

Study of the heat reflective properties of outdoor paints

Studio delle proprietà termoriflettenti di pitture da esterno

Vincenzo Contaldi - R&D Engineer, SALENTEC SRL

Antonio Alessandro Liciulli - Professor of Materials Science and Engineering, UNIVERSITY OF SALENTO



V. Contaldi

A.A. Liciulli

The heat reflective paints can reflect a big part of the solar radiation which is responsible of the heating of buildings, thus allowing to keep them cooler, also saving air-conditioning costs.

The radiated energy by the sun is distributed by 5% in the UV area (200-380 nm), for 50% in the visible band (380-700 nm) and 45% in the near infrared NIR zone (700-2500 nm), so a common white paint contributes only to reflect the radiation portion in the visible band, which is precisely the band that provides the color.

Traditional paints are not optimized to improve the reflection of the radiated energy share in the NIR zone. To overcome this problem, many companies manufacture and promote various types of fillers and extenders to be included in the formulation of paints, promising good results.

The TSR (Total Solar Reflectance) quantifies the reflected radiation from a surface and it is calculated with the integral average of the spectral reflectivity, wavelength changing, weighed with the sun spectral irradiance on the earth's surface. Experimentally, it is observed that the value of the TSR changes with the thickness, however, beyond 200 μm , variations become negligible and the TSR value can be considered constant.

$$TSR = \left(\sum_{i=1}^n \rho_{\lambda i} E_{\lambda i} \Delta \lambda_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n E_{\lambda i} \Delta \lambda_i \right)$$

The SRI factor (Solar Reflective Index) combines in a formula the TSR and the emissivity, ie the ratio of absorbed radiation by the surface and re-emitted towards the outside.

As from definition, the SRI can have values greater than 100 in the case of good heat reflective materials. The higher the emissivity, which is a value between 0 and 1, the greater is the amount of energy re-emitted towards the outside, the

Le pitture termoriflettenti sono pitture in grado di riflettere gran parte della radiazione solare, responsabile del riscaldamento degli edifici, permettendo quindi di mantenerli più freschi e risparmiare sui costi del condizionamento.

L'energia irradiata dal sole è distribuita per il 5% nella regione dell'UV (200-380 nm), per il 50% nella banda del visibile (380-700 nm) e per il 45% in quella del vicino infrarosso NIR (700-2500 nm), per cui una comune pittura bianca contribuisce solo a riflettere la quota di radiazione nella banda del visibile, che è appunto la banda che determina il colore.

Le pitture tradizionali non sono ottimizzate per migliorare la riflessione della quota di energia irradiata nel campo del NIR.

Per ovviare a questo problema, molte aziende producono e promuovono cariche e fillers di vario tipo da inserire nella formulazione delle pitture, promettendo ottimi risultati. Il TSR (Total Solar Reflectance) quantifica la radiazione riflessa da una superficie ed è calcolata come la media integrale della riflettività spettrale, al variare della lunghezza d'onda, pesata con l'irradianza spettrale del sole sulla superficie terrestre.

Sperimentalmente, si osserva che il valore del TSR varia con lo spessore, però oltre i 200 μm le variazioni diventano trascurabili e il valore del TSR può essere considerato costante.

Il fattore SRI (Solar Reflective Index) combina in una formula il TSR e l'emissività, cioè la quota di radiazione assorbita dalla superficie e riemessa verso l'esterno.

$$TSR = \left(\sum_{i=1}^n \rho_{\lambda i} E_{\lambda i} \Delta \lambda_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n E_{\lambda i} \Delta \lambda_i \right)$$

Per come è definito, l'SRI può avere valori superiori a 100

FILLERS

CARICHE

lower is the increase of the wall temperature caused by the stored energy (ie energy not re-emitted) and lower is the heat radiated inside the building from the hot wall.

In practice, all the paints have an emissivity value around 0.9, while the TSR gives a much more important contribution, so small differences of emissivity are practically irrelevant. For this reason, in the field of heat-reflecting coatings, the most important thing is to understand how the reflection phenomena work for the affected radiation.

