

3M Science.
Applied to Life.™

Studio delle proprietà termoriflettenti di pitture da esterno.

Rapporto tecnico delle analisi
eseguite presso Salentec.



Rapporto tecnico dell'attività di consulenza svolta da Salentec per 3M e riguardante la caratterizzazione di pitture da esterno, formulate con diverse cariche inerti utilizzate per incrementarne le proprietà termoriflettenti.

A seguito di un'analisi delle cariche, sono state comparate le performance di differenti pitture disponibili sul mercato.

Infine, sono state analizzate formulazioni sperimentali con differenti tipologie e quantità di 3M Glass Bubbles.

Autori:

Prof. Antonio Licciulli, Ing. Vincenzo Contaldi,
Ing. Alberto Trapanese, Ing. Antonio Chiechi

Contatti 3M:

Giuseppe Sterlicchio
Sales & Marketing Operations

Myriam Bergamaschi
Marketing AdMD

Guido Cucchiari
Sales Agent 3M Glass Bubbles

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.

La norma ASTM E903 definisce il concetto di riflettanza solare (TSR, Total Solar Reflectance) per quantificare la quantità di radiazione riflessa da una superficie. 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 $E\lambda$:

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

L'irradianza solare E è tabulata nella norma ASTM G173.
Il TSR rappresenta quindi la percentuale di radiazione solare riflessa dalla superficie.
Più è alto il suo valore, migliore sarà la capacità termoisolante della parete.
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.

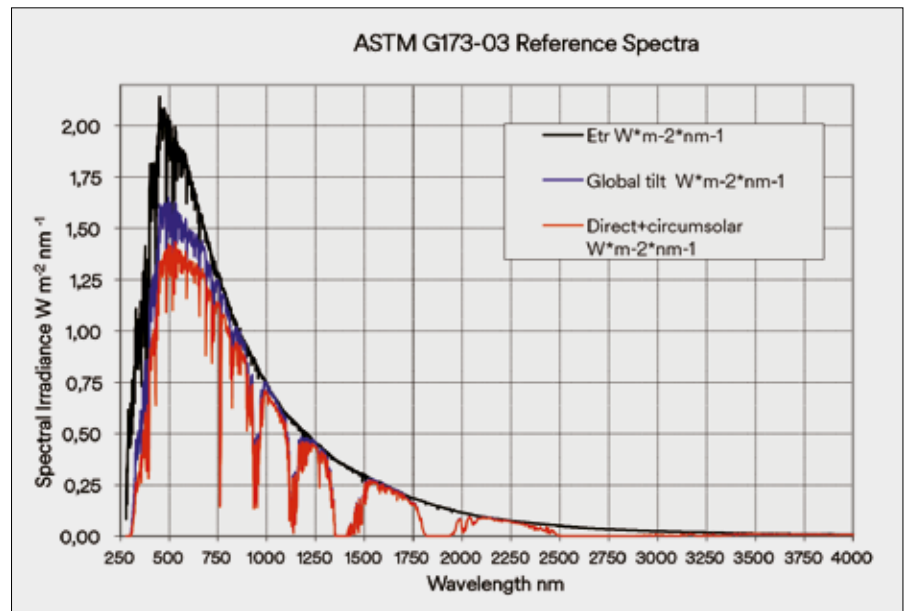


Figura 1
Irradianza solare riportata
nella norma ASTM G173.

La norma ASTM E1980 introduce il fattore SRI (Solar Reflective Index) che combina in una formula il TSR e l'emissività, cioè la quota di radiazione assorbita dalla superficie e riemessa verso l'esterno.

Per come è definito, l'SRI può avere valori superiori a 100 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 sfere 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, microsfere di 20-60 μm .

La microanalisi su una di queste rileva la tipica composizione del vetro soda-lime (Figura 2).

La Pittura 3 mostra microsfere di natura organica (che al SEM appaiono come macchie scure) di dimensioni 5-50 μm .

In corrispondenza delle microsfere non si rilevano composti inorganici diversi da quelli della matrice (Figura 3).

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

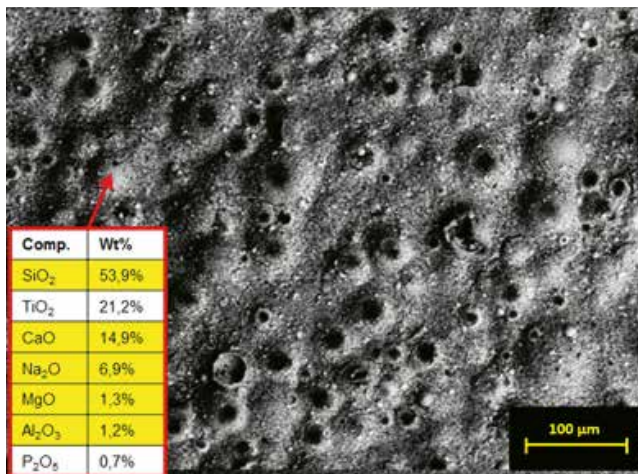


Figura 2 - Immagine SEM del campione Pittura 1.

