



# Sistemi per la diffusione della luce attraverso materiali plastici

Indici di prestazione relativi al contenimento della luminanza e all'abbattimento della componente UV

  
di Marco Frascarolo  
(Università Roma Tre)

Il presente articolo riporta i risultati di una ricerca, la cui prima fase è stata presentata in un precedente convegno CIE nel 2002. Oggetto della ricerca è lo studio dei materiali comunemente impiegati per la diffusione della luce, in particolare in applicazioni commerciali ed espositive. In entrambi i casi risulta fondamentale il ruolo che tali materiali hanno nell'abbattimento della componente della luce più dannosa per i materiali, ovvero la potenza emessa nel campo degli ultravioletti. Nel precedente lavoro la ricerca era limitata a diversi tipi di vetro e a lamiere di metallo microforate; le variabili erano il tipo di trattamento del vetro, la dimensione dei fori e la percentuale di foratura delle lamiere. Nel presente lavoro la ricerca è stata estesa ai materiali plastici, per completare la panoramica sui materiali diffondenti per trasparenza. La diffusione della luce attraverso la riflessione su schermi riflettenti opachi a comportamento lambertiano o semi-lambertiano sarà oggetto di un prossimo lavoro.

### Metodologia di lavoro

Gli schermi sono stati testati in relazione alle loro prestazioni, in termini di:

- distribuzione della luminanza sulla superficie;
- rendimento energetico nel campo del visibile;
- abbattimento di energia nel campo degli ultravioletti.

Scopo dello studio è l'individuazione di materiali che garantiscano una corretta distribuzione della luminanza sulla superficie, un'alta efficienza nella trasmissione del flusso luminoso, un forte abbattimento di UV.

La distribuzione di luminanza sulla superficie è stata oggetto dello studio, in quanto rappresentativa dell'efficienza del sistema di diffusione del flusso luminoso e in particolare del livello di controllo che si ottiene sul fenomeno dell'abbagliamento. L'illuminamento medio su una superficie campione oltre

lo schermo è stato studiato come parametro di misura dell'efficienza energetica del sistema. Il contenuto di UV per unità di flusso luminoso trasmesso, infine, è stato monitorato in qualità di parametro connesso alla conservazione dei materiali.

Il rapporto tra l'illuminamento su una superficie in presenza e assenza dello schermo non rappresenta un reale rendimento energetico del sistema, perché non riguarda la totalità del flusso luminoso emesso dall'apparecchio, tuttavia lo diventa se si limita il campo di osservazione al flusso luminoso utile, ossia al flusso che raggiunge una superficie campione di riferimento.

Gli UV misurati sono caratterizzati da una lunghezza d'onda compresa tra 0,315 e 0,400  $\mu\text{m}$ , espressa in microwatt per lumen, che costituisce un buon indicatore sulla diversità di comportamento dello schermo, nel campo visibile e UV.

Una particolare attenzione è stata dedicata ad alcune variabili, quali la distanza tra la sorgente e lo schermo, l'angolo di incidenza della luce sullo schermo, l'apertura del fascio luminoso.

Il coefficiente di assorbimento delle pareti della stanza è in realtà minore di 1, pertanto parte dell'energia che investe la superficie di misura non proviene dal diffusore ma da riflessioni multiple del flusso non intercettato dallo schermo.

Per valutare l'entità di tale variabile, alcune misure campione sono state ripetute in campo aperto in una notte nuvolosa in assenza di stelle e luna e i risultati sono stati confrontati con quelli misurati nell'ambiente di prova: è stato riscontrato un errore massimo dovuto alle riflessioni pari al 6%. Tale errore è stato ritenuto accettabile in relazione agli obiettivi dello studio.

Il *report* di misura è composto di due parti: il primo dedicato alle misure di illuminamento, il secondo alle misure di UV: in ogni parte due tabelle riportano le misure con e senza lo schermo diffusore e un dato di sintesi costituito dalla differenza percentuale tra i due casi.

Il lavoro si conclude con un quadro sintetico di confronto tra i vari materiali e i relativi indici di prestazione precedentemente definiti.

### Apparato di misura

L'apparato di misura è costituito da:

- una camera oscura (4000 x 4000 x 3000 mm);
- un proiettore equipaggiato con lampada ad alogeni da 50 W e apertura del fascio 24°;
- supporti mobili che consentano di modificare la posizione dell'apparecchio di illuminazione, rispetto agli schermi diffusori;
- un set di materiali trasparenti diffondenti, di dimensioni pari a 1 x 1 m, per minimizzare l'effetto dei bordi.

