



SVILUPPO DELL'OFFERTA DI PRODOTTI PER COOL ROOFS NELLE ESPERIENZE EELab

Dott. Ing. Alberto Muscio

DIMeC – Dip. di Ingegneria Meccanica e Civile, Univ. di Modena e Reggio E.
EELab – Laboratorio per l'Efficienza Energetica

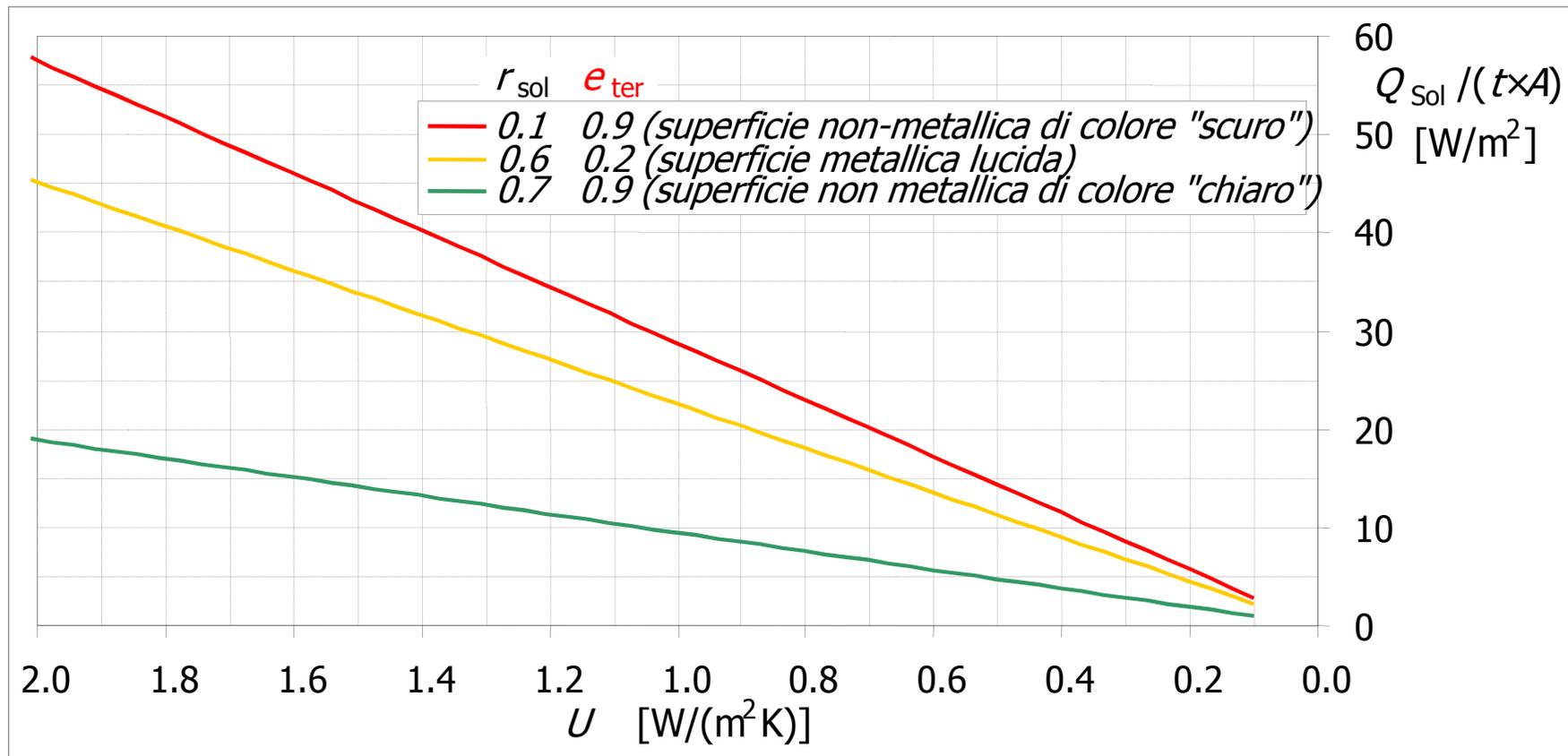
Apporti solari estivi, riflettanza solare ed emissività termica

In definitiva, gli apporti solari attraverso gli elementi opachi dell'involucro dipendono, oltre che dalle condizioni meteorologiche del sito (irradianza solare media giornaliera, temperatura ambiente, velocità del vento) e dall'ombreggiamento della parete, dalla riflettanza solare e dall'emissività termica:

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

Apporti solari estivi, riflettanza solare ed emissività termica

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



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

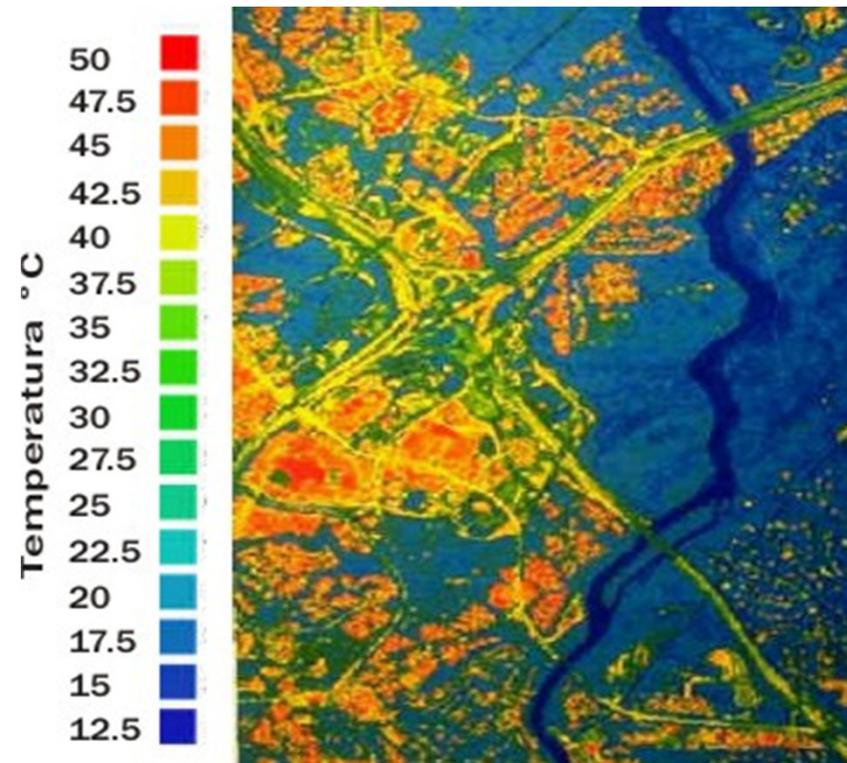
Cool roofs (tetti freddi)

Nella terminologia tecnica U.S.A., 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



Cool roofs: programmi di incentivazione e certificazione

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>
Solar Reflectance	0.00	Pending
Thermal Emittance	0.00	Pending
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.

Regione Emilia-Romagna, D.G.R. 26 settembre 2011, n. 1366

(Proposta di modifica della Parte seconda – Allegati – della D.A.L. 156/2008)

Allegato 2 - Disposizioni in materia di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli impianti

[...]

Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale o di trasmittanza termica periodica delle pareti opache previsti alla lettera b), possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare.

Analogamente, possono essere adottate soluzioni idonee a ridurre il carico termico di pareti e coperture (cool roof), mediante l'utilizzo di materiali (quali intonaci, vernici, guaine, lastricati solari) con riflettanza solare uguale o superiore a 0,65.

