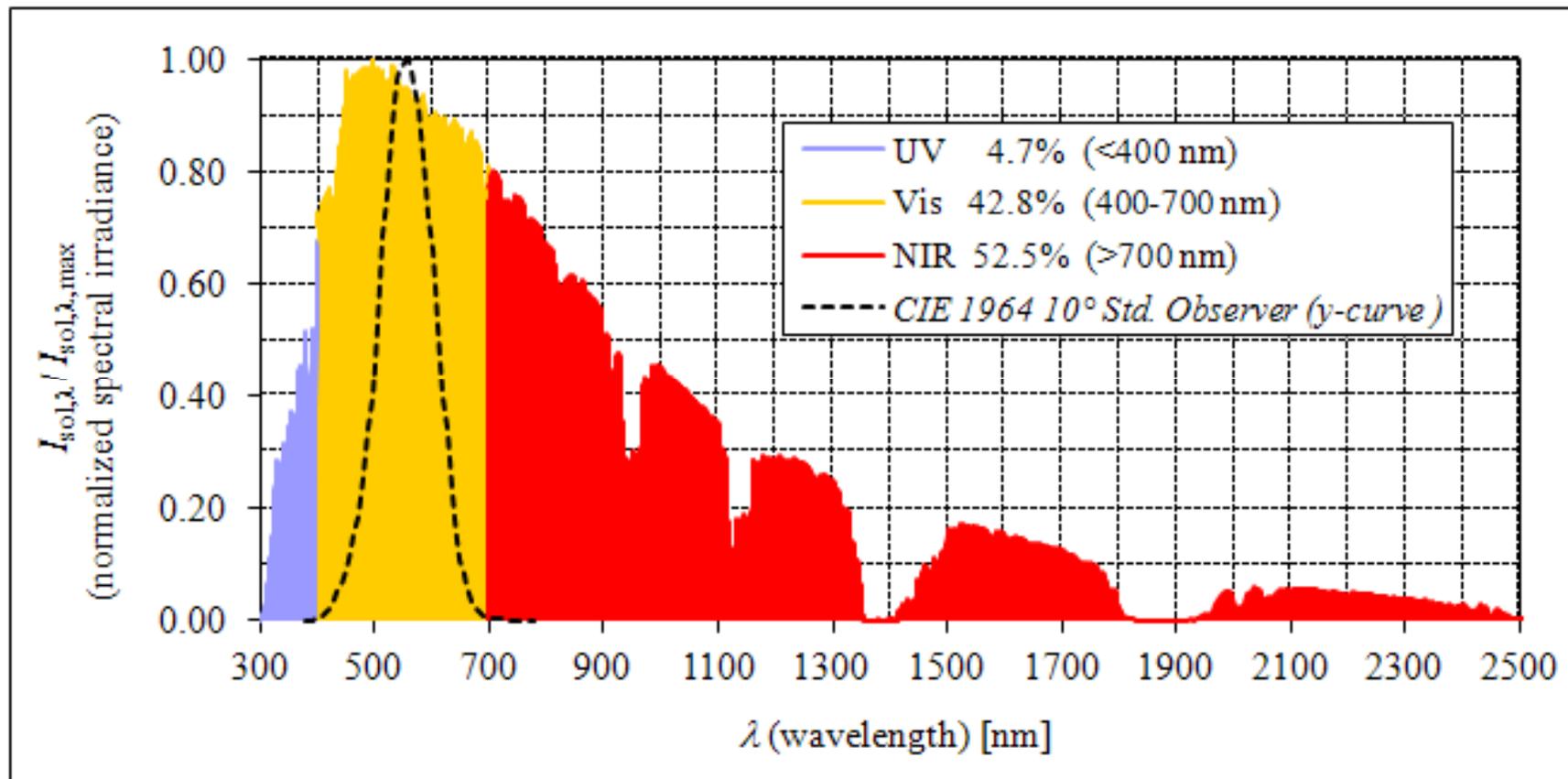
**Tegole** o **mattoni in terracotta rossa** hanno riflettanza  $\approx 0.30$ , emissività  $\approx 0.90$

Un **tetto catramato nero** presenta riflettanza  $< 0.10$ , emissività  $\approx 0.90$

## Cool Roofs: requisiti

Un cool roof deve presentare **contemporaneamente** riflettanza solare elevata ed emissività termica elevata.

- Una **riflettanza solare > 0.65** richiede di fatto una **colorazione visibile bianca**.



## Cool roofs: requisiti e studi sperimentali (EELab)

Un cool roof deve presentare **contemporaneamente** riflettanza solare elevata ed emissività termica elevata.