Gli strumenti impiegati sono:

- strumento multifunzione per la misura di illuminamento e UV Elsec 764 (accuratezza di misura: +/-5%);
- luminanzometro Minolta LS 100 (accuratezza di misura: +/-2%; angolo di apertura: 1°).

### Diffusori

I materiali più comunemente utilizzati in architettura per diffondere la luce sfruttano i fenomeni della diffrazione che sono controllabili attraverso tre livelli di intervento:

la struttura dei materiali;

la lavorazione degli strati limite dei materiali;

l'installazione di pellicole speciali su uno o su entrambi gli strati limite dei materiali.

I materiali plastici, oggetto del presente studio, si prestano a una calibrazione delle caratteristiche di trasmissione e diffusione della luce attraverso il primo meccanismo, al contrario dei vetri, oggetto del precedente lavoro, in cui le caratteristiche ottiche richieste venivano ottenute con trattamenti chimici e/o meccanici sulle lastre finite.

Il vantaggio dei materiali plastici risiede nei costi, nel peso, nella sicurezza rispetto a fenomeni di sfondamento e produzione di schegge; lo svantaggio risiede nella resistenza al calore, nella classe di resistenza al fuoco, nella stabilità ottica e prestazionale nel tempo, nella minore rigidità, nella diversa percezione al tatto, se installati ad altezza uomo.

I materiali oggetto dello studio sono i seguenti:

- A1 policarbonato alveolare GE Lexan Thermoclear Opal spessore 10 mm;
- A2 policarbonato GE Lexan Exell D ST goffrato spessore 10 mm;
- A3 policarbonato alveolare GE Lexan Thermoclear Solar Control spessore 10 mm;
- A4 policarbonato GE Lexan Exell SG305 spessore 10 mm;
- A5 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 0000R spessore 10 mm;
- A6 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 0360 spessore 10 mm;
- A7 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 0180 spessore 10 mm;
- A8 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 8750 spessore 10 mm;
- A9 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol opalino spessore 5 mm;
- A10 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol traslucido spessore 5 mm;
- A11 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol antiriflesso spessore 5 mm;
- A12 polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol satinato spessore 5 mm.

Segue una breve descrizione delle caratteristiche dei suddetti materiali.

#### **Resine di policarbonato Lexan (A1-A4)**

Il policarbonato Lexan è un tecnopolimero termoplastico nel quale sono riunite proprietà meccaniche, ottiche, tecniche ed elettriche di elevato livello. Estruso sotto forma di lastra, il materiale presenta particolari proprietà ottiche e di resistenza all'urto.

*Policarbonato GE Lexan-Exell D ST goffrato (A3).* Si tratta di una lastra goffrata di policarbonato con trattamento protettivo contro l'aggressione dei raggi UV su entrambi i lati, in grado di offrire un'eccellente diffusione della luce. Gode di una eccellente resistenza all'urto, una eccellente resistenza al fuoco, è facile da maneggiare e da installare. È una lastra termoplastica che può esser termoformata nella geometria desiderata senza perdere le sue caratteristiche di resistenza agli UV. I suoi campi d'applicazione sono le finestre usando i normali telai in legno o alluminio, vetrate a secco e per tutte le funzioni tipiche del vetro. La lastra Lexan Exell D ST ha una buona resistenza alla maggior parte delle sostanze chimiche ed è di facile pulizia.

*Policarbonato GE Lexan-Exell SG305 (A8).* Lexan SG305 è disponibile in lastre trasparenti e bianco opale, con una finitura opaca sulla superficie esterna per riprodurre i riflessi e il riverbero. La lastra è caratterizzata da un trattamento proprietario superficiale per la protezione contro i raggi UV che garantisce una eccellente resistenza, nel tempo, agli agenti atmosferici.

*Policarbonato alveolare GE Lexan Thermoclear Solar Control (A4).* Fa parte della gamma di lastre in policarbonato multi-parete di alta qualità Lexan Thermoclear estruse dalla resina Lexan. Questa particolare lastra presenta un lato, quello non protetto dagli UV, con un rivestimento che riflette l'irradiazione solare. Ciò permette di ridurre l'accumulo di calore sotto la lastra pur mantenendo un'elevata trasmissione della luce. Tra le sue eccellenti proprietà si hanno la trasmissione della luce, isolamento termico e il controllo solare; leggero.