Rispetto al passato, l'innovazione normativa è già degna di nota.
Tuttavia, si fa implicitamente riferimento alle proprietà a nuovo,
ancora non si parla di **materiali invecchiati**

Analisi di proprietà termiche dei materiali e delle strutture

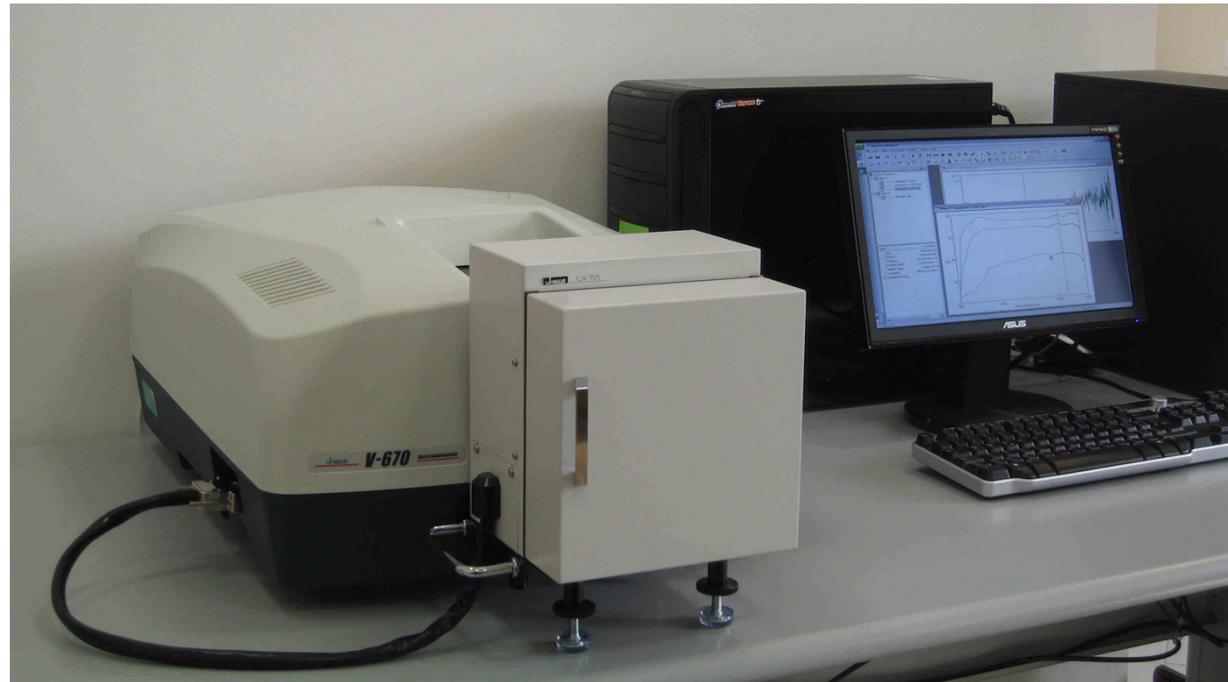


Il Laboratorio EELab esegue:

- 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

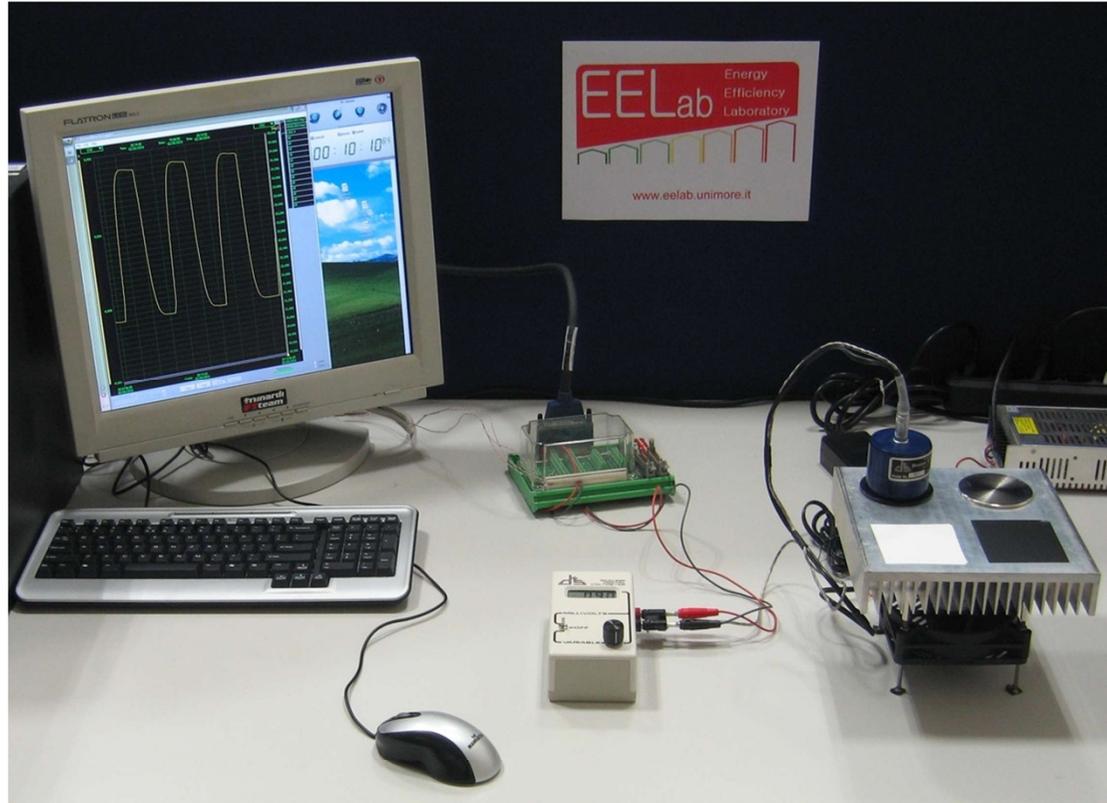
Viene utilizzato uno spettrofotometro UV-Vis-NIR, dotato di sfera integratrice ed operante nella banda spettrale da 280 a 2500 nm, in conformità all' **ASTM E903 Standard Test Method**



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

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

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



Soluzioni per cool roof: offerta commerciale

Membrane polimeriche bituminose e non

- r_{sol} dipendente dal colore (>0.70 per colore bianco)
- e_{ter} elevata (>0.90)

Granulati chiari su base asfaltata

- r_{sol} dipendente dal colore (>0.60 per colore bianco)
- e_{ter} elevata (>0.90)

Piastrelle e pietre in lastra

- $r_{sol} >0.70 \div 0.80$
- e_{ter} elevata >0.90

Verniciatura delle superfici

- r_{sol} dipendente dal colore ($>0.80 \div 0.90$ per colore bianco)
- e_{ter} influenzata dal materiale di base ($0.50 \div 0.90$)
- (Problemi di adesione al materiale di base e di durata)