COMMERCIAL PAINTS

A comparison was made between a commercial paint including 3M Glass Bubbles iM16K (called "Pittura GB") and other heat insulating paints containing other fillers was made.

Paints were analyzed with SEM electron microscope to evaluate the morphology, and the compositional analysis on large areas and focal points in correspondence of the fillers has been acquired.

In the sample Pittura1 microspheres of 20-60 μm are visible in the surface. The microanalysis of one of these, detects the typical composition of the soda-lime glass. Pittura 3 shows organic microspheres (at SEM they appear as dark points) of 5-50 μm size.

In correspondence of the microspheres, inorganic compounds are not observed which could be different from those of the matrix. In Pittura 4 spheres are not present, but particles filled with Zn, Si and Al oxides. A Spectrophotometric analysis has been conducted to evaluate the performance of

nel caso di buoni materiali termoisolanti.

Più è alta l'emissività, che è un valore compreso tra 0 e 1, maggiore è la quantità di energia riemessa verso l'esterno, minore è l'aumento di temperatura della parete causato dall'energia immagazzinata (cioè quella non riemessa) e minore il calore irraggiato all'interno dell'edificio dalla parete calda.

Nella pratica, tutte le pitture hanno un valore di emissività di circa 0,9, mentre il TSR dà un contributo molto più importante, per cui piccole differenze di emissività sono praticamente irrilevanti.

Per questo motivo, nell'ambito dei rivestimenti termoriflettenti, la cosa più importante è capire come funzionano i fenomeni di riflessione della radiazione incidente.

PITTURE COMMERCIALI

È stato fatto un confronto tra una pittura commerciale contenente le microsfele di vetro 3M iM16K (denominata "Pittura GB") e altre pitture termoisolanti contenenti cariche di altra natura.

Le pitture sono state analizzate con il microscopio elettronico SEM per valutarne la morfologia ed è stata acquisita l'analisi composizionale su aree estese e su punti focali in corrispondenza delle cariche.

Nel campione Pittura 1 sono evidenti, in superficie, microsfele di 20-60 μm . La microanalisi su una di queste rileva la tipica composizione del vetro soda-lime. La Pittura 3 mostra microsfele di natura organica (che al SEM appaiono come macchie scure) di dimensioni 5-50 μm .

In corrispondenza delle microsfele non si rilevano composti inorganici diversi da quelli della matrice.

Nella pittura 4 non sono presenti sfere, ma particelle piene di ossidi di Zn, Si e Al.

È stata eseguita un'analisi spettrofotometrica per valutare le performance delle varie pitture. I risultati evidenziano l'efficacia delle microsfele di vetro 3M iM16K (Tab. 1), il guadagno di riflettanza è particolarmente accentuato nella regione del NIR.

FORMULAZIONI SPERIMENTALI

Le microsfele sono state aggiunte in pitture acriliche sperimentali, preparate seguendo formulazioni standard, in sostituzione quasi totale del filler tradizionale (carbonato di calcio), come

TRS	UV	Vis	NIR	SRI (mid-wind conditions)	
				Condizioni con vento medio	
Pittura GB	87,5%	6,5%	90,0%	88,9%	111,0%
Pittura 1	87,2%	7,4%	90,9%	87,5%	109,1%
Pittura 2	78,8%	6,3%	83,2%	78,4%	97,8%
Pittura 3	84,1%	7,4%	87,9%	84,3%	105,0%
Pittura 4	70,7%	6,9%	67,8%	75,5%	86,7%

Tab. 1 TSR and SRI values of the analyzed commercial paints and compared with paint formulated with 3M Glass Bubbles
Valori di TRS ed SRI delle pitture commerciali analizzate e della pittura con microsfele di vetro 3M