*Policarbonato alveolare GE Lexan Thermoclear Opal (A1).* Si tratta di una lastra in policarbonato a parete multipla, resistente agli urti e in grado di contribuire al risparmio energetico. Le lastre Lexan Thermoclear sono trattate con un esclusivo rivestimento che assicura una resistenza pressoché totale alla degradazione provocata dalla radiazione UV della luce solare. Le sue applicazioni tipiche includono: tetti e pareti di capannoni industriali, serre, tetti e

pareti di *solarium* e piscine, centri commerciali e sportivi, stazioni ferroviarie e metropolitane, stadi.

#### **Polimetilmetacrilato PMMA colato (A5-A12)**

Il polimetilmetacrilato in lastre piane (PMMA) è un materiale termoplastico, dalle qualità simili al vetro, rigido, trasparente, con una buona resistenza alle intemperie e agli agenti chimici. Gode di un'ottima lavorabilità meccanica, di una facile trasformabilità, lucentezza e variabilità di colorazioni, leggerezza e robustezza e di un'ottima resistenza alla luce e all'invecchiamento. I suoi campi d'applicazione sono: plafoniere, muri divisorii, vetri di porte e coperture di tetti, paralumi, box luminosi, apparecchi per l'illuminazione di cucine e pannelli luminosi, cartelloni pubblicitari ed espositori.

#### **Risultati sperimentali**

**Misure di illuminamento e UV.** La superficie campione, illuminata dall'apparecchio a ottica simmetrica, apertura del fascio 24°, con e senza schermo diffusore, è centrata sull'asse dell'apparecchio e ad esso perpendicolare: la maglia di misura è 100 x 100 mm, per un totale di 81 punti di misura. Nel caso in studio, utilizzando un'ottica a simmetria cilindrica, i punti di misura si sono ridotti a 25, diminuendo sensibilmente l'area di misura e quindi la distanza dalle pareti laterali. In tal modo è stato minimizzato l'effetto delle riflessioni su superfici a coefficiente di assorbimento pari a 0,92, ovvero minore di 1.

I valori non sono influenzati dalla distanza apparecchio diffusore: il diffusore è stato posizionato a 15 cm dall'apparecchio in modo da intercettare la quasi totalità del flusso luminoso e rendere le misure non inquinate dalla quota parte di flusso che non attraversa lo schermo.

Posto pari a 1 il valore medio dell'illuminamento sulla superficie di misura senza schermo diffusore, i valori in presenza dello schermo variano da 0,01 a 0,70 nel caso del policarbonato e da 0,04 a 0,82 nel caso del polimetilmetacrilato. Posto pari a 1 il valore medio di UV sulla superficie di misura senza schermo diffusore, i valori in presenza dello schermo variano da 0,96 a 0,70 nel caso del policarbonato e da 0,021 a 0,96 nel caso del polimetilmetacrilato. Un comportamento spiccatamente selettivo a vantaggio del visibile rispetto agli UV è stato riscontrato in alcune lastre di polimetilmetacrilato (in particolare Repsol 0180 e Repsol 0360). La maggior parte di questi materiali presenta tuttavia una capacità diffondente estremamente bassa. Mediamente il polimetilmetacrilato risulta più efficiente energeticamente rispetto al policarbonato: fa eccezione il policarbonato Solar Control, che presenta una trasparenza sulle lunghezze d'onda del visibile pari al 70%, insieme a una buona capacità diffondente.



A titolo di esempio vengono riportati due *report* di misura completi relativi a un materiale della famiglia del polycarbonato e uno della famiglia del polimetilmetacrilato.

**Misure di luminanza.** La trasparenza e le proprietà di rifrazione di un materiale sono influenzate dalla lunghezza d'onda e dall'angolo di incidenza della radiazione. La luminanza percepita dall'osservatore dipende anche dalla sua posizione rispetto al punto osservato, in particolare dall'angolo di visione. Tre punti di misura sono stati individuati su un quarto di circonferenza di raggio pari a 2 m, posta su un piano orizzontale e centrata sul punto di misura. Questi punti rappresentano tre angoli di osservazione rispetto alla normale: 0°, 7,5° e 15°, individuati in relazione all'angolo di apertura dell'apparecchio, pari a 24°. La griglia di misura e le dimensioni dei diffusori sono state scelte in modo che le misure non fossero influenzate dall'effetto dei bordi. Essendo l'angolo di apertura del luminanzometro pari a 1°, l'area di misura è pari a 28,8 mm.

