



Vetro e risparmio energetico

Controllo solare

*Bollettino tecnico*



PILKINGTON

CONTENTS

INTRODUCTION

BASIC  
PRINCIPLES

GLAZING

DESIGN

DATA  
SHEET

PRODUCT  
OVERVIEW

CALCULATION  
PROGRAMS



*Peel Park, East Kilbride*

# Introduzione

Oltre a consentire l'ingresso di luce e a permettere la visione verso l'esterno, le finestre lasciano entrare anche la radiazione termica di origine solare all'interno degli edifici. Durante la stagione invernale questo può rappresentare un beneficio dal momento che riduce i costi di riscaldamento e introduce calore gratuito nei giorni di sole nei periodi freddi. Ma durante i mesi estivi, fintanto che un sistema di controllo solare non venga utilizzato, questo calore proveniente dal sole va considerato come uno svantaggio, dal momento che rende necessario l'utilizzo del condizionamento per evitare una situazione termica non accettabile.

Varie tecniche sono disponibili per controllare la quantità di calore solare entrante attraverso le finestre, incluso l'uso di sistemi oscuranti interni o esterni, fissi o mobili, e vetri a controllo solare. Questa pubblicazione ha lo scopo di fornire informazioni rilevanti riguardo l'uso del vetro come strumento di controllo della radiazione di origine solare.



*British Standards Institute, Chiswick*

# Principi base

Il vetro trasmette la radiazione termica proveniente dal sole attraverso tre meccanismi, riflessione, trasmissione ed assorbimento, i quali per ciò che concerne il controllo solare, vengono definiti dai seguenti parametri:

## Riflessione:

E' la quantità percentuale di radiazione solare in condizioni di incidenza normale che viene riflessa dal vetro verso l'atmosfera.

## Assorbimento:

E' la quantità percentuale di radiazione solare in condizioni di incidenza normale che viene assorbita dal vetro

## Trasmissione diretta:

E' la quantità percentuale di radiazione solare in condizioni di incidenza normale che viene trasmessa direttamente dal vetro.

## Trasmissione totale:

E' la quantità totale di radiazione solare in condizioni di incidenza normale che viene trasmessa attraverso il vetro tramite tutti i meccanismi della trasmissione termica. E' composta dalla trasmissione diretta, conosciuta anche come componente ad onde corte, e dalla parte dell'assorbimento che viene dissipata verso l'interno mediante radiazione a elevata lunghezza d'onda e convezione, conosciuta anche come componente ad onde lunghe.

La proporzione dell'energia assorbita che viene dissipata sia verso l'interno che verso l'esterno, dipende dalla configurazione della vetrata e dalle condizioni di esposizione esterna (Figura 1).

Tutte le proprietà del vetro nei confronti della radiazione solare dipendono dall'angolo e sono mostrate nelle figure 2,3 e 4. Una stima ragionevole dell'effetto dell'angolo di incidenza sulle proprietà di ogni particolare tipo di vetro può essere fatta sostituendo i valori tabulati di riflessione, trasmissione diretta e trasmissione totale al posto dei valori ad incidenza normale nel grafico e riplotando le curve nello stesso rapporto.

## Coefficiente di shading

Le proprietà di trasmissione del calore proveniente da radiazione solare dei vetri possono essere confrontate attraverso i loro coefficienti di shading. Tali coefficienti vengono calcolati confrontando le proprietà del vetro con quelle di un float chiaro avente trasmissione totale pari a 0.87 (valore corrispondente ad uno spessore compreso tra 3 e 4 mm). Esso comprende un coefficiente di shading ad onde lunghe ed uno ad onde corte. Quest'ultimo rappresenta la trasmittanza termica solare divisa per 0.87. Il coefficiente di shading ad onde lunghe è invece la frazione dell'energia assorbita rilasciata verso l'interno, divisa per 0.87.

I coefficienti di shading sono calcolati per la radiazione ad incidenza normale. Per altri angoli di incidenza, il vetro è confrontato col vetro chiaro nella stessa situazione. Come risultato, i coefficienti di shading sono sostanzialmente costanti per tutti gli angoli di incidenza solare.