- Una **riflettanza solare > 0.65** richiede di fatto una **colorazione visibile bianca**

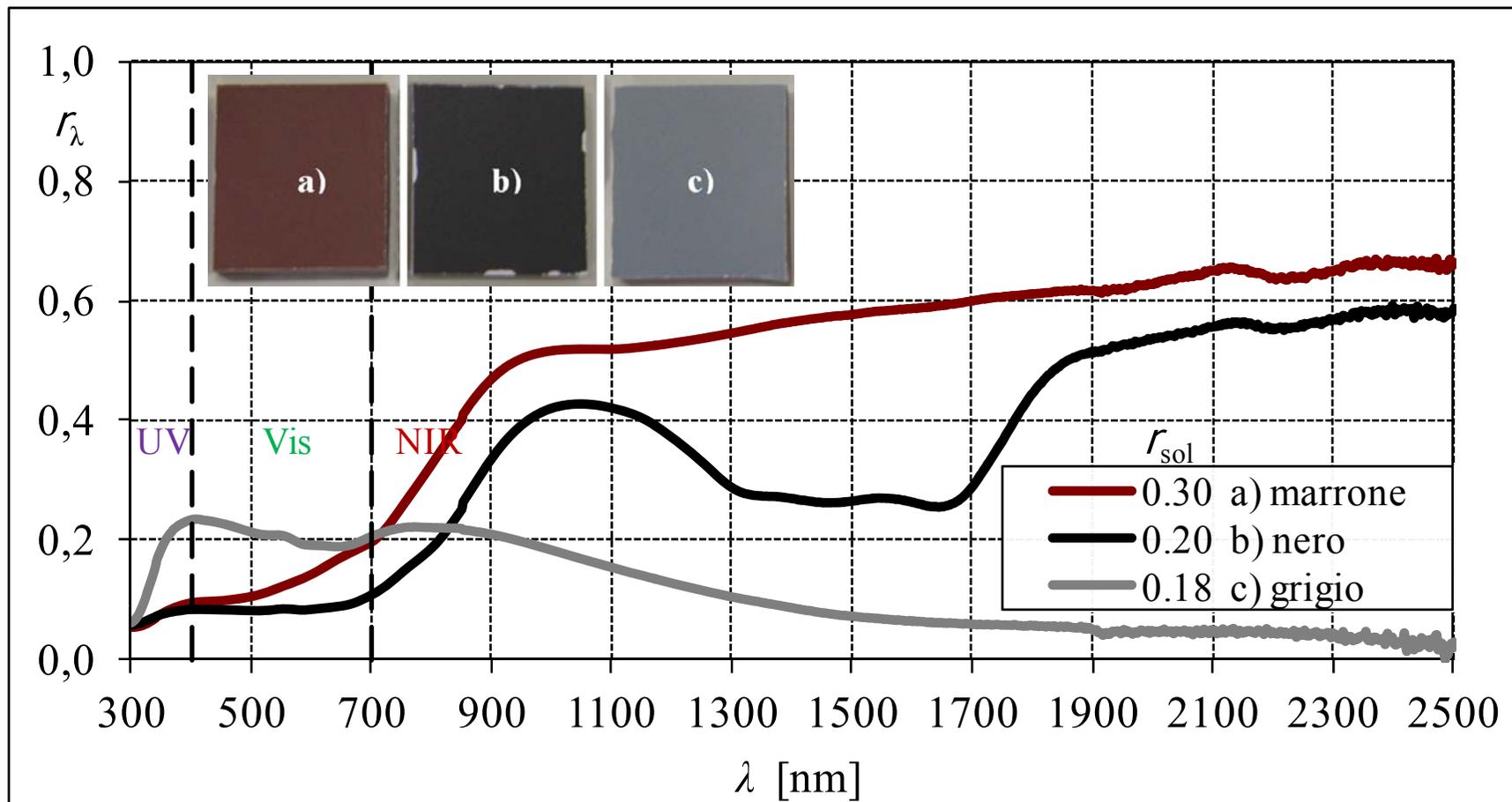
Si tratta tuttavia di una **condizione necessaria, ma non sufficiente!**

### Caso esemplificativo 1:

- Su più di un materiale di colore grigio chiaro (tendente al "bianco sporco") è stata rilevata una riflettanza solare < 0.25-0.30
- È stato invece caratterizzato un materiale di colore nero ("nero militare") con riflettanza solare = 0.29