I valori mostrati nella tabella 3 rappresentano il rapporto tra le luminanze misurate con e senza diffusore per diversi angoli di incidenza e per differenti valori della distanza tra lo schermo e l'apparecchio. Dai grafici si evince che la capacità di diffusione, testata monitorando i valori di luminanza al centro dello schermo, cresce all'aumentare della distanza schermo/apparecchio e che l'andamento, all'aumentare dell'angolo di misura rispetto alla normale, è crescente. Questo significa che la capacità di diffusione è massima lungo la direzione della normale allo schermo, che corrisponde alla condizione visiva in cui è massima la luminanza dell'apparecchio. La distanza che è stata poi scelta come riferimento per arrivare a valutazioni sintetiche comparative è pari a 15 cm, che risulta essere la più probabile nel caso di apparecchi di questo tipo e con questa apertura del fascio luminoso. Analogamente è stata scelta la normale allo schermo come direzione di osservazione e, conseguentemente, di misura.

Posto pari a 1 il valore della luminanza sull'asse dell'apparecchio senza schermo diffusore, i valori di luminanza in presenza dello schermo variano da 0,027 a 0,96 nel caso del polycarbonato e da 0,021 a 0,96 nel caso del polimetilmetacrilato. Considerando inefficace un materiale diffondente che non riduca la luminanza massima almeno del 50%, 5 tra i 12 materiali testati non sarebbero classificabili come materiali diffondenti.

Nella tabella 3 vengono riportati i grafici relativi alle misure di luminanza con e senza schermo diffondente.

### Conclusioni

L'ultima colonna della tabella 1 riporta un parametro complesso, che tenta di sintetizzare alcune delle caratteristiche prestazionali degli schermi diffusori definite fino adesso. Tale parametro,  $L_n/E_n$ , rappresenta il rapporto tra la riduzione della luminanza e la riduzione dell'illuminamento sulla superficie campione. Un basso valore di questo parametro indica una combinazione tra basso valore della luminanza e alto valore dell'illuminamento, ovvero elevata capacità diffondente ed elevata efficienza energetica dello schermo. Due lastre di polycarbonato, l'Opal e il Solar Control e tre lastre di polimetilmetacrilato, presentano valori nettamente più bassi rispetto agli altri materiali e quindi possono essere presi come materiali di riferimento. Tra questi, due (il polycarbonato Solar Control e il polimetilmetacrilato Repsol 180) si evidenziano per un'efficienza energetica elevata, due (il polycarbonato Opal e il polimetilmetacrilato Repsol satinato) per una riduzione elevatissima della luminanza, uno (il polimetilmetacrilato Repsol 360) per un equilibrio delle due caratteristiche. Risulta evidente che la qualità delle due categorie di materiali testati è complessi-

**Tabella 1. Sintesi dei risultati di misura**

Diffusore	$E_n = E/E_{\text{senza diffusore}}$ (valori medi)	$UV_n = UV/UV_{\text{senza diffusore}}$ (valori medi)	$L_n = L_{\text{max}}/L_{\text{max senza diffusore}}$ $\alpha = 0^\circ; d = 150 \text{ mm}$	$L_n/E_n$
Nessuno	1,00	1,00	1,00	1,00
Policarbonato alveolare Thermoclear Opal (A1)	0,10	0,18	<b>0,027</b>	<b>0,27</b>
Policarbonato GE Lexan Exell D ST goffrato (A2)	0,04	0,34	0,28	7,00
Policarbonato alveolare Thermoclear Solar Control (A3)	<b>0,70</b>	0,90	0,15	<b>0,21</b>
Policarbonato GE Lexan Exell SG305 (A4)	0,01	<b>0,02</b>	0,96	96,0
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 0000R (A5)	0,22	0,19	0,86	3,91
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 0360 (A6)	0,43	<b>0,07</b>	<b>0,030</b>	<b>0,07</b>
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 0180 (A7)	<b>0,82</b>	<b>0,03</b>	0,21	<b>0,26</b>
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol 8750 (A8)	0,21	<b>0,09</b>	0,60	2,86
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol opalino (A9)	<b>0,62</b>	0,26	0,60	0,97
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol traslucido (A10)	0,04	0,33	<b>0,021</b>	0,52
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol antiriflesso (A11)	<b>0,74</b>	0,88	0,74	1,00
Polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol satinato (A12)	0,22	<b>0,08</b>	<b>0,039</b>	<b>0,18</b>

vamente equivalente e le differenze si trovano essenzialmente nel tipo di trattamento della lastra.

