Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari
Università di Modena e Reggio Emilia

Oggetto:	Misure di riflettanza solare, emissività termica e Solar Reflectance Index – Report
Responsabile:	Alberto Muscio – Antonio Libbra
Committente:	MAD Ecoimpermeabilizzazioni
Denominazione Campione:	INOPAZ H2O
Documento di incarico:	Ordine inviato da Paolo Maddaloni
Note:	Report rev. 1
Data di emissione:	12/05/2013

1. Attività svolte

Le attività svolte hanno avuto per obiettivo la caratterizzazione di campioni di membrana impermeabilizzante, fornitici dalla ditta MAD Ecoimpermeabilizzazioni, Via Vallini 16, 24040 Stezzano (BG), Italia.

Le analisi sperimentali sono state svolte su campioni forniti dal Committente e si sono articolate nei seguenti punti:

- Misura della riflettanza solare sulla superficie normalmente esposta all'atmosfera dei campioni in esame, effettuata in conformità all'ASTM Standard E903 tramite spettrofotometro UV-Vis-NIR; in particolare, è stata rilevata nella banda interessata dall'irradiazione solare la riflettività spettrale, della quale si è poi valutato il valor medio pesato sulle caratteristiche spettrali della radiazione solare alla superficie terrestre.
- Misura dell'emissività termica sulla superficie normalmente esposta all'atmosfera dei campioni in esame, effettuata in conformità all'ASTM Standard C1371 tramite emissometro IR.
- Valutazione del Solar Reflectance Index della superficie normalmente esposta all'atmosfera dei campioni in esame, effettuata in conformità all'ASTM Standard E1980 sulla base dei valori misurati di riflettanza solare ed emissività termica di cui ai punti precedenti.

2. Metodi di misura

Al momento non sono disponibili, a livello nazionale o europeo, prescrizioni normative circa la caratterizzazione delle proprietà radiative superficiali delle strutture edili opache rilevanti ai fini della loro risposta al ciclo di irradiazione solare. Si fa perciò riferimento ai metodi di misura indicati dalla più importante organizzazione del settore, il Cool Roof Rating Council (www.coolroofs.org). Le procedure previste da tale organizzazione sono legalmente riconosciute dai principali enti di normazione USA (DoE/EPA, Amministrazioni statali e locali), nonché largamente impiegate per caratterizzare prodotti commercializzati sul mercato statunitense.

Per determinare la riflettanza solare R della superficie analizzata, definita come il rapporto tra frazione riflessa e quantità totale incidente della radiazione solare, si misura innanzitutto la riflettività spettrale ρ_λ della superficie in corrispondenza di numerosi valori λ [nm] della lunghezza d'onda regolarmente distribuiti nell'intervallo da 300 nm a 2500 nm, in cui ricade oltre il 99% della radiazione solare incidente sulla superficie terrestre (Fig. 2.1). La riflettività spettrale ρ_λ, sua volta definita come il rapporto tra frazione riflessa e quantità totale incidente della radiazione monocromatica alla lunghezza d'onda λ considerata, viene misurata utilizzando, in conformità all'ASTM Standard E903 (Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres), uno spettrofotometro UV-Vis-NIR Jasco V-670 dotato di una sfera integratrice da 150 mm di diametro. La riflettanza solare R viene infine calcolata come la media della riflettività spettrale pesata sulla radiazione monocromatica del sole alla

superficie terrestre, I_λ [W/(m^{2}nm)], come tabulata dall'ASTM Standard G173 (Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances) o da altre norme tecniche equivalenti per una massa d'aria pari a 1.5.

$$R = \frac{\int_{300}^{2500} \rho_\lambda(\lambda) \times I_\lambda(\lambda) \times d\lambda}{\int_{300}^{2500} I_\lambda(\lambda) \times d\lambda} \tag{2.1}$$