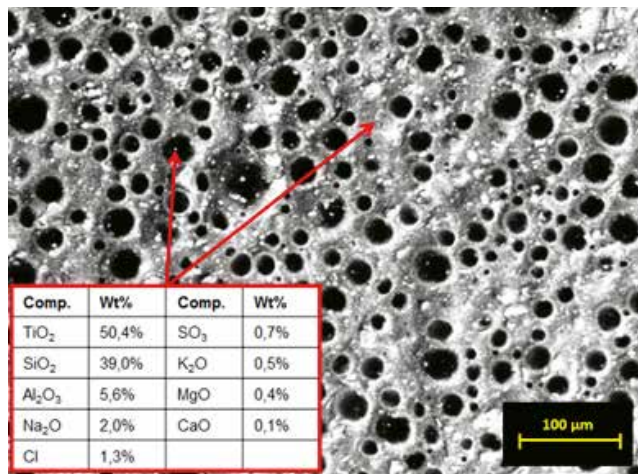


Figura 3 - Immagine SEM del campione Pittura 3.

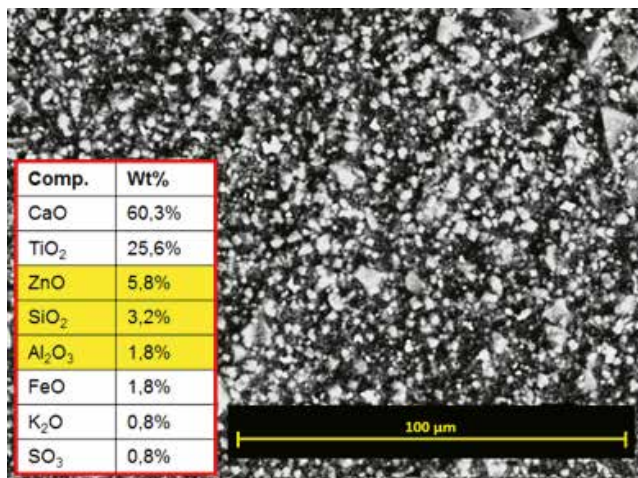


Figura 4 - Immagine SEM del campione Pittura 4.

È stata eseguita un'analisi spettrofotometrica per valutare le performance delle varie pitture.

I risultati evidenziano l'efficacia delle sfere 3M iM16K (Tabella 1), il guadagno di riflettanza è particolarmente accentuato nella regione del NIR.

	TSR	UV	Vis	NIR	SRI (mid-wind conditions)
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

Tabella 1
Valori di TSR ed SRI delle pitture commerciali analizzate e della pittura con microsfere 3M.

Formulazioni sperimentali

Le microsfere sono state aggiunte in pitture acriliche sperimentali, preparate seguendo formulazioni standard, in sostituzione quasi totale del filler tradizionale (carbonato di calcio), come riportato in Tabella 2.

La riflettanza solare è stata determinata acquisendo lo spettro di riflettanza diffusa nel range di lunghezza d'onda 200-2500 nm usando uno spettrofotometro Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR con sfera integratrice rivestita di PTFE. Il valore di emissività usato per il calcolo dell'indice SRI è stato determinato acquisendo lo spettro IR (2.5 to 25 micron) con uno spettrofotometro FTIR Perkin Elmer Spectrum 2000 dotato di sfera integratrice con rivestimento in oro.

	Ext BMK			Ext 00			Ext 01			Ext 02			Ext 03		
	% peso	% vol	PVC	% peso	% vol	PVC	% peso	% vol	PVC	% peso	% vol	PVC	% peso	% vol	PVC
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%
TiO2	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%
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%
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%
GB S 22	-	-	-	5,0%	23,1%	46,6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GB K 25	-	-	-	-	-	-	5,9%	24,3%	46,6%	-	-	-	-	-	-
GB K15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6%	24,3%	46,6%	-	-	-
GB IM16K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,4%	24,3%	46,7%
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%

Tabella 2
Formulazione delle pitture sperimentali contenenti le microsfere 3M.

	Tipo sfere	D50 (µm)	Vol% di sfere	Spessore pittura asciutta	TSR	UV	Vis	NIR	SRI (mid-wind conditions)
ext bmk	-			245	85,8%	6,8%	89,2%	86,4%	107,5
ext 00	S 22	35	23,1%	250	87,4%	6,1%	90,0%	88,7%	109,8
ext 01	K 25	55	24,3%	265	87,0%	6,4%	89,8%	88,2%	109,3
ext 02	K 15	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

Tabella 3 - Valori di TSR e SRI misurati sui campioni di pittura sperimentale contenenti sfere 3M.

I risultati esposti in Tabella 3 mettono in evidenza il beneficio apportato dall'aggiunta delle microsfele 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 inoltre che il valore di TSR aumenta al diminuire delle dimensioni delle microsfele (Figura 5).