In relazione ai temi della conservazione e quindi all'abbattimento degli UV si può concludere che il polimetilmetacrilato ha mostrato un comportamento mediamente migliore rispetto al policarbonato, ma che anche in questo caso estremamente variabile per i diversi trattamenti.

In funzione di queste considerazioni si potrebbe arrivare a proporre dei parametri correttivi dei valori massimi di esposizione previsti dalla norma UNI 10829 *Condizioni ambientali di conservazione*.

*Misurazione e analisi*, variabili a seconda del tipo di schermo impiegato, oltre che, naturalmente, del tipo di sorgente. A tale proposito si evidenzia che la quota di UV che raggiunge una superficie varia notevolmente a seconda che l'illuminazione artificiale e/o naturale sia di tipo diretto o indiretto. La superficie di riflessione può essere considerata anch'essa un filtro, selettivo al variare della lunghezza d'onda dell'energia incidente. Lo studio delle proprietà di tali superfici, siano esse strati di finitura di componenti edilizi tradizionali o superfici progettate per questo scopo, sarà oggetto di un prossimo lavoro. ■

**Diffusore A1: policarbonato alveolare GE Lexan Thermoclear Opal – spessore 10 mm**

Variabile misura: **illuminamento [Lux]**  
 Griglia (\*): 100 x 100 mm  
 Distanza schermo-apparecchio: 2500 mm

(\*) 25 misure su 81, per le proprietà di simmetria

Senza diffusore				
332	352	338	357	348
388	390	377	411	417
409	433	430	464	478
465	500	587	510	526
511	532	542	552	565

**Con diffusore (distanza dall'apparecchio: 150 mm) (\*\*)**

42,5 13%	43,3 12%	42,9 13%	42,2 12%	41,1 12%
45,5 12%	45,6 12%	45,8 12%	44,7 11%	43,1 10%
47 11%	47,1 11%	46,8 11%	46,1 10%	44,1 9%
47,9 10%	48,5 10%	48,2 8%	47 9%	45,5 9%
48,1 9%	48,7 9%	48,4 9%	47,2 9%	45,7 8%

(\*\*) Illuminamento con/senza diffusore

Illuminamento medio [Lux]: 442

46

Rapporto tra l'illuminamento con e senza diffusore:

10%



Variabile misura: **UV [ $\mu\text{W}/\text{Lm}$ ]**  
 Griglia (\*): 100 x 100 mm  
 Distanza schermo-apparecchio: 2500 mm

(\*) 25 misure su 81, per le proprietà di simmetria

Senza diffusore				
84	83	87	85	85
84	84	88	88	87
86	85	89	90	90
88	87	90	92	92
88	89	90	93	92

Valore medio di UV [ $\mu\text{W}/\text{Lm}$ ]: **88**

UV con/senza diffusore (valore medio):

**Con diffusore** (distanza dall'apparecchio: 150 mm) (\*\*)

17	17	17	17	17
20%	20%	20%	20%	20%
16	16	16	16	16
19%	19%	18%	18%	18%
16	16	16	16	16
19%	19%	18%	18%	18%
16	16	16	16	16
18%	18%	18%	17%	17%
16	16	16	16	16
18%	18%	18%	17%	17%

(\*\*) rapporto tra UV con/senza diffusore

**16**

**18%**

### Diffusore A12: polimetilmetacrilato PMMA colato Repsol satinato – spessore 5 mm

Variabile misura: **illuminamento [Lux]**  
 Griglia (\*): 100 x 100 mm  
 Distanza schermo-apparecchio: 2500 mm

(\*) 25 misure su 81, per le proprietà di simmetria

Senza diffusore				
332	352	338	357	348
388	390	377	411	417
409	433	430	464	478
465	500	587	510	526
511	532	542	552	565

illuminamento medio [Lux]: **442**

Rapporto tra l'illuminamento con e senza diffusore:

**Con diffusore** (distanza dall'apparecchio: 150 mm) (\*\*)

82	83,1	82,6	79,6	76,8
25%	24%	24%	22%	22%
93,3	94,5	95,1	93,3	89,7
24%	24%	25%	23%	22%
99,3	101	102	99,2	95,5
24%	23%	24%	21%	20%
104	107	107	104	99,6
22%	21%	18%	20%	19%
107	109	109	106	102
21%	20%	20%	19%	18%