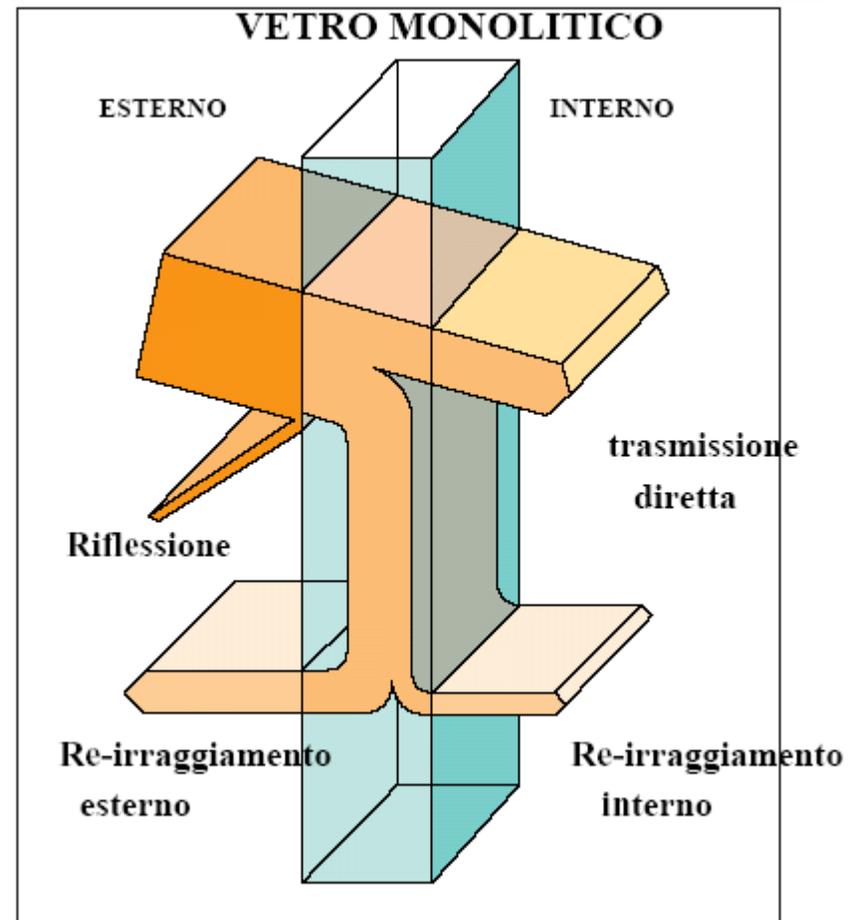


Figura 1. Trasmissione, riflessione ed assorbimento

## Vetri a controllo solare

Il controllo solare può essere ottenuto tramite l'utilizzo di:

- Vetri colorati in pasta con elevato assorbimento (es. Pilkington **Optifloat™** Bronze)
- Vetrate isolanti con vetri selettivi (es. Pilkington **Suncool™** HP 50/30)
- Vetrate isolanti con vetri speciali ad alte prestazioni (es. Pilkington **Suncool™** Brilliant 66/33)
- Avvolgibili o veneziane disposte verso l'esterno, verso l'interno o tra le due lastre della vetrocamera.

La riduzione della trasmittanza termica totale generalmente andrà a ridurre anche la parte visibile dello spettro solare trasmessa. Ad ogni modo, alcuni vetri colorati in pasta ed alcuni coatings sono in grado di attenuare la radiazione in maniera selettiva, attenuando preferenzialmente la radiazione non visibile e lasciando pressoché inalterato l'ingresso di quella visibile. Queste caratteristiche vengono preferite per sistemi di applicazione solare passiva.