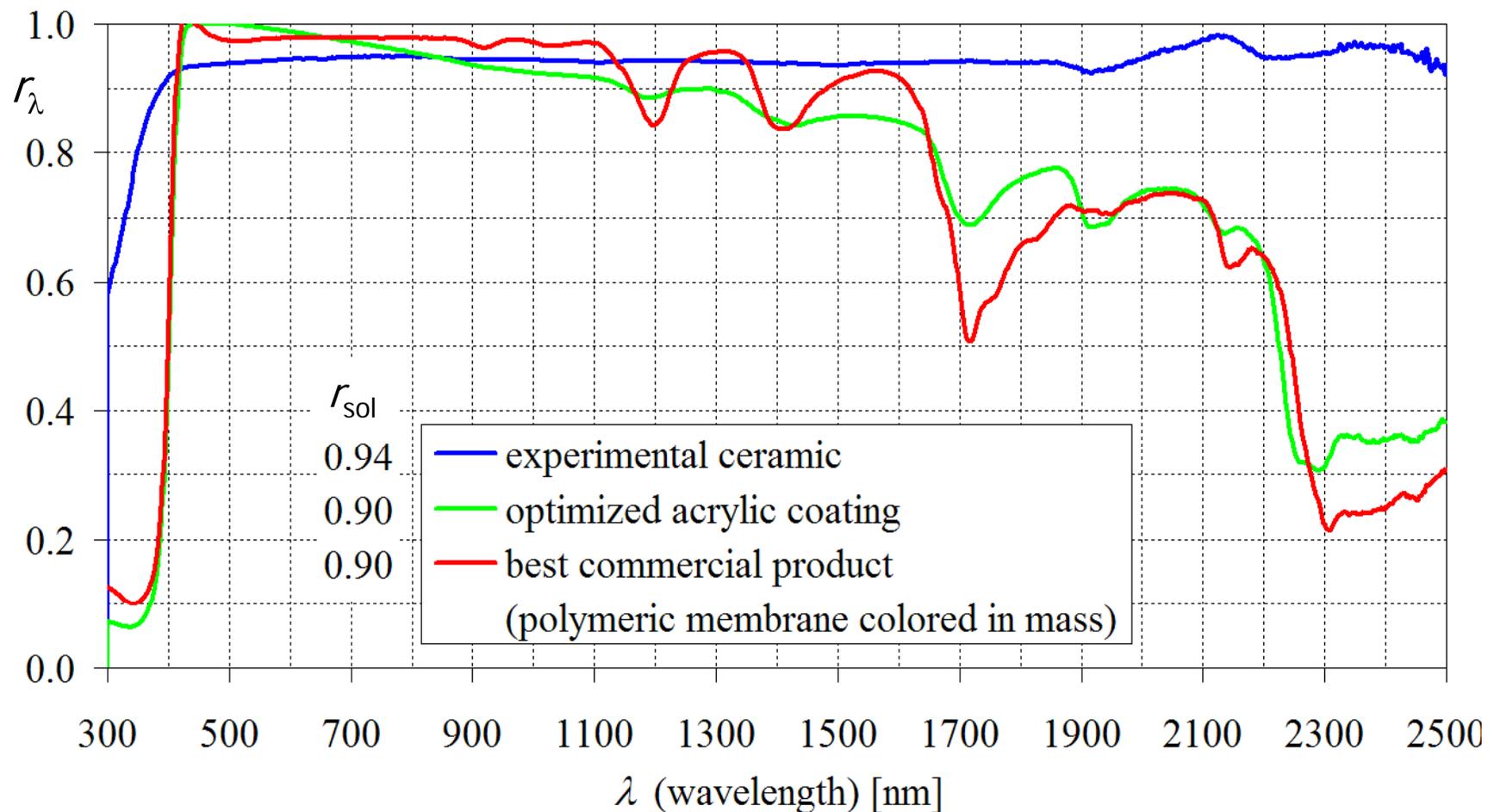
## Cool roofs: requisiti e studi sperimentali (EELab)

La diversa riflettanza solare di materiali con colorazione simile può derivare da **spettri di riflessione** molto diversi, specialmente nell'infrarosso.



## Cool roofs: requisiti e studi sperimentali (EELab)

La diversa riflettanza solare di materiali con colorazione simile può derivare da **spettri di riflessione** molto diversi, specialmente nell'infrarosso.



## Cool roofs: requisiti e studi sperimentali (EELab)

Un cool roof deve presentare **contemporaneamente** riflettanza solare elevata ed emissività termica elevata.