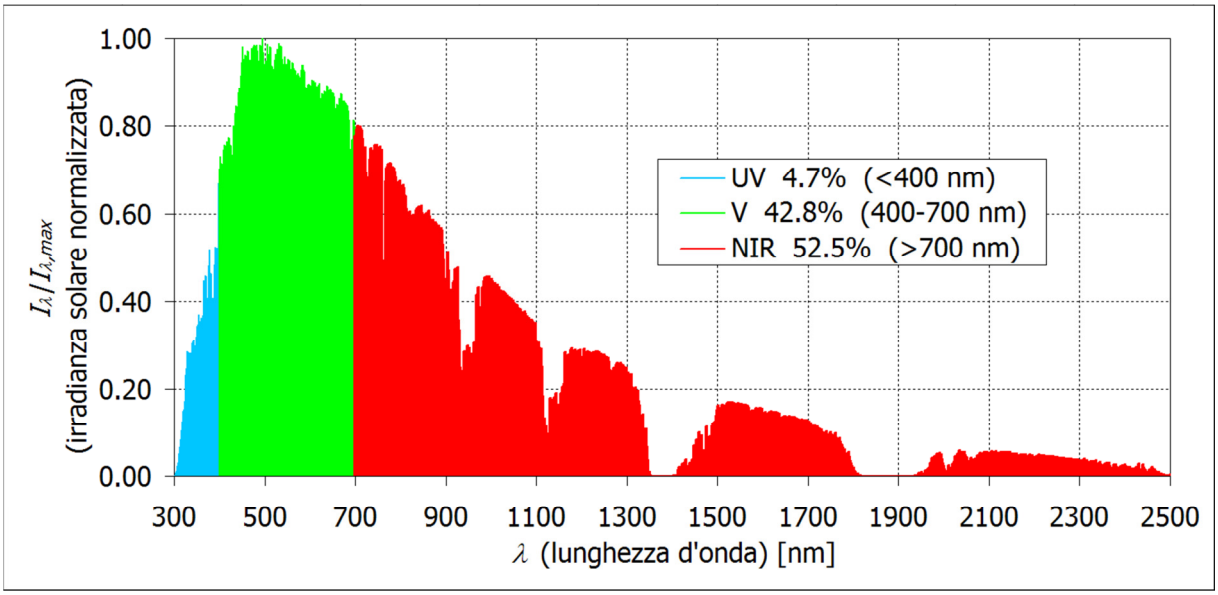

Figura 2.1. Spettro normalizzato della radiazione solare alla superficie terrestre (dati dall'ASTM Standard G173).

Per misurare l'emissività termica E dei campioni analizzati, definita come il rapporto tra l'intensità di radiazione termica effettivamente emessa per irraggiamento e quella massima che può essere teoricamente emessa alla stessa temperatura, si utilizza un emissometro IR Devices & Services AE1/RD1 conforme all'ASTM Standard C1371 (Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometer). Lo strumento permette di misurare l'emissività emisferica totale tramite la relazione:

$$\Delta V = k \times \frac{\sigma_0 \cdot \left(T_d^4 - T_s^4\right)}{\frac{1}{E} + \frac{1}{E_d} - 1} \tag{2.2}$$

Nella relazione, il segnale in tensione ΔV [V] restituito dall'emissometro è proporzionale, per una costante di calibrazione k, al flusso termico scambiato tra la superficie del campione e quella inferiore della testa di misura dell'emissometro. La prima superficie è caratterizzata da emissività termica E incognita e temperatura termodinamica assoluta stabilizzata ad un valore T_s [K] più prossimo possibile al valore ambiente T_a [K], la seconda da emissività termica E_d nota e temperatura termodinamica assoluta stabilizzata

ad un valore T_d [K] prefissato, più elevato della temperatura del campione e di quella dell'ambiente (T_d>T_s). Nella relazione, la costante di calibrazione k va a moltiplicare una quantità che rappresenta il flusso termico scambiato per irraggiamento nell'infrarosso tra le due superfici sopra citate, assunte piane, parallele, infinitamente estese e mutuamente affacciate, nonché grigie e diffondenti.