*Sony Building*

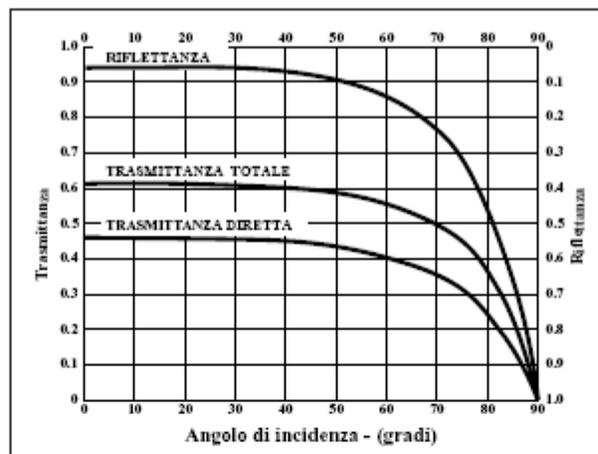


Figure 2. 6mm Pilkington **Optifloat** Bronze

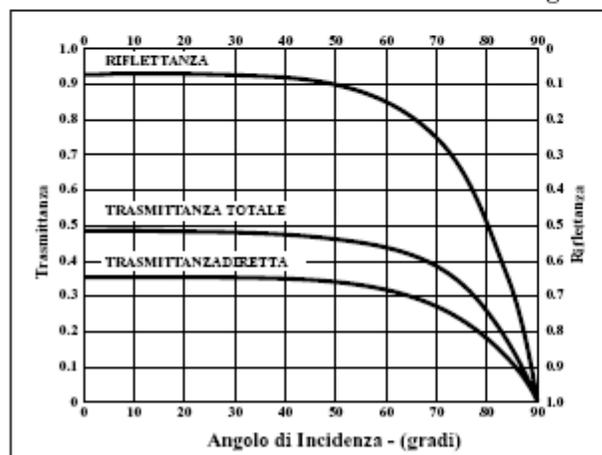


Figure 3. Pilkington **Insulight** con 6mm Pilkington **Optifloat** Bronze e 6mm Pilkington **Optifloat** Clear

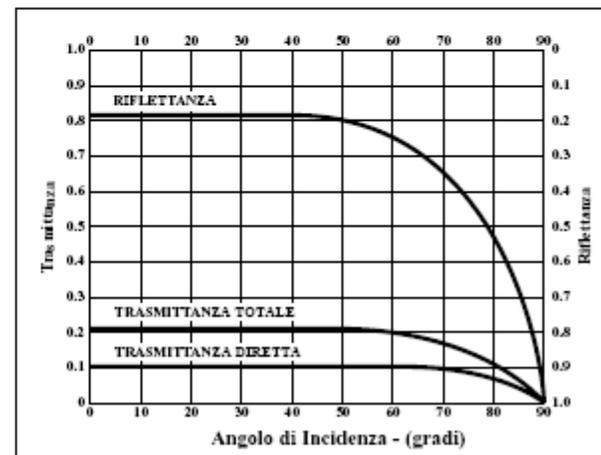


Figure 4. Pilkington **Insulight** con 6mm Pilkington **Suncool** Classic Silver 20/34 e 6mm Pilkington **K Glass** come lastra interna



*Sony Building*



*Boots HQ, Nottingham*

## Vetri colorati

Questi tipi di vetro sono hanno generalmente colorazione grigia, verde, bronzo o blu, ottenuta direttamente nella pasta vetrosa. Le loro proprietà di controllo solare e la loro tonalità cromatica variano molto al variare dello spessore, mentre la riflessione è leggermente più bassa di quella di un vetro float chiaro. Quando usati in vetrata isolante è preferibile posizionarli come lastra esterna in modo tale che la radiazione assorbita sia più facilmente dissipata.