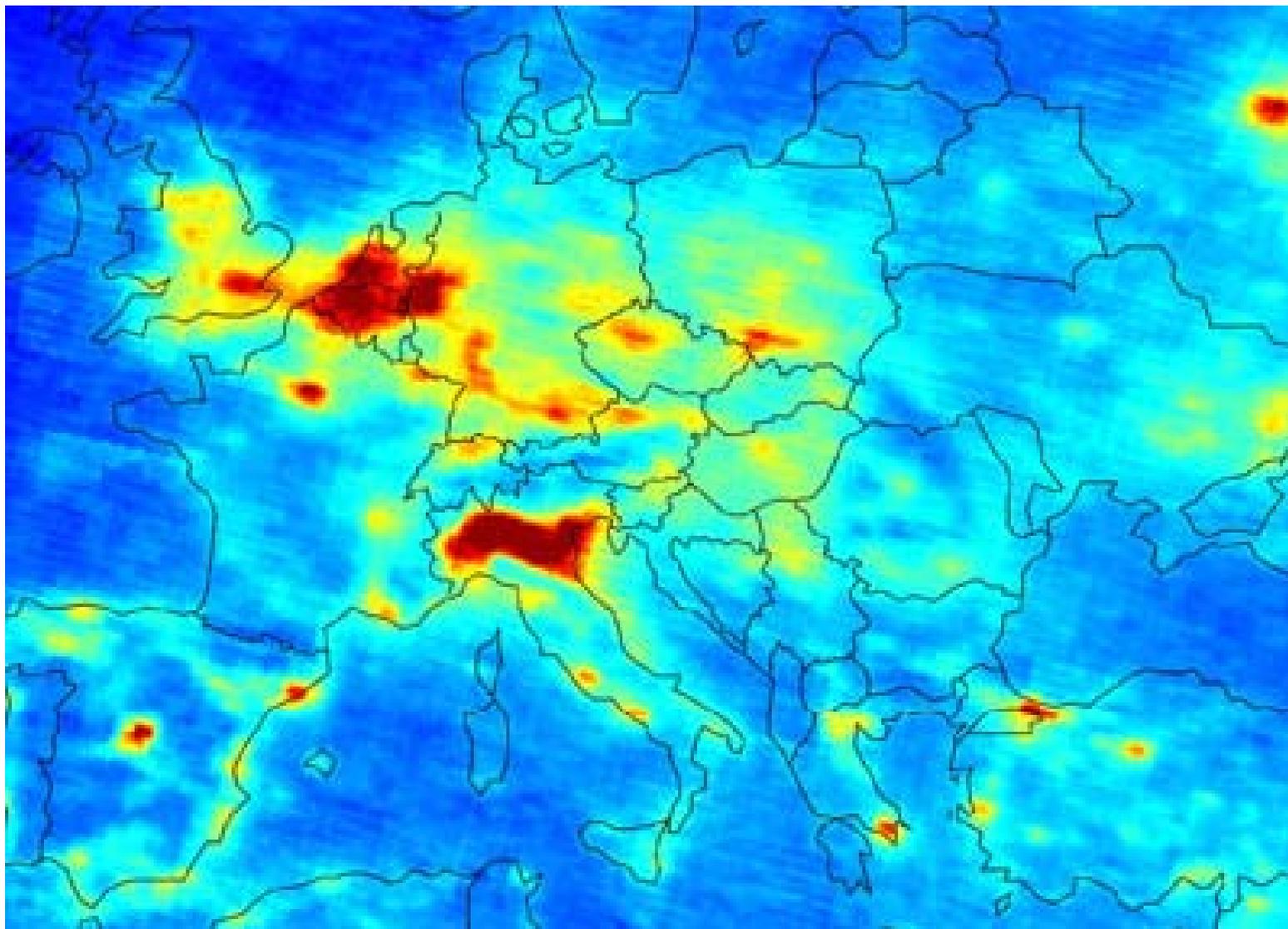
- Una **riflettanza solare**  $> 0.65$  richiede di fatto una **colorazione visibile bianca**
- Una **emissività termica**  $\approx 0.90$  richiede che la superficie abbia visivamente **carattere non metallico**

Anche in questo caso si tratta di una **condizione necessaria, ma non sufficiente!**

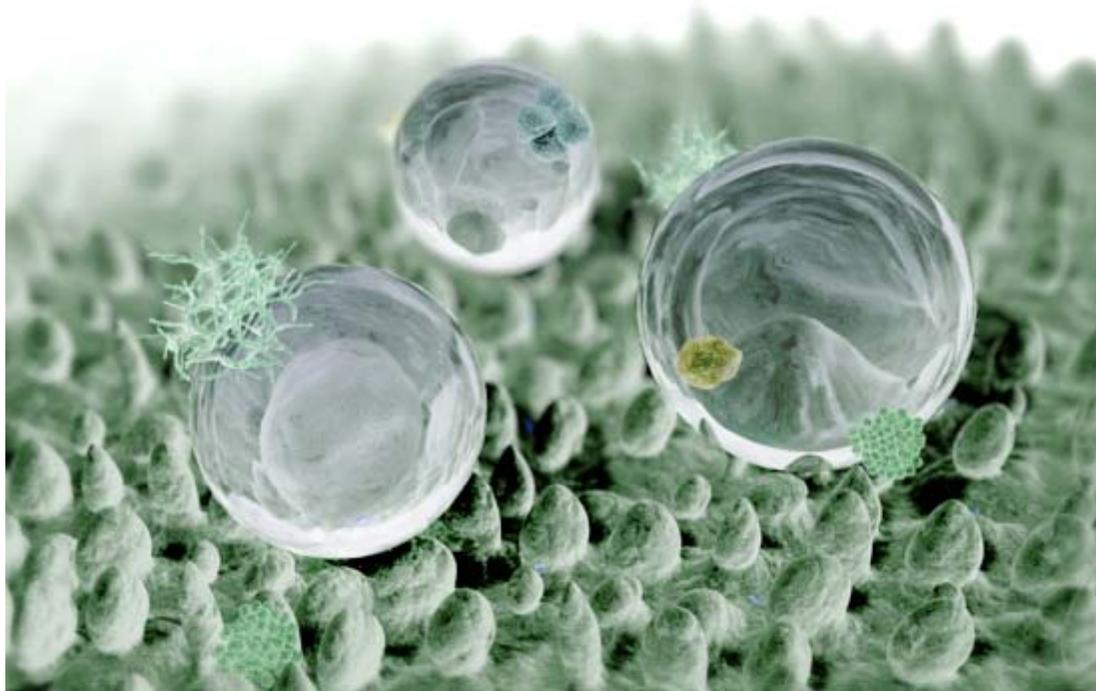
### Caso esemplificativo 2:

- Una guaina bituminosa plastica di colore bianco ha mostrato riflettanza solare  $> 0.70$ , ma emissività termica  $< 0.65$
- Si è riscontrata la presenza di un film di alluminio (di barriera al vapore o schermatura elettromagnetica) subito sotto il film bianco superficiale in materiale polimerico, che non presentava spessore sufficiente a mascherare completamente la sottostante superficie metallica

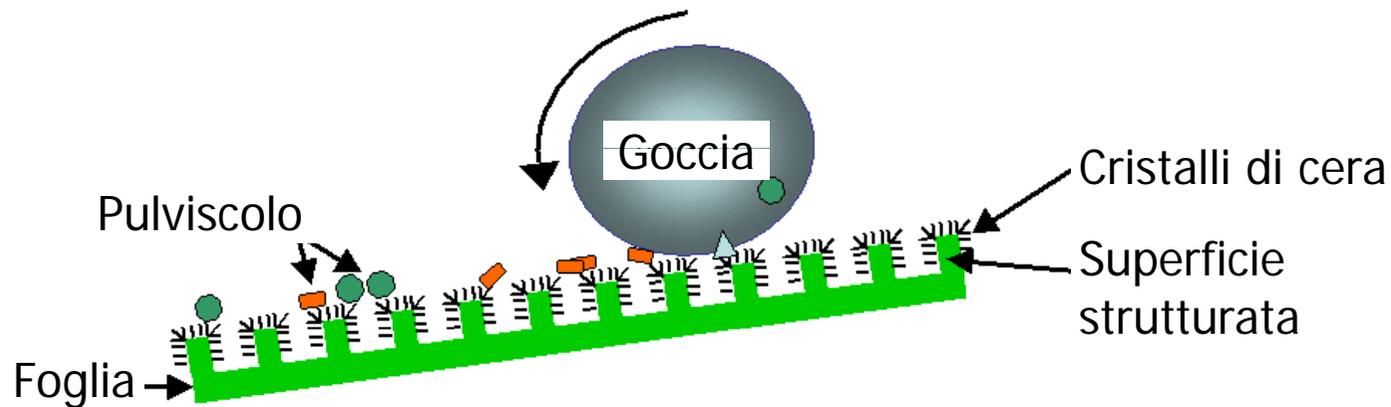
**Cool roofs: minori prestazioni per deposizione di inquinanti**



## Cool roofs: deposizione di inquinanti e superfici autopulenti



(Superidrofobicità: effetto "foglia di loto")



## Superfici non bianche: coperture a falde nella tradizione italiana

Gli edifici in Italia presentano tradizionalmente **tetti a falde inclinate ricoperti da coppi o tegole in terracotta**.

I sottotetti sono spesso abitati, soprattutto nei centri storici.

La combinazione della bassa riflessività alla radiazione solare, unita alla bassa inerzia termica delle coperture, fa del surriscaldamento estivo il maggiore problema per gli abitanti.

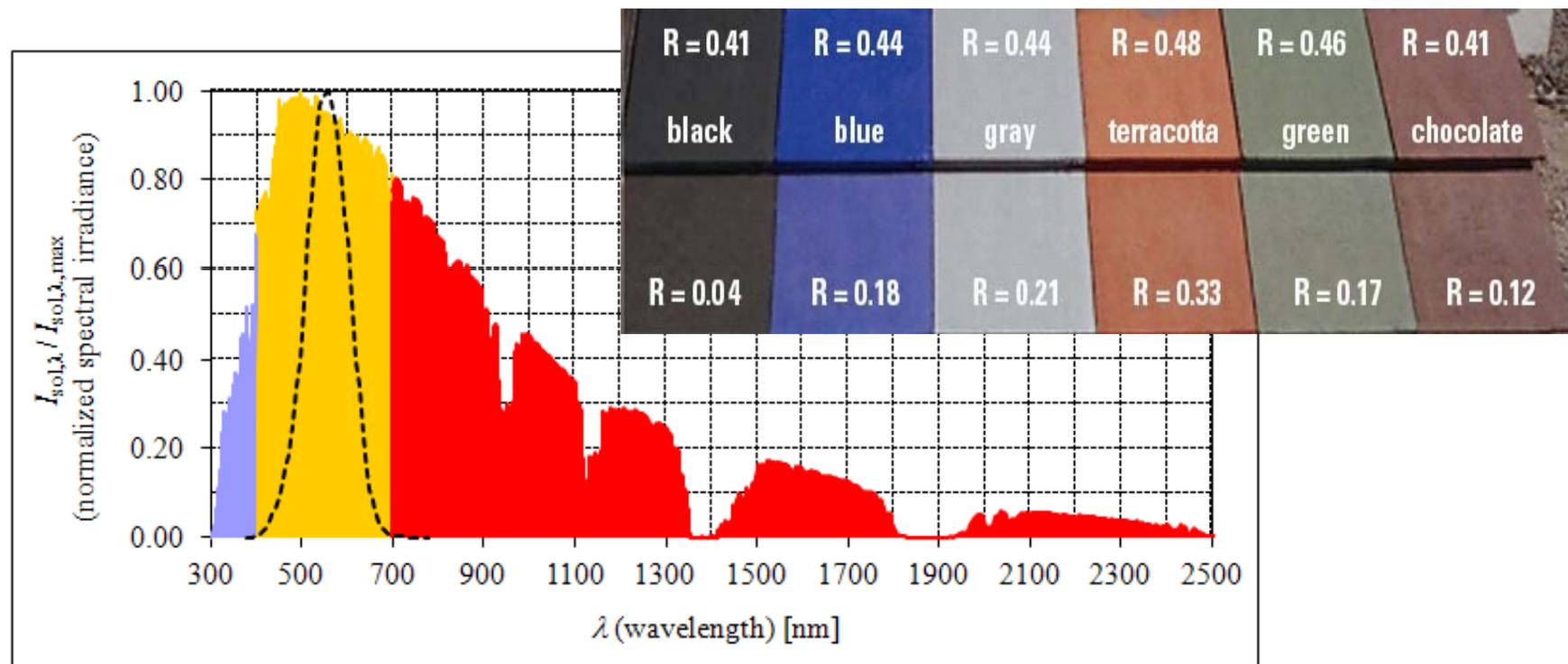
Nel contesto dell'edilizia tradizionale italiana, tuttavia, **una colorazione bianca o molto chiara delle coperture a falde non è generalmente accettabile**.