	Ext BMK			Ext 0			Ext 01			Ext02			Ext03		
	% weight peso	% vol.	PVC	% weight peso	% vol.	PVC	% weight peso	% vol.	PVC	% weight peso	% vol.	PVC	% weight peso	% vol.	PVC
Water Acqua	22,2	35,9	0,0%	34,1	34,7	0,0%	30,4	31,2	0,0%	31,1	31,2	0,0%	28,9	31,2	0,0%
TiO ₂	13,5	5,5	10,5%	20,4	5,2	10,5%	21,4	5,5	10,5%	21,9	5,5	10,5%	20,3	5,5	10,5%
Calcium carbonate Carbonato di calcio	42,9	25,8	49,4%	3,7	1,4	2,9%	3,9	1,5	2,9%	4,0	1,5	2,9%	3,7	1,5	2,9%
Acrylic resin Resina Acrilica	21,4	32,9	0,0%	32,4	31,2	0,0%	33,9	32,8	0,0%	34,7	32,8	0,0%	32,3	32,8	0,0%
GBS22				5,0	24,3	46,6%									
GBK25							5,9	24,3	46,6%						
GB K15										3,6	24,3	46,6%			
GB IM16K													10,4	24,3	46,7%
Other additives Altri additivi	3,8	6,0	0,0%	4,4	4,4	0,0%	4,6	4,6	0,0%	4,7	4,6	0,0%	4,3	4,6	0,0%

Tab. 2 Formulation of experimental paints including 3M Glass Bubbles
Formulazione delle pitture sperimentali contenenti le microsfe di vetro 3M

various paints. The results show the effectiveness of the 3M Glass Bubbles (Tab. 1): the reflectance gain is particularly high in the NIR zone.

EXPERIMENTAL FORMULATIONS

3M Glass Bubbles were added in experimental acrylic paints, prepared according to standard formulations, in almost total replacement of traditional fillers (calcium carbonate), as shown in Tab. 2.

The solar reflectance was established acquiring the reflectance spectrum spread in the wavelength range of 200-2500 nm using a Agilent Cary 5000 UV-Vis- NIR spectrophotometer with integrating sphere coated with PTFE. The emissivity value used for the SRI index calculation was established acquiring the IR spectrum (2.5 to 25 microns) with a Perkin Elmer Spectrum 2000 FTIR spectrophotometer, equipped with integrating sphere with a gold coating.

Results shown in Tab. 3 highlight the benefits provided

riportato in Tab. 2.

I risultati esposti in Tab. 3 mettono in evidenza il beneficio apportato dall'aggiunta delle microsfe di vetro 3M, sia in termini di TSR che di SRI. In particolare, l'incremento di riflettanza è più accentuato nella regione del NIR. Inoltre si osserva che il valore di TSR aumenta al diminuire delle dimensioni delle microsfe.

ANALISI DEI RISULTATI

Le proprietà termoriflettenti di un rivestimento sono regolate da una serie di fenomeni fisici che aiutano a costruire un modello che ben simula il reale comportamento del sistema.

Quando un'onda elettromagnetica incontra un film di pittura, costituito da un certo numero di particelle di pigmento disperse in un mezzo continuo, subisce degli scattering multipli.

Ad ogni scattering l'onda viene deviata di un certo angolo dalla sua traiettoria precedente, come affermato dalla legge

	Type of spheres <i>Tipo sfere</i>	D50 (m)	% Vol of spheres <i>Vol % sfere</i>	Thickness of dry paint <i>Spessore pittura asciutta</i>	TSR	UV	Vis	NIR	SRI (mid-wind conditions) <i>SRI (condizione con vento medio)</i>
ext bmk	-			245	85,8%	6,8%	89,2%	86,4%	107,5
ext 00	S22	35	23,1%	250	87,4%	6,1%	90,0%	88,7%	109,8
ext 01	K25	55	24,3%	265	87,0%	6,4%	89,8%	88,2%	109,3
ext 02	K15	60	24,3%	220	86,3%	6,6%	89,3%	87,3%	108,3
ext 03	IM16K	22	24,3%	220	88,3%	6,2%	90,9%	89,6%	111,0

Tab. 3 TSR and SRI values of tested commercial paints and compared with paints formulated with 3M glass bubbles
Valori di TSR e SRI misurati sui campioni di pittura sperimentale contenenti microsfele di vetro 3M

by the addition of 3M Glass Bubbles. In addition we can note that the TSR value increases when we the size of the microspheres decreases.