Tetti metallici (alluminio, rame, ecc.) verniciati chiari a forno

- $r_{sol} >0.70 \div 0.80$
- $e_{ter} >0.60 \div 0.70$

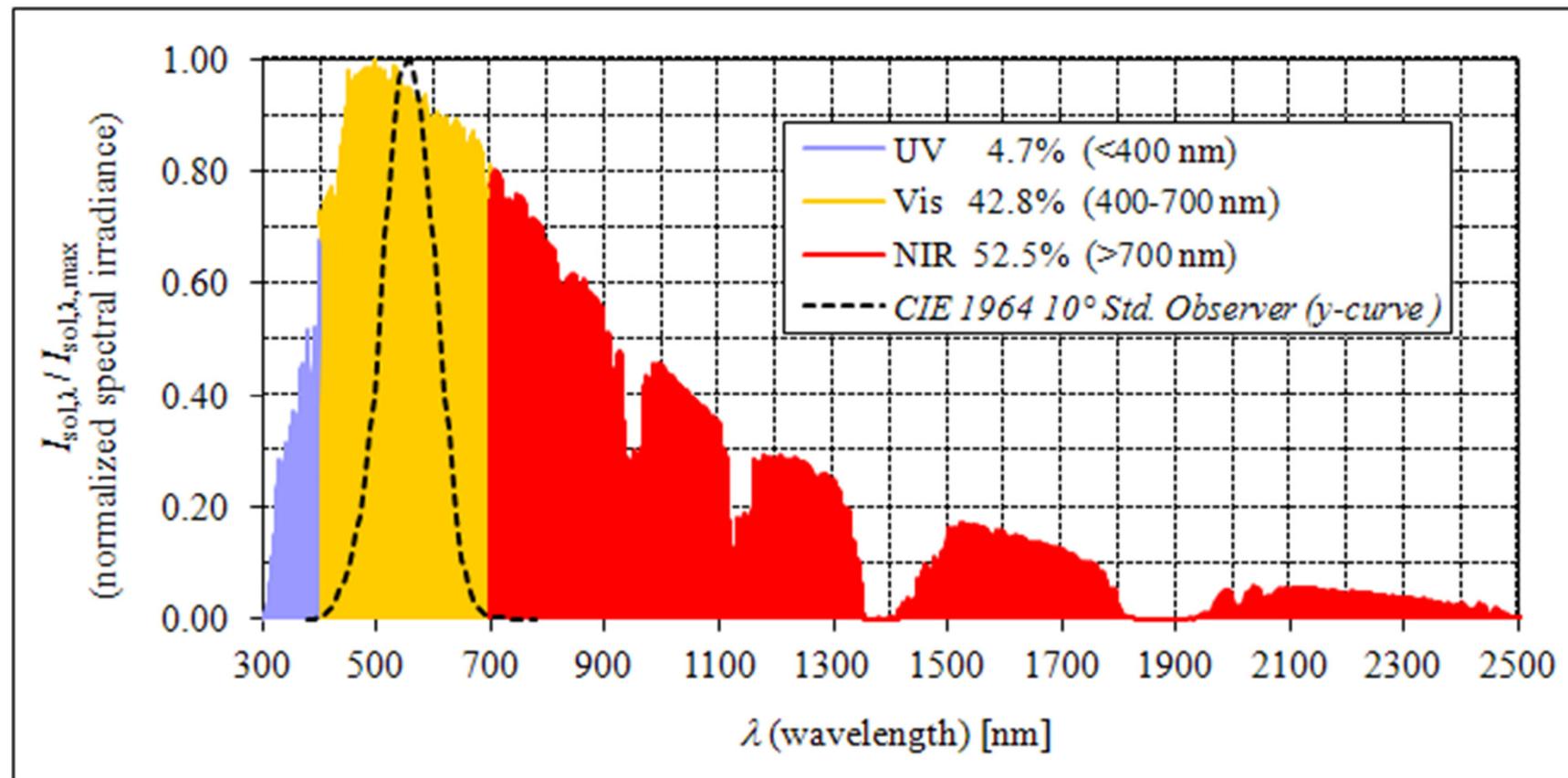
Tegole o mattoni in terracotta rossa hanno $r_{sol} \approx 0.30$, $e_{ter} \approx 0.90$

Un **tetto catramato nero** presenta $r_{sol} < 0.10$, $e_{ter} \approx 0.90$

Concetti generali

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

- Una **riflettanza solare** $r_{sol} > 0.65$ richiede una **colorazione visibile bianca**.



Concetti generali

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

- Una **riflettanza solare** $r_{sol} > 0.65$ richiede una **colorazione bianca**

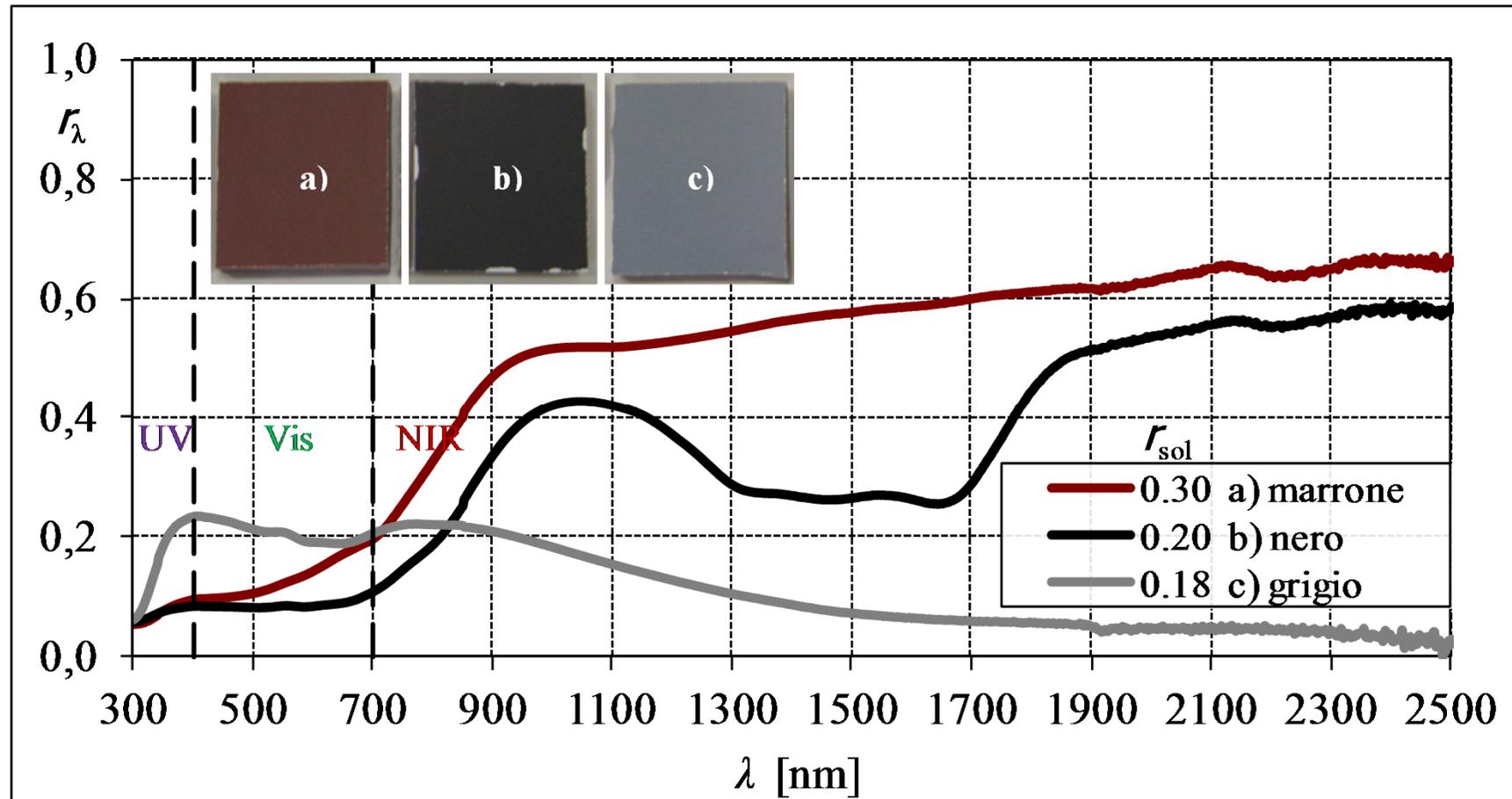
Si tratta tuttavia di una **condizione necessaria, ma non sufficiente**

Caso esemplificativo 1:

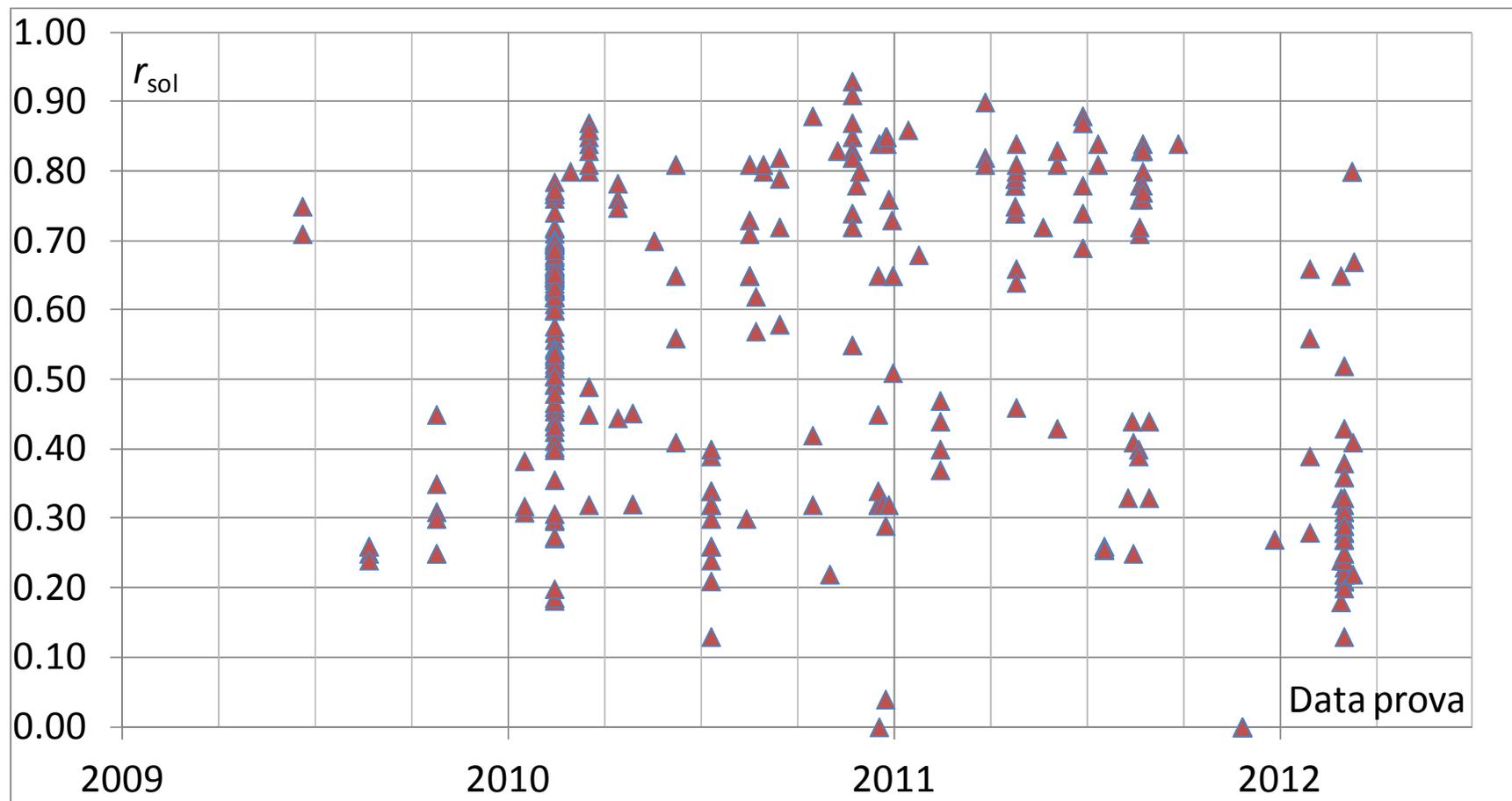
- Su più di un materiale di colore grigio chiaro (tendente al "bianco sporco") è stata rilevata una riflettanza solare $< 0.25 \div 0.30$
- È stato caratterizzato un materiale di colore nero ("nero militare") con riflettanza solare = 0.29

Cool roofs: studi sperimentali (EELab)

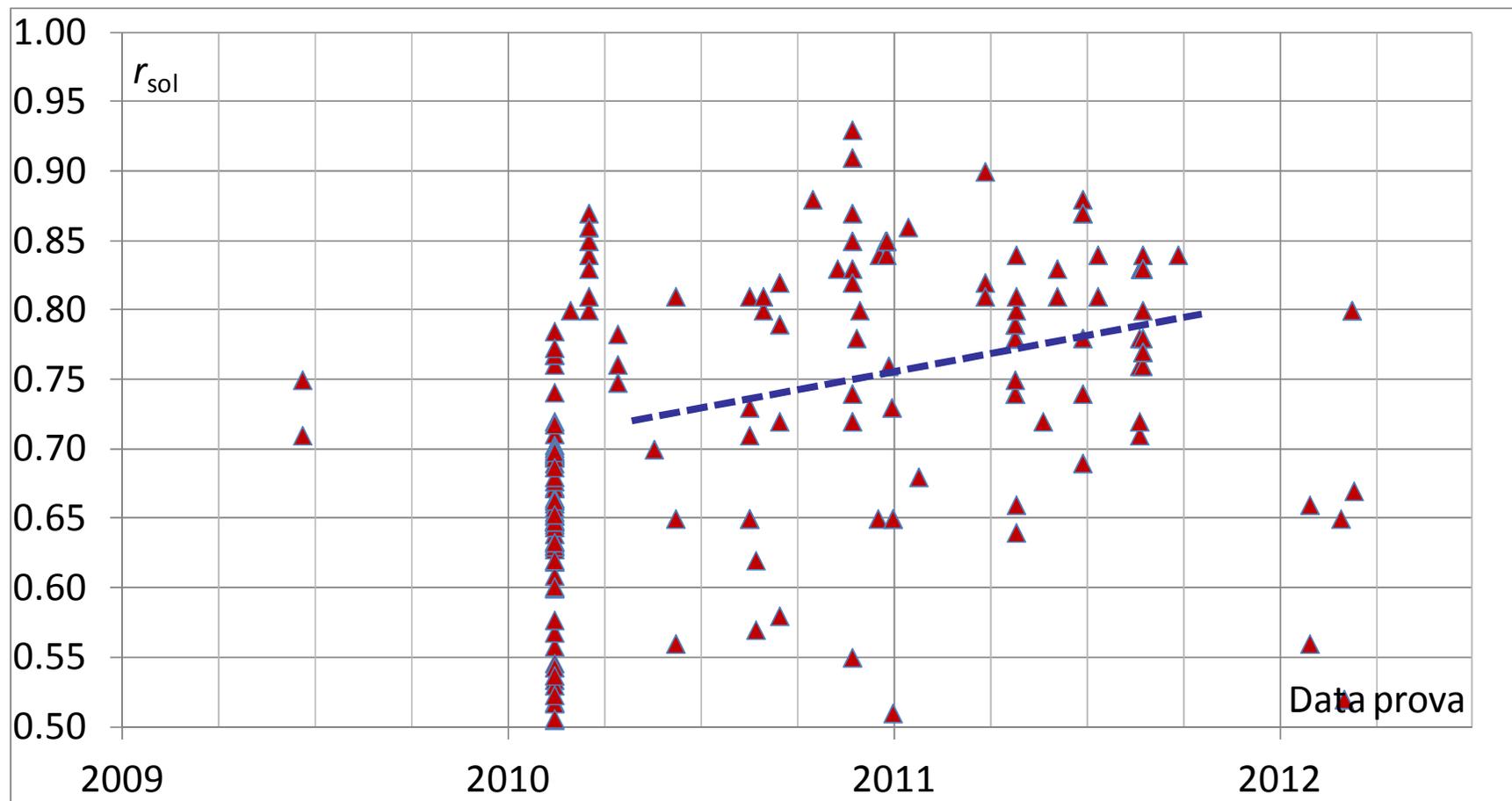
Materiali con colorazione simile possono mostrare spettri di riflessione e riflettanza solare molto diversi.