Lo strumento viene calibrato prima di ogni prova mediante misura di due differenti campioni con emissività nota, rispettivamente pari a 0.06 e a 0.87, forniti dal produttore dell'emissometro. Questi dichiara una linearità dello strumento tale da assicurare misure di emissività con incertezza inferiore a ±0.01 nell'intervallo $0.03 \leq E \leq 0.93$.

Ove il campione presenti una resistenza non trascurabile alla trasmissione del calore, il flusso termico ad esso apportato dall'emissometro induce un gradiente termico attraverso lo spessore. Tale gradiente fa sì che la superficie oggetto di misura venga a trovarsi ad una temperatura significativamente superiore al valore ambiente. Per ricavare il valore effettivo dell'emissività termica E è in questo caso necessario adottare una delle varianti del metodo standard documentate dal produttore dell'emissometro. In particolare, il valore effettivo dell'emissività può essere misurato facendo scorrere la testa di misura dell'emissometro sulla superficie del campione, in modo da non dare a questa il tempo di riscaldarsi a temperature sensibilmente più alte del valore ambiente (metodo dello scorrimento). Si omettono per brevità ulteriori dettagli.

L'impatto combinato di riflettanza solare ed emissività termica può essere valutato in modo indipendente dalle caratteristiche in spessore del componente edilizio su cui il materiale in esame verrà posto in opera attraverso il calcolo del Solar Reflectance Index (*SRI*), definito dallo Standard ASTM E1980 (Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces) con la relazione:

$$SRI = 100 \times \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w} \tag{2.3}$$

Nella relazione, T_s [K] è la temperatura alla quale la superficie in esame si stabilizzerebbe se sottoposta ad un'irradiazione solare di 1000 W/m^2 e in presenza di una temperatura dell'aria atmosferica di 310 K, una temperatura radiante del cielo di 300 K e tre distinti valori del coefficiente di scambio termico convettivo h_c, pari a 5 W/(m^{2}K), 12 W/(m^{2}K) e 30 W/(m^{2}K), rispettivamente corrispondenti a condizioni di ventosità bassa (v < 2 m/s), media (2 m/s < v < 6 m/s) e alta (6 m/s < v < 10 m/s). T_b [K] e T_w [K] sono invece le temperature a cui si stabilizzerebbero due superfici di riferimento, una bianca (R=80%) ed una nera (R=5%), entrambe alto-emissive (E=90%). Pertanto, l'SRI rappresenta il decremento di temperatura superficiale che la superficie in esame consente rispetto alla superficie nera di riferimento, rapportato all'analogo decremento di temperatura superficiale consentito dalla superficie bianca di riferimento e reso in termini percentuali.

3. Risultati

L'analisi sperimentale è stata svolta su campioni predisposti dal Committente in forma di lastre piane (Fig. 3.1), estratti per taglio da manufatti di maggiori dimensioni e rappresentativi dei materiali in esame come identificati e descritti sinteticamente in Tab. 3.1.

Tabella 3.1.
Informazioni identificative dei campioni e descrizione fisica dei materiali analizzati.

Campione	*Denominazione del materiale* *(Sintetica descrizione fisica)*
A	INOPAZ H2O (Inopaz H20 è una membrana poliuretanica bicomponente a base d'acqua, altamente riflettente, adatta a tutte le impermeabilizzazioni di superfici orizzontali e verticali a vista)
Nota: le informazioni riportate nella tabella sono state fornite dal Committente.	

Figura 3.1. Campione analizzato

Tabella 3.2. Riflettanza solare misurata R (T_a=22°C).

Campione	R_1 [%] (misura 1)	R_2 [%] (misura 2)	R_3 [%] (misura 3)	R_4 [%] (misura 4)	R [%] (media)
A	84.7	85.1	85.1	85.1	85
Nota: le diverse misure si riferiscono a diverse posizioni sulla superficie del medesimo campione.					

Tabella 3.3. Emissività termica misurata E (T_a = 22°C).