(\*\*) Rapporto tra l'illuminamento con/senza diffusore

**97**

**22%**

Variabile misura: **UV [ $\mu\text{W}/\text{Lm}$ ]**  
 Griglia (\*): 100 x 100 mm  
 Distanza schermo-apparecchio: 2500 mm

(\*) 25 misure su 81, per le proprietà di simmetria

Senza diffusore				
84	83	85	86	85
84	82	86	87	87
85	85	88	89	89
88	86	87	91	91
88	88	89	93	92

Valore medio di UV [ $\mu\text{W}/\text{Lm}$ ]: **87**

UV con/senza diffusore (valore medio):

**Con diffusore** (distanza dall'apparecchio: 150 mm) (\*\*)

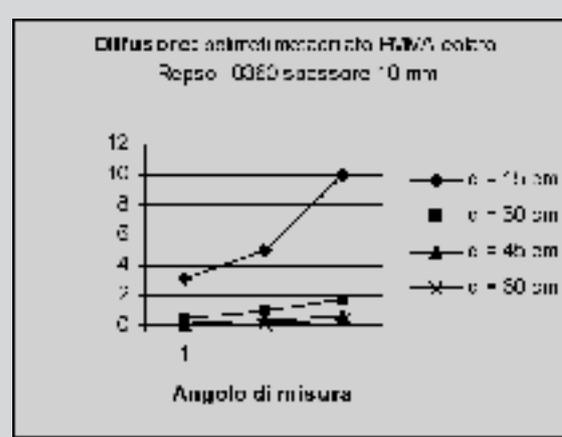
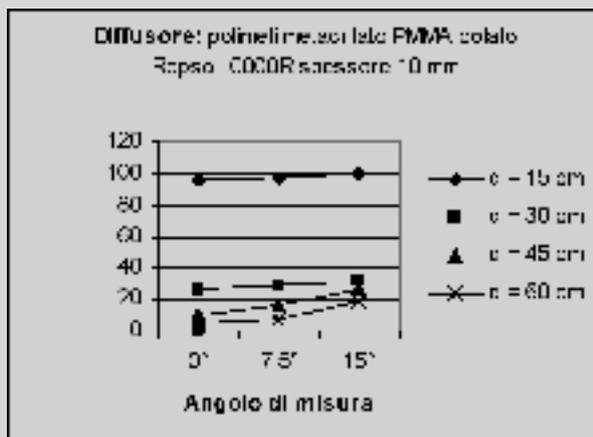
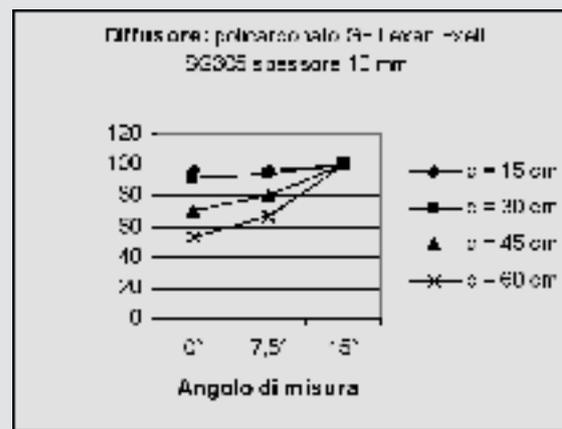
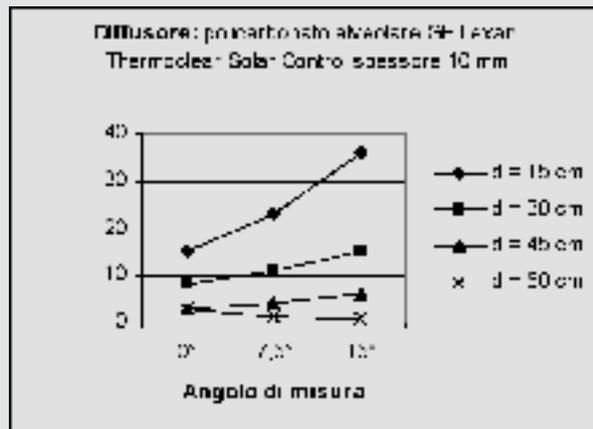
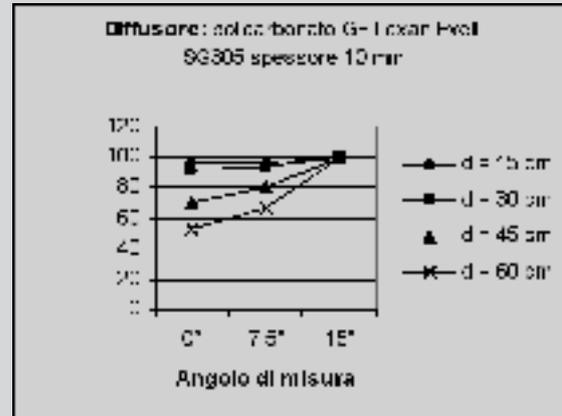
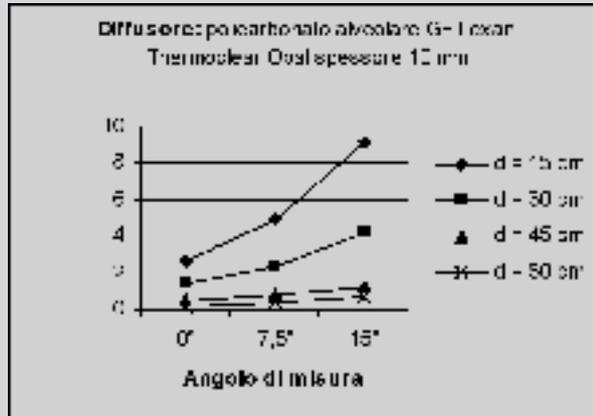
8	8	8	8	8
10%	10%	9%	9%	9%
7	7	7	7	7
8%	9%	8%	8%	8%
7	7	7	7	7
8%	8%	8%	8%	8%
6	6	6	6	6
7%	7%	7%	7%	7%
6	6	6	6	6
8%	7%	7%	6%	7%