Quadro di sintesi analisi su commessa esterna: riflettanza solare

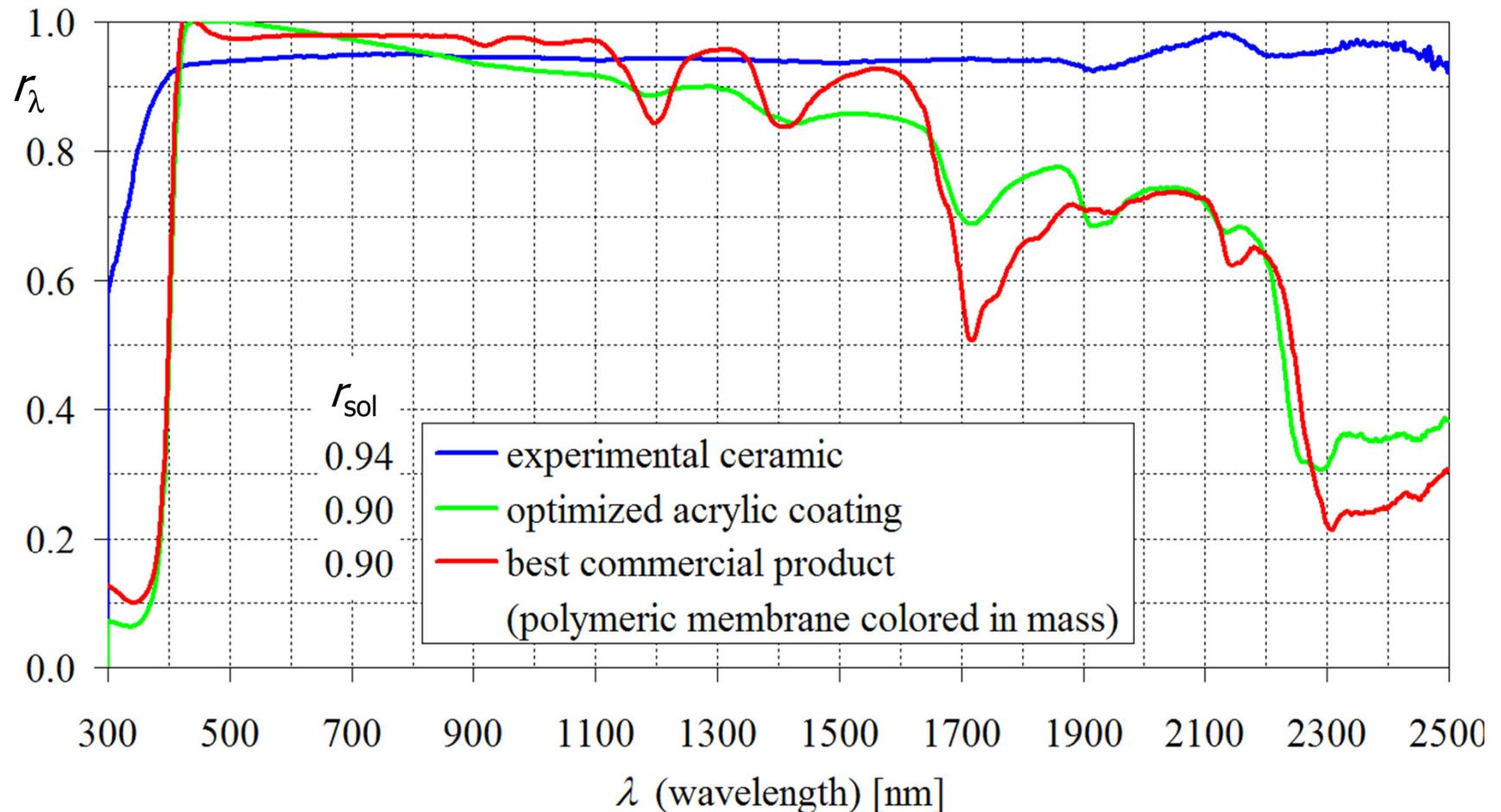


Quadro di sintesi analisi su commessa esterna: riflettanza solare



Cool roofs: studi sperimentali (EELab)

Materiali con colorazione simile possono mostrare spettri di riflessione e riflettanza solare molto diversi.



Concetti generali

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

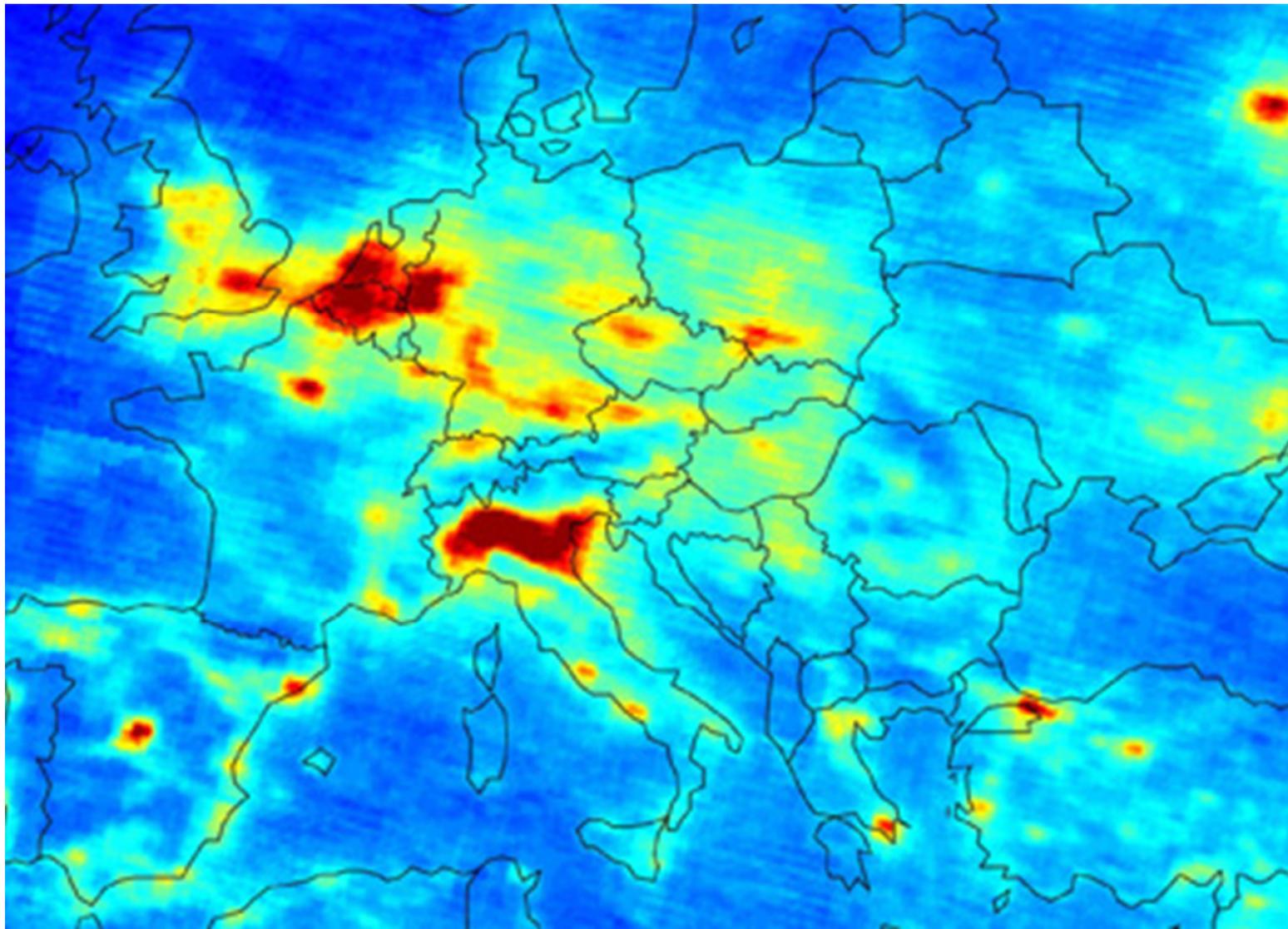
- Una **riflettanza solare** $r_{sol} > 0.65$ richiede una **colorazione bianca**
- Una **emissività termica** $e_{ter} \approx 0.90$ richiede che la superficie abbia visivamente **carattere non metallico**