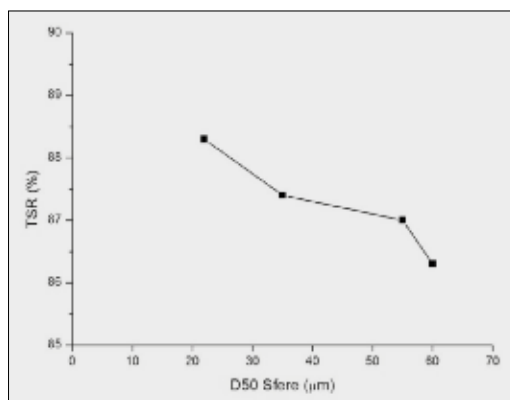


Figura 5
Variazione del TSR al variare del diametro delle microsfele.

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. Capire questi fenomeni è importante per predire la reale efficacia di un rivestimento termoriflettente o anche formularne uno che sia realmente performante. 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 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 ed n_1 ed n_2 gli indici di rifrazione dei due mezzi (Figura 6).

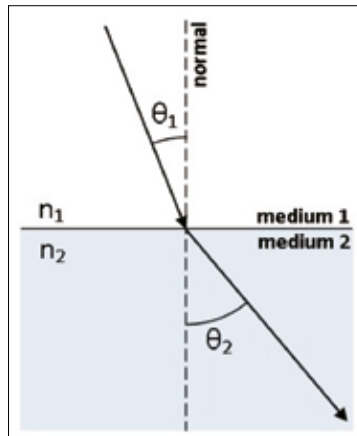


Figura 6
Rifrazione della luce all'interfaccia
tra due mezzi con indice di rifrazione
diverso.

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 ad 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 maggiori, aumentando la probabilità che questa riemerge dal film.

È importante mantenere integre le sfere per preservare questo effetto.

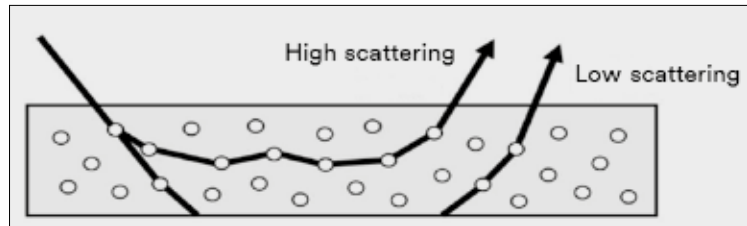


Figura 7
Scattering multipli all'interno di un film di pittura.

La capacità riflettente di una pittura in un intervallo spettrale dipende dalla dimensione delle particelle scatteranti e dal loro indice di rifrazione, in relazione alla lunghezza d'onda. L'interpretazione della riflessione viene data dalla teoria di Mie che predice la trasmissione ottica in un mezzo di propagazione quale l'aria o il "vuoto", dielettrico, trasparente, omogeneo, non dissipativo e non dispersivo, in cui sono presenti dei centri diffusori. Un affinamento della teoria di Mie, ovvero la legge di Weber, predice la dimensione ottimale delle particelle, che è data da (Figura 8):

$$d = \frac{2\lambda}{\pi(n_1 - n_2)}$$

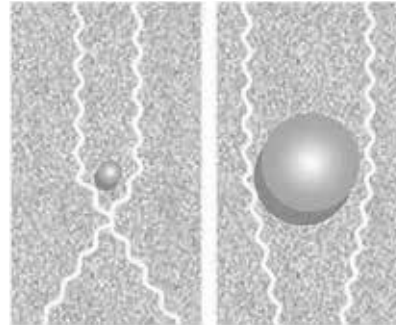


Figura 8
Efficienza dello scattering
in relazione alle dimensioni della
particella.

In accordo con la legge di Weber, i risultati migliori sono stati ottenuti con le sfere 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 microsferi inserite, più piccole sono le loro dimensioni, più alta è la loro numerosità, è più alto 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.

Conclusioni

Sono state testate pitture sperimentali contenenti diversi tipi di sfere 3M.

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. Le microsfere che hanno dato risultati migliori sono le iM16K.

Inoltre la pittura commerciale con le microsfere 3M iM16K ha ottenuto prestazioni migliori di tutte le pitture commerciali contenenti altri tipi di cariche.

Principali caratteristiche delle Glass Bubbles testate

3M™ Glass Bubble Prodotto	Resistenza compressione, psi (sopravvivenza 90%)	Densità g/cc	Distribuzione dimensionale		
			10%	50%	90%
K15	300	0.15	30	60	105
S22	400	0.22	20	35	65
K25	750	0.25	25	55	90
iM16K	16,000	0.46	12	20	30



3M Advanced Materials Division

3M Italia srl

Via N. Bobbio, 21

20096 Pioltello (MI)

Tel. 02 70351

© 3M 2017. Tutti i diritti riservati.