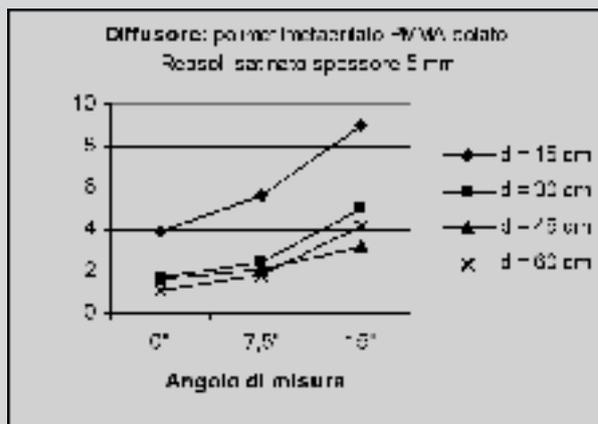
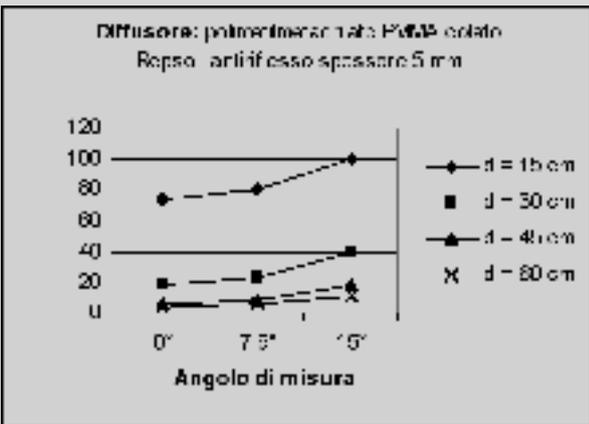
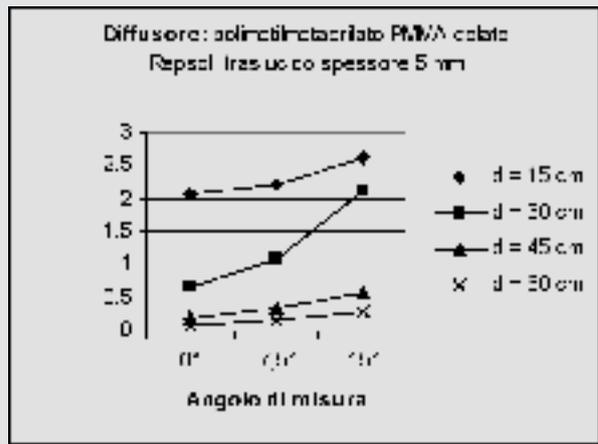
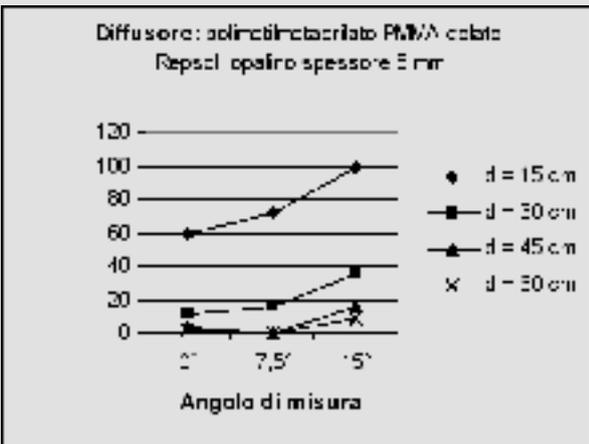
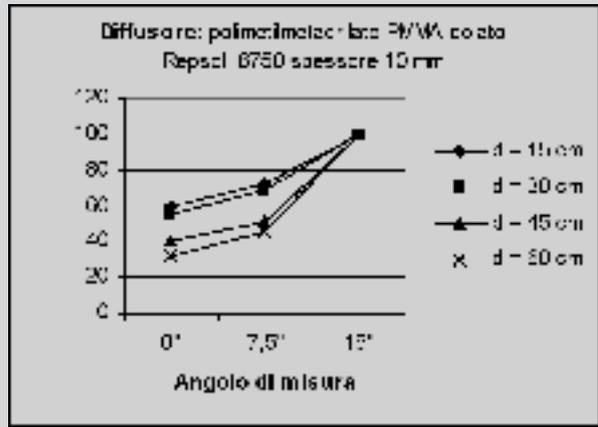
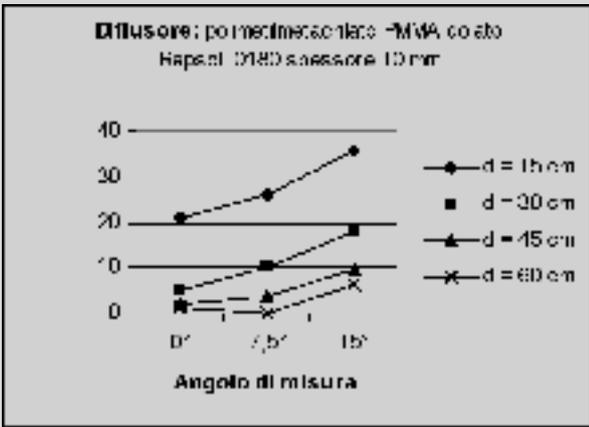
(\*\*) rapporto tra UV con/senza diffusore