Si tratta ancora di una **condizione necessaria, ma non sufficiente**

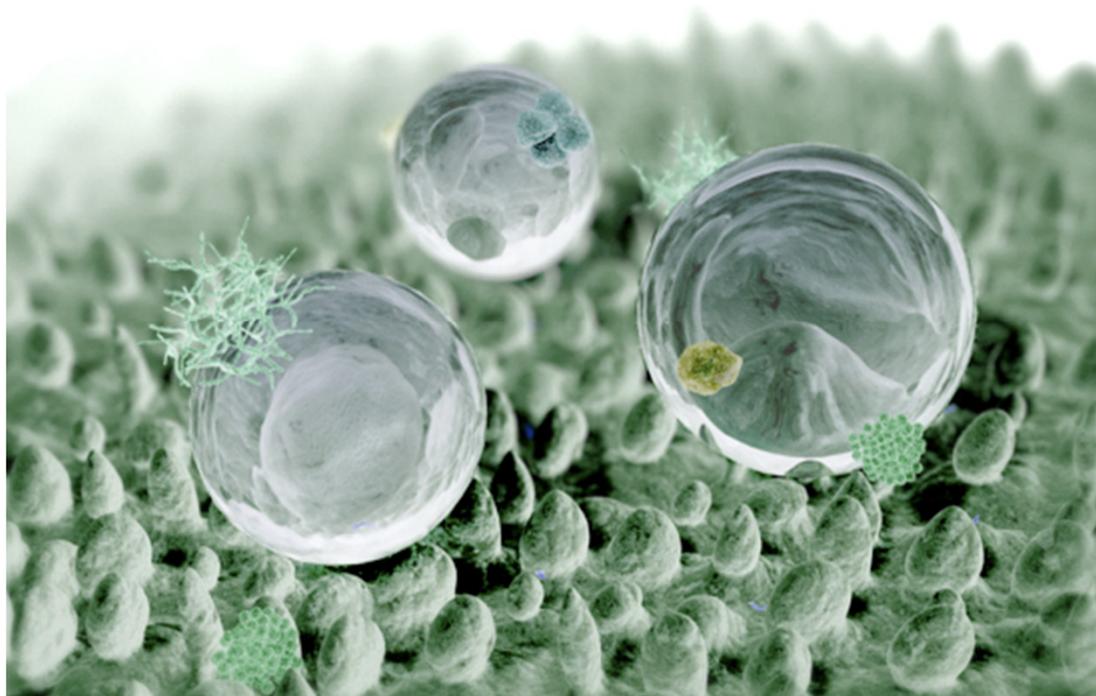
Caso esemplificativo 2:

- 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 (per 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

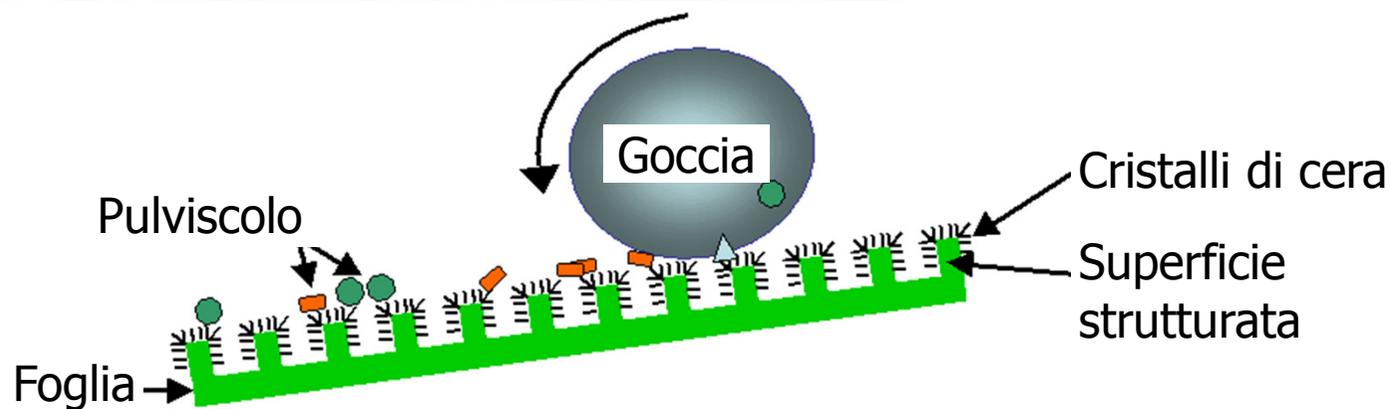
Sporcamento: concentrazione di inquinanti (particolato, ecc.)



Superfici autopulenti: superidrofobicità



(Effetto foglia di loto)



Cool colors: 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.

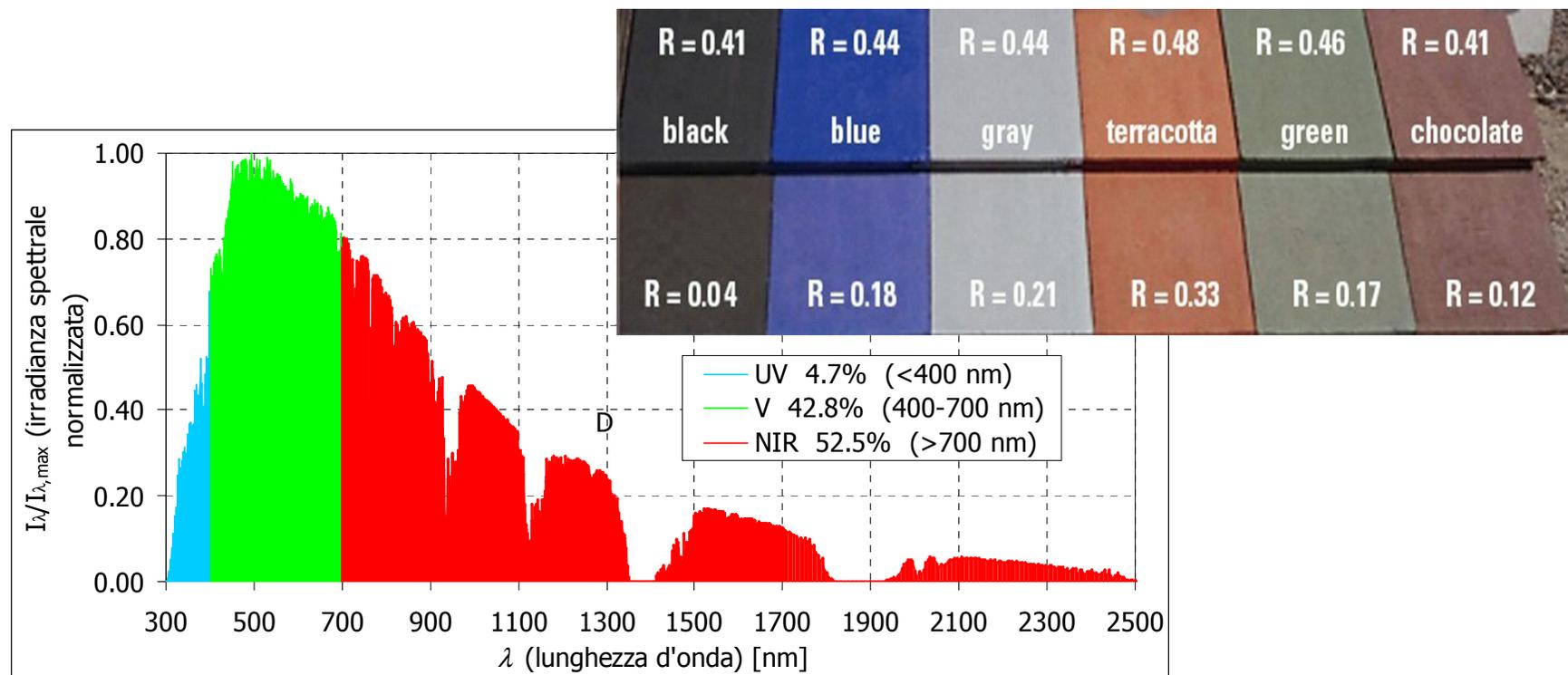
Nel contesto dell'edilizia tradizionale italiana, tuttavia, una colorazione bianca o molto chiara delle coperture a falde non è generalmente accettabile.