## Vetro con coating

Il controllo solare può essere incrementato attraverso l'utilizzo di coatings che:

- Riducono il guadagno solare con una ampia gamma di opzioni prestazionali e performance alte, medie o ridotte.
  - Offrono un range di trasmissione luminosa da elevata a bassa
  - Forniscono diversi gradi di riflessione inclusa quella bassa
  - Sono disponibili in una gamma vasta di colori ed aspetto estetico per venire incontro alle più specifiche richieste progettuali
  - Possono essere usati in combinazione con Pilkington **K Glass™** e Pilkington **Optitherm™ SN** per incrementare l'isolamento termico
  - Sono disponibili temprati o laminati per soddisfare i requisiti di sicurezza
  - Possono essere forniti con una gamma di pannelli Spandrel armonizzati
- Offrono delle prestazioni di controllo solare complessive diversificate

# Vetrare schermate

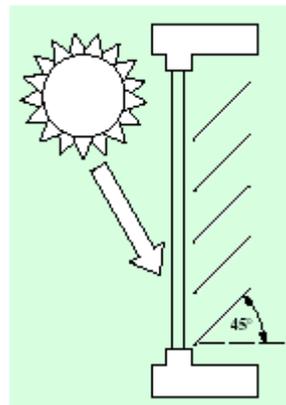
La decisione di installare uno schermo (veneziane, avvolgibili, ecc) ed il tipo di sistema designato possono essere influenzati da considerazioni di natura diversa dal semplice controllo solare (es. garantire la privacy, prevenire l'abbagliamento).

L'uso di schermature su finestre influenzerà il coefficiente di shading della stessa. Esso dipenderà da:

- Le proprietà solari del vetro e del materiale dello schermo
- I coefficienti di scambio termico sulle superfici della finestra
- La geometria dello schermo
- Incidenza angolare della radiazione solare

Le importanti proprietà ottiche e solari del materiale dello schermo sono la riflettanza e la trasmittanza del materiale alla radiazione solare.

Schermi di colore diverso hanno differenti performance solari. Uno schermo bianco tende a dare prestazioni elevate, mentre schermature scure danno risultati meno brillanti. Tipici valori sono forniti in Tabella 4.



**Figura 5. Orientamento delle persiane**

I Valori forniti in Tabella 4 si applicano alla schermatura come insieme, solo quando il materiale è piano e parallelo alla superficie della finestra. Questo è il caso delle tende quando siano tirate insieme senza pieghe o quando le persiane siano completamente chiuse. Quando le persiane sono parzialmente aperte, le caratteristiche ottiche solari sono modificate dall'inter-riflessione. L'effetto può essere simulato utilizzando speciali programmi sviluppati per calcolare i fattori angolari dai quali dipende lo scambio di energia radiante tra elementi di persiana adiacenti.

In pratica le alette delle persiane sono spesso disposte in maniera da impedire la penetrazione diretta del sole. Una tipica soluzione, specialmente con schermature orizzontali, è di orientarle a 45° rispetto al piano della finestra (si veda Figura 5). I valori modificati riportati in Tabella 5 sono stati calcolati secondo queste condizioni.

*Nota. I costruttori di schermature solari dovrebbero essere contattati per conoscere esattamente le caratteristiche dei loro prodotti.*

Tabella 4 – Proprietà ottiche solari di materiali da schermatura

Materiale schermatura	Riflettanza	Assorbimento	Trasmittanza
<b>Materiale opaco</b>			
Alte Performance	0.70	0.30	0.00
Medie Performance	0.55	0.45	0.00
Basse Performance	0.40	0.60	0.00
<b>Materiale traslucido</b>			
Alte Performance	0.50	0.10	0.40
Medie Performance	0.40	0.20	0.40
Basse Performance	0.30	0.30	0.40

Table 5 – Proprietà ottiche solari di materiali da schermatura – inclinazione a 45°

Materiale schermatura	Riflettanza	Assorbimento	Trasmittanza
<b>Materiale opaco</b>			
Alte Performance	0.50	0.39	0.11
Medie Performance	0.40	0.53	0.07
Basse Performance	0.30	0.65	0.05
<b>Materiale traslucido</b>			
Alte Performance	0.50	0.10	0.36
Medie Performance	0.40	0.20	0.33
Basse Performance	0.30	0.30	0.30

I coefficienti di shading possono essere calcolati utilizzando i seguenti coefficienti di scambio termico:

Coefficiente di scambio termico interno

$$h_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Coefficiente di scambio termico esterno

$$h_e = 23 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Per vetrate isolanti con una schermatura verso l'interno, si può stimare la resistenza termica pari a quella di un'intercapedine in aria da 12 mm. Per una doppia finestra con schermatura posta tra le due lastre la resistenza termica totale può essere considerata pari a quella di un'intercapedine in aria da 100 mm.