Campione	E_1 [%] (misura 1)	E_2 [%] (misura 2)	E_3 [%] (misura 3)	E [%] (media)
A	91	90	90	90
Nota: l'emissività termica è stata valutata in conformità con tutti i requisiti dello standard ASTM C1371, con l'eccezione dell'utilizzo di una variante del metodo standard proposta dal produttore dell'emissometro per superfici in opera o campioni spessi e/o poco conduttivi, identificata con il nome di "metodo dello scorrimento" (slide method) e documentata nella D&S Technical Note 04-1 – Slide Method for AE Measurements. Le diverse misure si riferiscono a diverse sessioni di prova sulla superficie del medesimo campione.				

Tabella 3.4. Solar Reflectance Index (*SRI*).

Campione	*SRI* [%] per h_c=5 W/(m^{2}K) (bassa ventosità)	*SRI* [%] per h_c=12 W/(m^{2}K) (media ventosità)	*SRI* [%] per h_c=30 W/(m^{2}K) (alta ventosità)
A	108	107	107

Tabella 3.5. Temperatura superficiale (T_s).

Campione	T_s [°C] per h_c=5 W/(m^{2}K) (bassa ventosità)	T_s [°C] per h_c=12 W/(m^{2}K) (media ventosità)	T_s [°C] per h_c=30 W/(m^{2}K) (alta ventosità)
A	45.0	41.9	39.4

Tabella 3.6. Quadro di sintesi: riflettanza solare, emissività termica, *SRI* (media ventosità) e temperatura superficiale (media ventosità).

Campione	R [%]	E [%]	*SRI* [%]	T_s [°C]
A	85	90	107	41.9

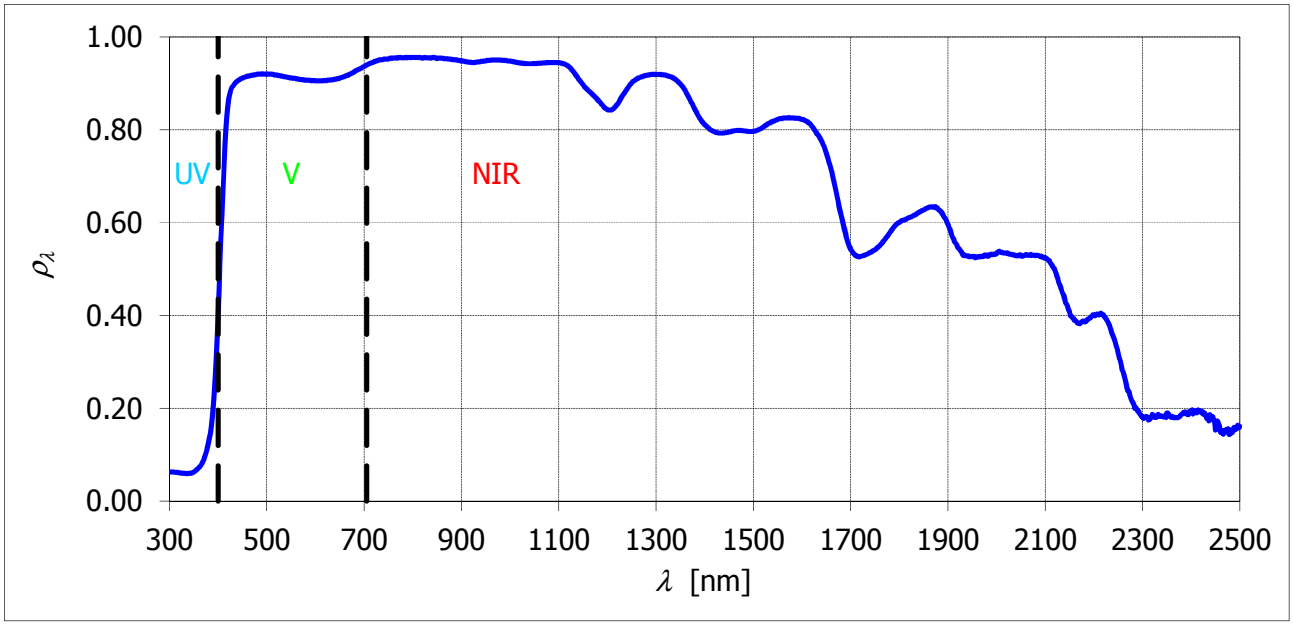

Figura 3.2. Riflettività spettrale.