## Cool colors (colori freddi)

Si basano su pigmenti depositati su un substrato ad alta riflessività nella banda spettrale dell'infrarosso vicino, che conferiscono:

- Riflettanza solare **relativamente elevata** ( $>0.40 \div 0.50$  per colori tradizionali dell'edilizia come il rosso mattone o il grigio chiaro)
- **Emissività termica elevata** ( $>0.90$ )

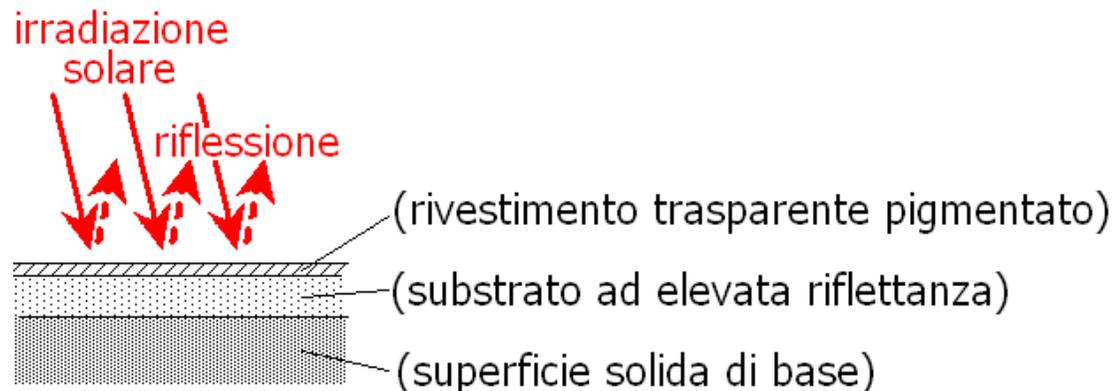


## Cool colors: studi sperimentali

Obiettivo specifico: trattamento *in situ* per coppi o tegole di coperture esistenti

Realizzazione:

- Supporto in terracotta
- Substrato riflettente alla radiazione solare
- Rivestimento acrilico trasparente nel NIR, pigmentato



La radiazione luminosa viene assorbita o riflessa dal pigmento e va a formare il colore, la restante parte della radiazione solare incidente passa attraverso il rivestimento esterno e incide sul substrato bianco, da cui viene a sua volta riflessa indietro nell'atmosfera.

## Cool roofs: requisiti

In sintesi, un cool roof deve presentare **contemporaneamente**:

- **Riflettanza solare** elevata
- **Emissività termica** nell'infrarosso elevata
- **Stabilità nel tempo** delle proprietà superficiali
- **Tendenza allo sporcamento** ridotta

La diffusione dei cool roofs e cool colors richiede tuttavia non soltanto il controllo e l'ottimizzazione della riflettanza solare e dell'emissività termica, ma anche:

- La verifica delle prestazioni mediante **metodologie di misura** affidabili, standardizzate e certificate.
- L'incentivazione a livello normativo, anche (e soprattutto) basata sull'**introduzione di requisiti minimi** in termini di riflettanza solare ed emissività termica

## Cool roofs: programmi di incentivazione e certificazione U.S.A.

### Energy Star Cool Roof Program

Possono fregiarsi del logo materiali per coperture edilizie orizzontali o poco inclinate con:

- riflettanza solare iniziale  $>0.65$
- riflettanza solare **dopo 3 anni**  $>0.50$
- emissività termica  $>0.80$



### Cool Roof Rating Council (CRRC)

- Organizzazione nata nel 1998 per sviluppare metodi di misura di riflessiva solare ed emissività termica dei prodotti per coperture edili
- Non prescrive valori minimi delle proprietà emissive, ma procedure per la loro determinazione
- La **procedura standard** prevede l'analisi di **campioni nuovi e dopo invecchiamento di 3 anni, installati in 3 località diverse** di cui almeno una in area metropolitana
- Le analisi sono svolte da **laboratori certificati e indipendenti**

	<u>Initial</u>	<u>Weathered</u>
<b>Solar Reflectance</b>	<b>0.00</b>	<b>Pending</b>
<b>Thermal Emittance</b>	<b>0.00</b>	<b>Pending</b>
Rated Product ID		XXXXXX
Licensed Manufacturer ID		XXXXXX
Classification		Production Line

SM

Cool Roof Rating Council ratings are determined for a fixed set of conditions, and may not be appropriate for determining seasonal energy performance. The actual effect of solar reflectance and thermal emittance on building performance may vary.