# Progettazione

Il progetto e la specifica di finestre e vetrate richiede che vengano soddisfatte numerose esigenze (spesso contrastanti), ed è impossibile considerarne una isolatamente. Ad ogni modo, se si prende in considerazione l'aspetto del controllo solare, è conveniente delimitare due campi di applicazione, dal momento che zone a clima caldo e zone a clima temperato hanno esigenze relative alle prestazioni del vetro molto diverse.

## Climi caldi

Il requisito principale per l'utilizzo di vetro in climi caldi è garantire elevate prestazioni di controllo solare per minimizzare il guadagno termico e di conseguenza il carico energetico per il condizionamento, ed evitare il surriscaldamento dell'ambiente. Connessi a queste esigenze ci sono poi la necessità di isolamento termico nei confronti del calore trasmesso per conduzione e il controllo dell'abbagliamento generato dalla riflessione sul terreno circostante l'edificio o proveniente dal cielo (escludendo l'illuminazione diretta), sempre dando per scontata l'importanza dell'illuminazione naturale e della visibilità verso l'esterno.

Per soddisfare alcuni di questi requisiti, la trasmissione solare del vetro utilizzato in zone climatiche calde andrà ad inserirsi come valore di trasmissione energetica e luminosa a valori anche inferiori al 10%.

Per incrementare il controllo solare, un vetro basso emissivo come Pilkington **K Glass**<sup>TM</sup> o Pilkington **Optitherm**<sup>TM</sup> SN assemblato come lastra interna della vetrata isolante, agisce come secondo schermo protettivo. Il calore assorbito dal vetro è riflesso dal rivestimento low E consentendo di avere un miglior controllo solare.

Con climi caldi il valore U incrementato ottenuto con l'utilizzo di un vetro come Pilkington **K Glass**<sup>TM</sup> riduce anche il guadagno termico per conduzione attraverso il vetro, fattore importante in edifici con condizionamento e vetrate estese. In climi caldi ed umidi la condensa si può formare all'esterno della vetrata di ambienti condizionati. L'aumento dell'isolamento termico della vetrata attraverso l'utilizzo di Pilkington **K Glass**<sup>TM</sup> e Pilkington **Optitherm**<sup>TM</sup> SN consente di avere una temperatura sulla lastra esterna del vetro più alta riducendo il rischio di condensa.

## Climi temperati

Le prestazioni del vetro in climi temperati devono garantire controllo solare e ridurre il surriscaldamento estivo pur consentendo un elevato passaggio di luce e mantenendo i benefici del riscaldamento solare passivo. I valori di trasmissione energetica e luminosa non saranno dunque bassi quanto quelli richiesti in zone climatiche calde. Allo scopo di permettere una progettazione solare passiva, il campo prestazionale dovrà essere:

- Trasmissione totale dal 20% al 70%
- Trasmissione luminosa dal 35% al 90%
- Valore U da 1.0 a 2.0 W/m<sup>2</sup>K

E' evidente che questa gamma di valori dovrà essere esaminata in relazione al particolare tipo di applicazione, non esistendo in generale una composizione ideale per tutte. Come principio generale, un isolamento termico spinto con controllo solare è un requisito per i climi temperati e dal momento che alcuni coating a controllo solare sono anche basso emissivi, utilizzando tali prodotti è possibile combinare le due esigenze nella stessa vetrata.

## Guadagno solare e comfort

Oltre alle generali prestazioni dell'edificio va sottolineato come il controllo solare interagisca con la progettazione dell'impianto di condizionamento per creare condizioni confortevoli.

### Guadagno solare

La radiazione solare entrante attraverso le finestre causa un incremento della temperatura dell'aria della stanza ed è compito del progettista assicurare che la temperatura stessa non arrivi a provocare perdita di benessere rispetto alle condizioni di comfort prefissate, cosa ottenibile studiando la soluzione impiantistica e le applicazioni costruttive in maniera adeguata.