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)

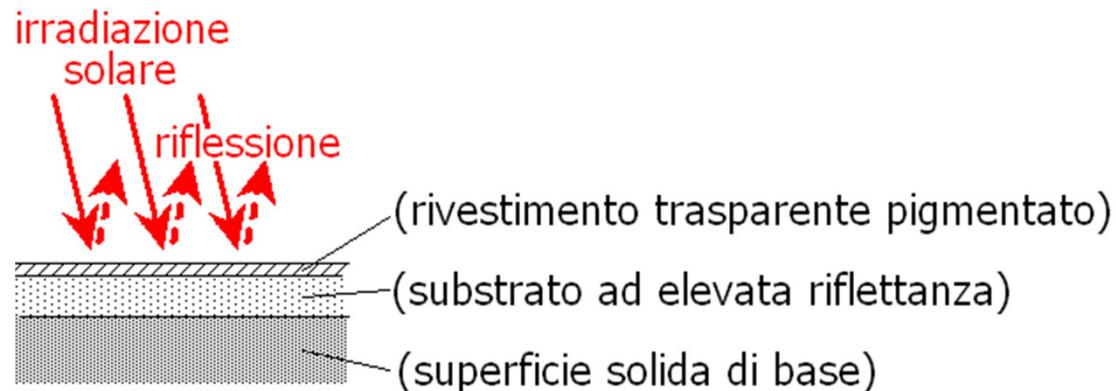


Cool colors: studi sperimentali (EELab)

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

Realizzazione:

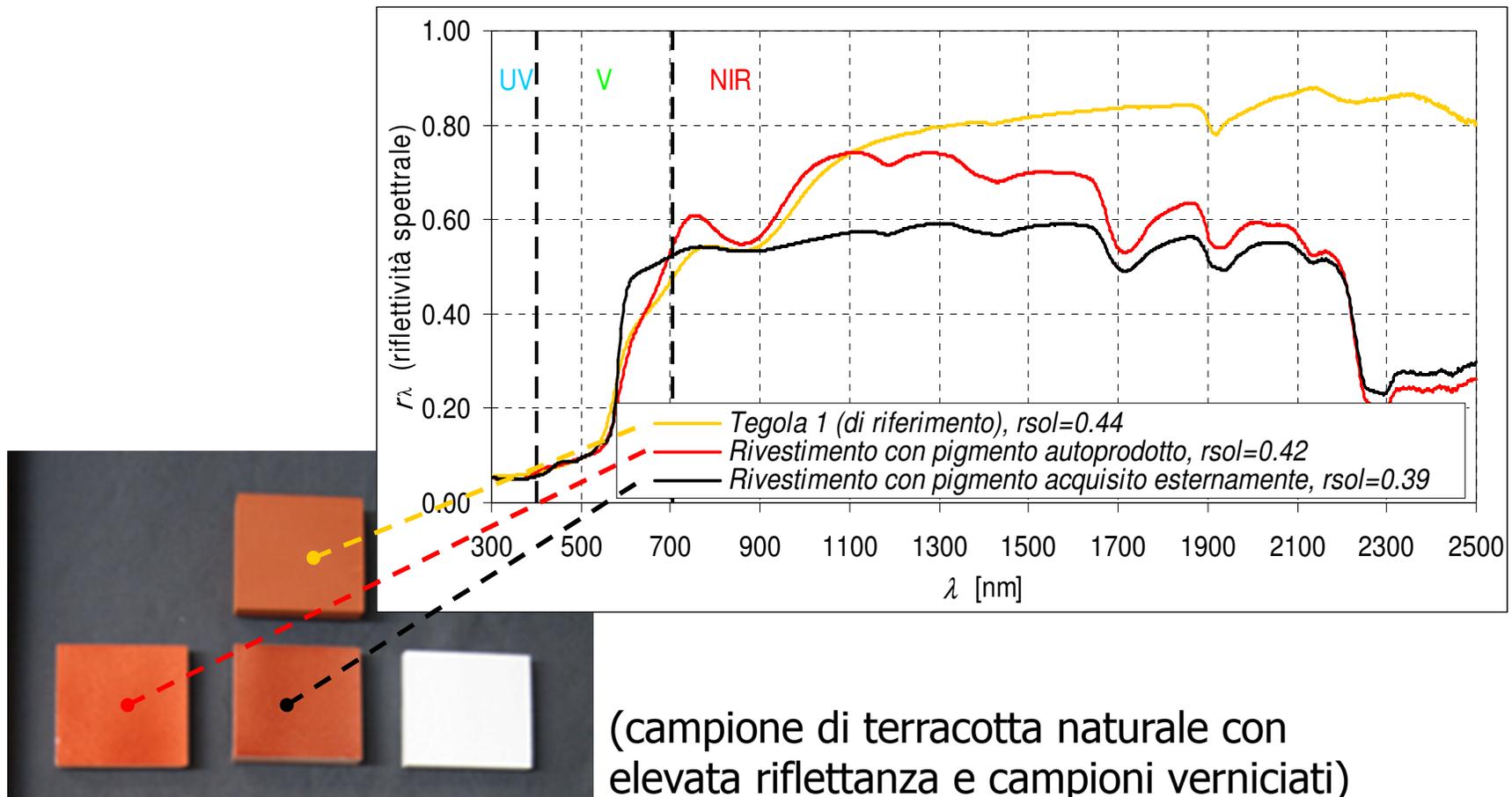
- Supporto in terracotta
- Substrato riflettente alla radiazione solare
- Rivestimento acrilico trasparente nel NIR, pigmentato



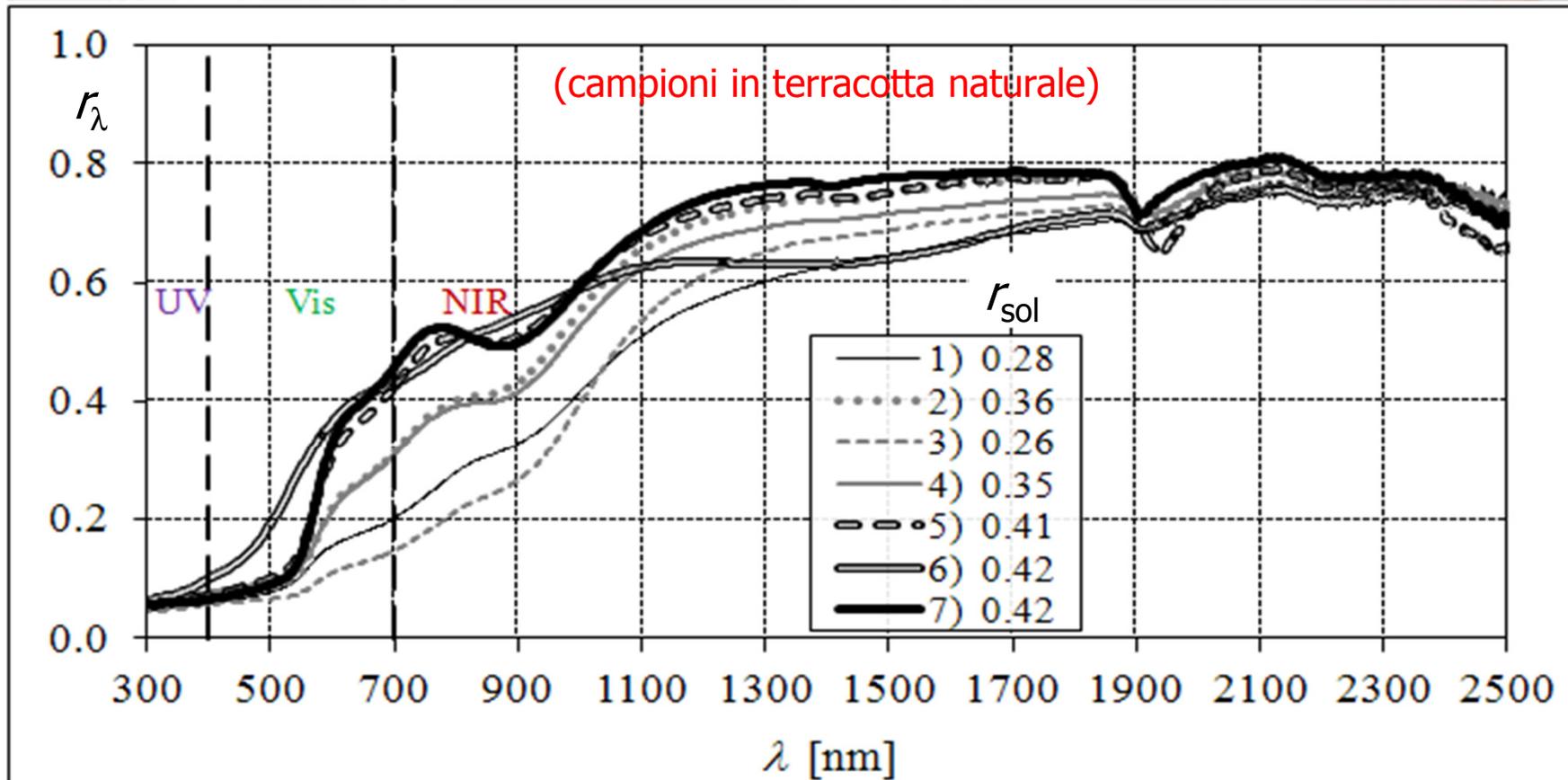
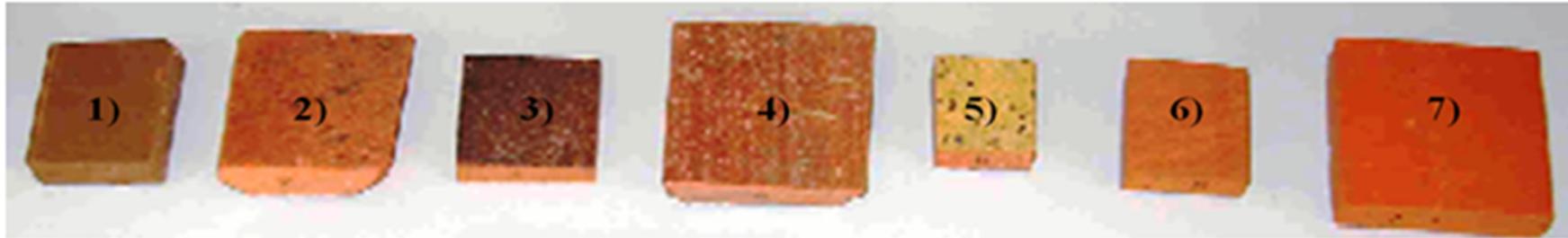
La radiazione luminosa viene assorbita o riflessa dal pigmento e va a formare il colore, la restante parte della radiazione solare incidente passa attraverso il rivestimento esterno e incide sul substrato bianco, da cui viene a sua volta riflessa indietro nell'atmosfera.