Manufacturer of product stipulates that these ratings were determined in accordance with the applicable Cool Roof Rating Council procedures.

## Cool roofs: programmi di certificazione nella U.E.

### European Cool Roof Council (ECRC)

Organizzazione fondata nel 2012 da enti di ricerca, industrie ed associazioni industriali per promuovere le soluzioni tipo cool roof in Europa e coordinare le procedure di misura e certificazione della riflettanza solare e dell'emissività termica dei prodotti per superfici edili rivolti al contesto europeo



Le procedure dell'ECRC sono al momento in corso di definizione.

## Analisi di proprietà termiche dei materiali e delle strutture

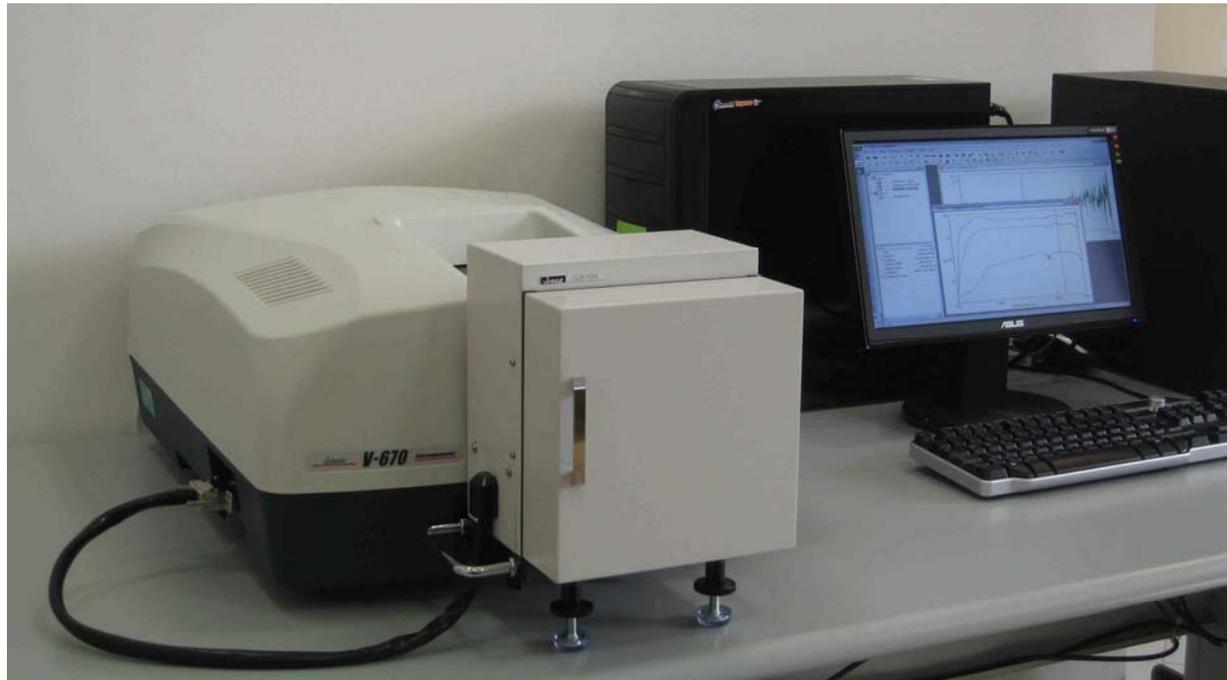


Il [Laboratorio EELab](#) dell'Università di Modena e Reggio Emilia esegue:

- Misure di [riflettanza solare](#) (ASTM E903) ed [emissività termica](#) (ASTM C1371)
- Calcolo di [parametri di prestazione termica estiva dell'involucro](#) ([SRI](#), indici di attenuazione e sfasamento, trasmittanza termica periodica, ecc.)
- Misure di [conduttività termica](#) (piastra calda con anello di guardia)
- Misure di [diffusività termica](#) (metodo di Angstroem)
- Misure di [trasmittanza termica](#) di pareti finite (metodo hot box), con Kerakoll
- [Simulazioni CFD](#), simulazioni 2D/3D di ponti termici, analisi dinamiche
- [Diagnosi energetica degli edifici](#), rilevazioni videotermografiche all'infrarosso
- Misure di [microclima](#) (WGBT, indici di Fanger, ecc.)
- [Blower door test](#) per tenuta all'aria dell'involucro edilizio