A questo scopo il progettista dovrà valutare l'effetto di diverse opzioni di vetrata sull'ingresso di calore dall'esterno, tenendo conto che l'impianto di ventilazione o di condizionamento dovrà controbilanciarlo, e scegliere quindi la soluzione migliore per la specifica applicazione in questione.

La radiazione solare non rappresenta l'unica fonte di calore che contribuisce al riscaldamento totale dell'edificio. Altre sorgenti includono:

- Conduzione di calore attraverso il vetro
- Ventilazione ed ingresso di aria calda
- Fonti di calore interne (illuminazione, persone, dispositivi elettrici)

La maggior parte dei calcoli di questa natura vengono oggi comunemente effettuati dal calcolatore, tramite l'utilizzo di metodi standardizzati approvati dall'industria come quelli sviluppati dalla CIBSE ad esempio. L'Allegato A mostra come le proprietà di trasmissione solare dei vetri Pilkington per il risparmio energetico possano essere adattate per l'utilizzo con questi metodi di calcolo.

L'ingresso di energia solare in un edificio può essere determinato dalla conoscenza di:

- **Posizione del sole in relazione all'altezza dell'edificio.** I livelli di radiazione solare dipendono da quanto alto è il sole nel cielo (altezza) e dall'orientamento Nord, Sud, Est od Ovest (azimuth).
- **L'intensità della radiazione solare incidente sulle pareti dell'edificio**
- **La superficie esposta al sole.** Una larga area colpita dalla radiazione solare sarà causa potenziale di un ingresso termico più alto rispetto ad una area più piccola.
- **Il periodo dell'anno e l'ora del giorno.** Questo dipende dal movimento relativo tra terra e sole.
- **Effetto dell'ombreggiamento.** La presenza di schermature, profili ombreggianti, edifici vicini, ecc. può impedire che la radiazione solare colpisca l'edificio.
- **Tipo di vetro.** Tipi di vetro differenti, trasmettono, riflettono ed assorbono quantità differenti di energia.
- **Struttura dell'edificio.** Un edificio costruito con materiali pesanti tende a riscaldarsi e raffreddarsi più lentamente di uno costruito con materiali più leggeri.

## Radiazione diretta e comfort

Sebbene l'aria condizionata possa rendere confortevoli le condizioni generali degli occupanti di un edificio, l'effetto della radiazione solare che colpisca direttamente le persone che si trovino in prossimità delle finestre deve essere considerato separatamente.

L'occupante di un ambiente interno che riceva radiazione solare diretta può avvertire caldo anche quando la temperatura della stanza sia mantenuta a valori di benessere attraverso l'utilizzo di impianti di condizionamento e ventilazione meccanica. Come linea generale, vetri molto riflettenti con trasmissione solare diretta relativamente bassa rappresentano i materiali più adatti ad evitare il surriscaldamento delle zone vicino alle finestre e dei rispettivi occupanti.

Ad esempio, una persona seduta vicino ad una finestra realizzata in vetro chiaro in una giornata estiva sperimenterebbe una temperatura di oltre 30°C quando la finestra sia irraggiata da circa 750 W/m<sup>2</sup>, sebbene la temperatura dell'aria interna sia mantenuta a 21°C. Per mantenere una sensazione di comfort la temperatura risultante dovrebbe restare sotto i 25°C.

L'utilizzo di vetri colorati dalle prestazioni medie in termini di controllo solare, come Pilkington **Optifloat**<sup>TM</sup> colorato, la ridurrebbe a circa 28°C, temperatura ancora troppo alta.

Un vetro ad alte prestazioni come Pilkington **Suncool**<sup>TM</sup> HP, vetro coatizzato selettivo ad alte prestazioni, darebbe una temperatura risultante che sarebbe appropriata per questa applicazione.