**7**

**8%**

**Tabella 3. Misure di luminanza in funzione della distanza dello schermo e dell'angolo di misura**





**Bibliografia**

IES, Committee on Light Control and Equipment Design, *IES guide to design of light control. Part III: Materials used in light control*, 1967 IESNA, New York, NY  
 UNI 7074-1:1991, *Materie plastiche. Lastre di polimetilmetacrilato. Tipi, dimensioni e caratteristiche. Lastre colate*, 1991 UNI, Italia  
 UNI EN ISO 11963:1997, *Materie plastiche. Lastre di policarbonato. Tipi, dimensioni e caratteristiche*, 1997 UNI, Italia  
 UNI 10829, *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione e analisi*, 1999 UNI, Italia

UNI EN 1013-4 2002, *Lastre profilate di materia plastica che trasmettono la luce per copertura, a parete semplice. Requisiti specifici, metodi di prova e prestazioni per lastre di policarbonato*, 2002 UNI, Italia  
 UNI EN 1013-5 2002, *Lastre profilate di materia plastica che trasmettono la luce per copertura, a parete semplice. Requisiti specifici, metodi di prova e prestazioni per lastre di polimetilmetacrilato (PMMA)*, 2002 UNI, Italia  
 M. Frascarolo, S. Grignaffini, *Comparison between optic and energetic performances of close diffusers and drilled plates*, Convegno internazionale CIE Light & Lighting 2002, 2002, Bucarest, Romania