## Misure di riflettanza solare

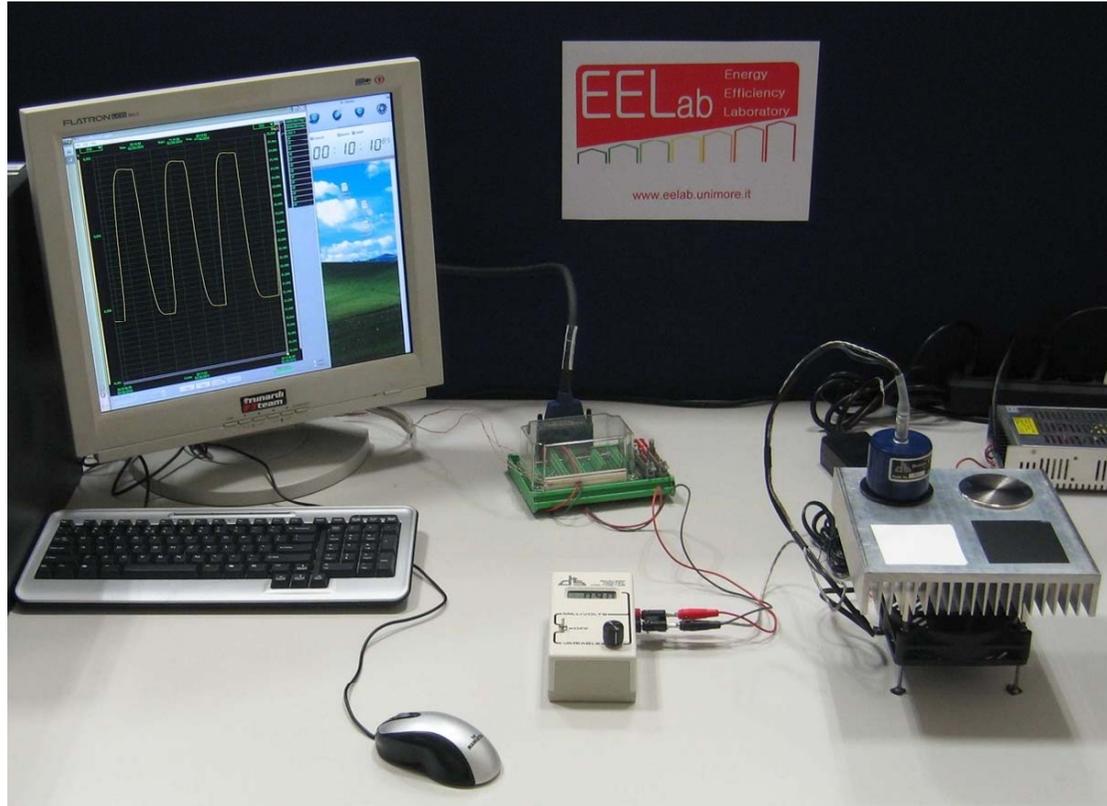
Viene utilizzato uno spettrofotometro UV-Vis-NIR, dotato di sfera integratrice ed operante nella banda spettrale da 280 a 2500 nm, in conformità all' **ASTM E903 Standard Test Method**



La **riflettanza solare**  $r_{sol}$  viene calcolata mediando la riflettività spettrale  $r_{\lambda}$  nella banda di interesse, pesandola sull'irradianza solare spettrale alla superficie terrestre  $I_{\lambda}$

$$r_{sol} = \frac{\int_{280}^{2500} r_{\lambda} \cdot I_{sol,\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{280}^{2500} I_{sol,\lambda} \cdot d\lambda}$$

## Misure di emissività termica



Viene utilizzato un **emissometro** conforme all' **ASTM C1371 Standard Test Method**.

L'**emissività termica**  $e_{ter}$  viene misurata per comparazione diretta con due campioni, uno bassoemissivo e l'altro altoemissivo



## Conclusioni

- Il surriscaldamento estivo sia dei singoli edifici, sia delle aree urbane, dipende essenzialmente dagli **apporti solari**
- Il **controllo degli apporti solari** è necessario soprattutto per gli **elementi opachi** dell'involucro edilizio e può essere ottenuto attraverso **cool roofs** e **cool colors**
- La **realizzazione di cool roofs e cool colors** richiede il controllo della **riflettanza solare e dell'emissività termica**, che devono essere verificate mediante **misure standardizzate e certificate**.
- Recentemente, è stato strutturato un laboratorio (EELab) completamente **attrezzato**, tra le altre cose, per **misure di emissività termica e di riflettanza solare**, eseguite in conformità ai migliori standard di misura
- Sono stati già avviati svariati studi sperimentali con aziende italiane ed estere, aventi per obiettivi la **misura e l'ottimizzazione delle proprietà radiative**, lo **sviluppo di materiali e elementi prefabbricati per cool roofs**
- È stata avviata la sperimentazione di **cool colors che replichino i colori tradizionali dell'architettura italiana**, ad esempio il terracotta tipico delle coperture a falde in coppi o tegole



*Università di Modena e Reggio Emilia*

DIEF – Dip. di Ingegneria “Enzo Ferrari”  
EELab – Laboratorio per l’Efficienza Energetica

***GRAZIE PER  
L’ATTENZIONE***