*Bicentennial Court*

# Allegato A: Fattori di guadagno solare

La determinazione dei fattori di guadagno solare per le vetrate richiedono spesso un software per la creazione di modelli computerizzati dei livelli di riscaldamento e ventilazione degli edifici. Questi possono essere derivati sulla base della conoscenza dei coefficienti di shading ad onde corte (SWSC), ad onde lunghe (LWSC) e totale (TSC).

Il guadagno solare attraverso la finestra è dovuto a:

- Parte della radiazione solare assorbita dalla finestra che è trasmessa verso l'ambiente
  - Radiazione solare trasmessa che viene assorbita dalle superfici interne della stanza e che appare nel punto ambiente
- Qualora vi siano sistemi di ombreggiamento interno, va considerato un ulteriore contributo convettivo computato nel punto aria.

Dal momento che condizioni costanti sono rare negli edifici è più comune per definire le condizioni termiche considerare un ciclo di 24 ore. Questi cicli possono essere considerati divisi in due parti, un ciclo medio di 24 ore e una variazione ciclica rispetto al ciclo medio. I fattori ciclici di guadagno solare differiranno a seconda del tipo di edificio, a seconda del tipo di materiale da costruzione dell'edificio (struttura pesante o leggera).

Come riferimento alle equazioni riportate, i valori tabulati dei coefficienti di shading forniti in questa pubblicazione possono essere utilizzati per stimare i fattori di guadagno solare per il progetto di una particolare finestra. Essi sono stati presi dalla sezione A.5 della guida CISBE, Volume A (1986).

### Fattori di guadagno solare per vetrate senza ombreggiamento interno

*Punto ambiente*

Media

$$\bar{S}_e = 0.8 \times TSC$$

Variazione ciclica – struttura leggera

$$\tilde{S}_e = (0.65 \times SWSC) + (0.84 \times LWSC)$$

Variazione ciclica – struttura pesante

$$\mathfrak{S}_e = (0.48 \times SWSC) + (0.76 \times LWSC)$$

### Fattori di guadagno solare per vetrate con ombreggiamento interno

*Punto ambiente*

Media

$$\bar{S}_e = (1.65 \times SWSC) + (0.546 \times LWSC) - 0.135, \text{ o } \bar{S}_e = (0.76 \times SWSC) + (0.26 \times LWSC),$$

il più grande tra i due

Variazione ciclica - struttura leggera

$$\tilde{S}_e = (1.25 \times SWSC) + (0.546 \times LWSC) - 0.115, \text{ o } \tilde{S}_e = (0.60 \times SWSC) + (0.26 \times LWSC),$$

il più grande tra i due

Variazione ciclica - struttura pesante

$$\tilde{S}_e = (0.9 \times SWSC) + (0.546 \times LWSC) - 0.125, \text{ o } \tilde{S}_e = (0.44 \times SWSC) + (0.26 \times LWSC),$$

il più grande tra i due

*Punto aria*

Media

$$S_a = 0.345 \times LWSC$$

Variazione ciclica - leggera/pesante

$$\tilde{S}_a = 0.39 \times LWSC$$

CONTENTS

INTRODUCTION

BASIC  
PRINCIPLES

GLAZING

DESIGN

DATA  
SHEET

PRODUCT  
OVERVIEW

CALCULATION  
PROGRAMS



*Salford Quays, Manchester*

*Questa pubblicazione fornisce una descrizione generale del prodotto e dei materiali.  
E' responsabilità dell'utilizzatore di questo documento assicurare che il loro uso  
sia appropriato per ciascuna particolare applicazione e che tali applicazioni siano in accordo  
con tutte le norme legislative locali e nazionali, con le normative tecniche, con i  
codici pratici e gli altri requisiti.*

*Pilkington Italia Spa con la presente declina ogni responsabilità  
per qualunque errore od omissione proveniente da questa pubblicazione  
e per qualunque conseguenza da esso derivato.*

*I nomi dei prodotti Pilkington mostrati in **Futura Heavy** sono marchi  
registrati del Gruppo Pilkington.*



**PILKINGTON**

**Pilkington Italia Spa**

Via delle Industrie, 46 30175 Porto Marghera (Ve)

Tel 041 5334911 Fax 041 5317687