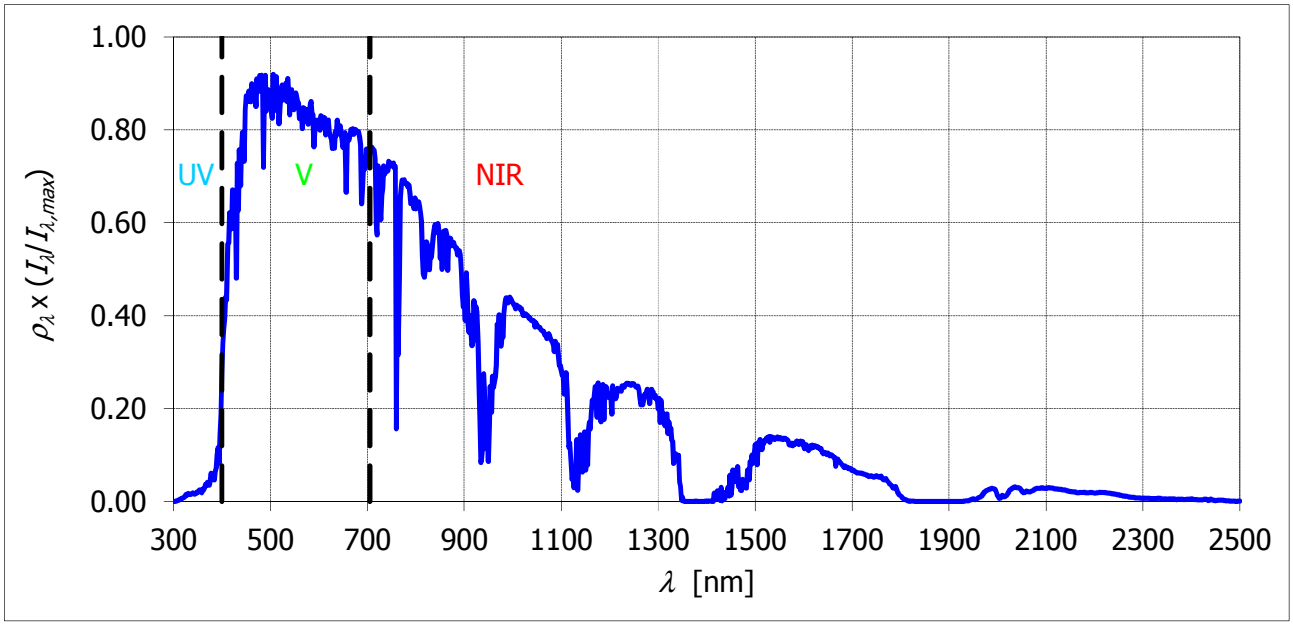

Figura 3.3. Riflettività spettrale pesata sull'irradiazione solare normalizzata.

Indice dei simboli

Simboli in caratteri latini

E	emissività termica [%]
E_d	emissività termica del rilevatore [%]
h_c	coefficiente di scambio termico convettivo [W/(m^{2}K)]
k	costante di calibrazione
I_λ	irradianza solare monocromatica [W/(m^{2}nm)]
$I_{\lambda,max}$	massima irradianza solare monocromatica [W/(m^{2}nm)]
R	riflettanza solare [%]
SRI	solar reflectance index [%]
T	temperatura [K]
T_a	temperatura ambiente [K]
T_b	temperatura della superficie di riferimento nera [K]
T_d	temperatura del rilevatore [K]
T_s	temperatura della superficie [K]
T_w	temperatura della superficie di riferimento bianca [K]
v	velocità del vento [m/s]

Simboli in caratteri greci e misti

ΔV	segnale in tensione [V]
λ	lunghezza d'onda [nm]
ρ_λ	riflettività spettrale [%]
σ_0	costante di Stefan-Boltzmann [$5.67 \cdot 10^{-8}$ W/(m^{2}K^4)]