Cool colors: studi sperimentali (EELab)

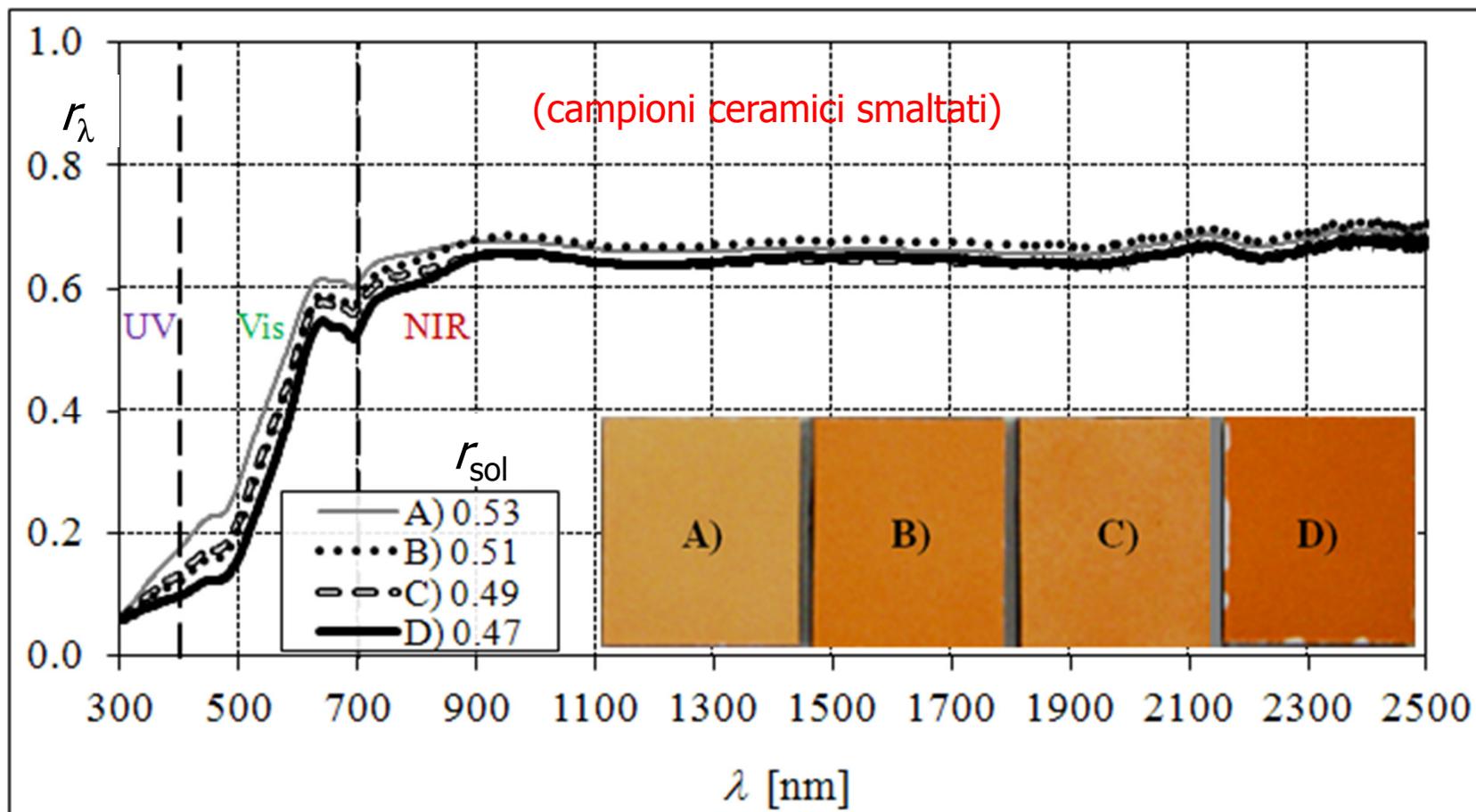
Materiali con colorazione simile possono mostrare spettri di riflessione, riflettanza solare e SRI molto diversi.



Cool colors: studi sperimentali (EELab)



Cool colors: studi sperimentali (EELab)



Conclusioni

- La normativa italiana comincia a recepire l'impatto dei fabbisogni energetici per condizionamento estivo, che dipendono principalmente dagli apporti solari
- Il controllo degli apporti solari può essere ottenuto lavorando sull'involucro edilizio piuttosto che sugli impianti di condizionamento, in particolare intervenendo sugli elementi opachi dell'involucro attraverso l'adozione di cool roofs e cool colors
- Recentemente, è stato strutturato un laboratorio (EELab) completamente attrezzato, tra le altre cose, per misure di emissività termica, misure di riflettanza solare e valutazioni di SRI, eseguite in conformità ai migliori standard di misura richiamati dalla normativa di riferimento (CRRC/ASTM) e dai programmi di incentivazione (LEED, EnergyStar, ecc.)
- 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
- E' 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

Prospettive

- Le esigenze comunitarie di riduzione dei fabbisogni energetici porteranno verosimilmente ad una **progressiva esposizione e limitazione dei fabbisogni estivi**
- La verifica quantitativa dei fabbisogni richiede la **conoscenza precisa delle proprietà radiative superficiali**, sia **a nuovo** che **dopo invecchiamento**
- Per disciplinare le procedure di verifica è stata recentissimamente formalizzata (gennaio 2012) la costituzione dell'**European Cool Roof Council (ECRC)**



- Oltre alle **procedure di misura**, per le quali un possibile quadro di riferimento sarà proposto dall'ECRC, si dovranno disciplinare le **procedure di invecchiamento dei campioni**
- L'**invecchiamento in atmosfera** richiederà la disponibilità di "test farms"
- Un eventuale **invecchiamento accelerato in laboratorio** richiederà lo sviluppo di specifiche procedure



Università di Modena e Reggio Emilia

DIMeC – Dip. di Ingegneria Meccanica e Civile
EELab – Laboratorio per l'Efficienza Energetica

***GRAZIE PER
L'ATTENZIONE***