RESULTS ANALYSIS

The heat reflective properties of a coating are regulated by a number of physical phenomena that help to build a model which well simulates the real system behavior.

When an electromagnetic wave meets a paint film, consisting of a certain number of pigment particles dispersed in a continuous medium, it undergoes multiple scattering. At each scattering the wave is deflected by a certain angle from its previous trajectory, as stated by Snell's law:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

where θ_1 and θ_2 are respectively the angles formed by the affecting ray and the refracted ray with the normal at the interface between the two media and, n_1 and n_2 the refractive indices of the two media (Fig. 2).

After a number of scatterings, the wave emerges from the film and it is spread in the same origin medium or in that opposite. The

di Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

dove θ_1 e θ_2 sono rispettivamente gli angoli formati dal raggio incidente e dal raggio rifratto con la normale all'interfaccia tra i due mezzi e, n_1 ed n_2 gli indici di rifrazione dei due mezzi (Fig. 2).

Dopo un certo numero di scattering, l'onda riemerge dal film e viene diffusa nello stesso mezzo di provenienza o in quello opposto. Maggiore è la differenza tra gli indici di rifrazione dei due mezzi, maggiore sarà lo scattering dell'onda elettromagnetica e dunque la probabilità che questa riemerge nello stesso mezzo di provenienza.

Le più comuni pitture hanno matrici con indici di rifrazione compresi tra 1,45 e 1,60. Introdurre cariche a basso indice di rifrazione può essere quindi una strategia per introdurre ulteriori eterogeneità nelle pitture e dunque nuove superfici scatteranti.

Quando l'onda elettromagnetica, proveniente da un mezzo a indice di rifrazione relativamente alto, raggiunge la microsfera piena d'aria che ha un indice di rifrazione più basso, viene deviata con angoli di rifrazione

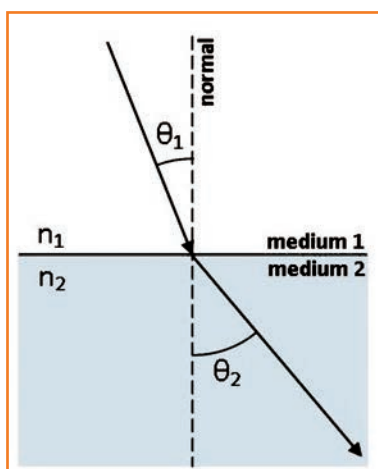


Fig. 1 Light refraction at the interface between two media with different refractive index
Rifrazione della luce all'interfaccia tra due mezzi con indice di rifrazione diverso

greater is the difference between the refractive indices of the two media, greater will be the electromagnetic wave scattering and therefore the chance that this one re-emerges in the same medium of source. The most common paints have matrices with refraction indices between 1.45 and 1.60. Introducing fillers with low index of refraction it may therefore be a strategy to introduce further heterogeneity in paints and therefore new scattering surfaces. When the electromagnetic wave, coming from a medium having a relatively high refractive index, reaches the microsphere filled with air that has a lower refractive index, it is deflected with higher angles of refraction, increasing the chance that it re-emerges from the film. It is important to maintain the integrity of spheres to preserve this effect.

MULTIPLE SCATTERING IN A PAINT FILM

The reflective property of a paint in a spectral range depends also on the size of the scattering particles that influence the wave diffraction.

The Weber's law predicts the optimal size of the particles, which is given in Figure 3.

According to Weber's law, the best results were obtained with iM16K Glass Gubbles which have dimensions of a few tens of microns and they approach more than others to the optimum size. In addition, with the same total volume of included microspheres, the smaller their size, the higher their relative abundance and the higher the number of wave scattering during its path within the paint film. This increases the chance that it can re-emerge from the film.

Several experimental paints, including different types of 3M microspheres were tested. The results show the improvement of the heat reflective paints formulated with 3M Glass Bubbles. It was also verified that the TSR and SRI increase when we the size of the microspheres decreases, according to the exposed theory about scattering. In addition, the commercial paint with 3M microspheres achieved better performances compared to the other commercial paints manufactured with other types of fillers.

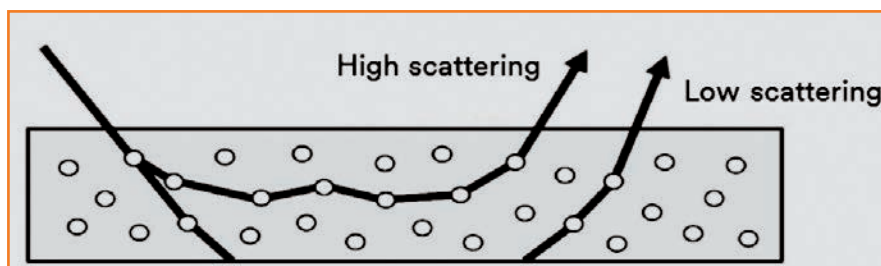


Fig. 2 Multiple scattering within a paint film
Scattering multipli all'interno di un film di pittura

maggiori, aumentando la probabilità che questa riemerge dal film. È importante mantenere integre le sfere per preservare questo effetto.

SCATTERING MULTIPLI ALL'INTERNO DI UN FILM DI PITTURA

La capacità riflettente di una pittura in un intervallo spettrale dipende anche dalla dimensione delle particelle scatteranti che influenza la diffrazione dell'onda elettromagnetica.

La legge di Weber, predice la dimensione ottimale delle particelle, che è data da Figura 3.

In accordo con la legge di Weber, i risultati migliori sono stati ottenuti con le microsfere di vetro iM16K, che hanno dimensioni di poche decine di micron e si avvicinano più delle altre alle dimensioni ottimali. Inoltre, a parità di volume totale di microsfere inserite, più piccole sono le loro dimensioni, più alta è la loro numerosità e più alto risulta essere il numero di scattering subiti dall'onda durante il suo percorso all'interno del film di pittura. Ciò aumenta la probabilità che essa riemerge dal film. Sono state testate pitture sperimentali contenenti diversi tipi di microsfere 3M.

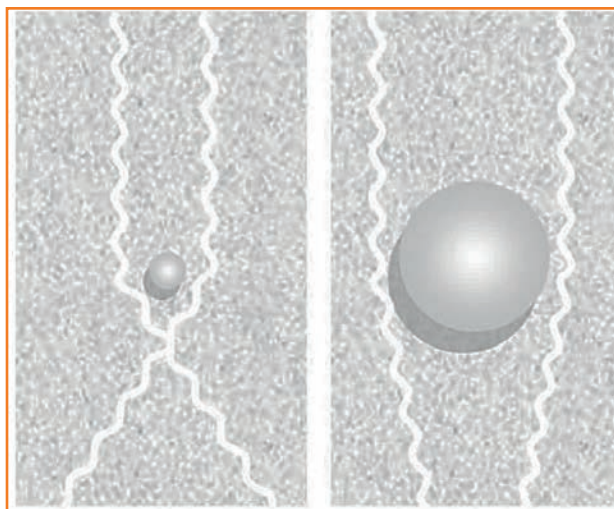


Fig. 3 Scattering efficiency related to the particles size
Efficienza dello scattering in relazione alla dimensione delle sfere

I risultati ottenuti attestano il miglioramento delle proprietà termoriflettenti nelle pitture in cui sono state aggiunte microsfere di vetro al posto del carbonato di calcio. Inoltre è stato verificato che il TSR e l'SRI aumentano al diminuire delle dimensioni delle microsfere in accordo alla teoria dello scattering esposta. Inoltre la pittura commerciale con le microsfere 3M ha ottenuto prestazioni migliori di tutte le pitture commerciali contenenti altri tipi di cariche.