

Laboratorio di Progettazione 3M
prof. Giovanni Longobardi

Modulo di
Fisica Tecnica
prof. Marco Frascarolo

LEZIONE 2

LUCE NATURALE

FONDAMENTI E METODI DI CALCOLO

Università degli Studi di Roma Tre
Facoltà di Architettura
A. A. 2010-2011

CRESCENTE IMPORTANZA CONFERITA ALLA LUCE NATURALE A LIVELLO NORMATIVO nel corso dell'ultimo decennio

- ⇒ **Decreti Legislativi**
 - DL 626/94
 - DL 242/96
- ⇒ **norme tecniche UNI**
 - UNI 10530 "Sistemi di illuminazione e lavoro"
 - UNI 10840 "Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale"
 - UNI EN ISO 9241-6 "Requisiti ergonomici per il lavoro in ufficio o con videoterminali VDT"
- ⇒ **legge 10/91**

IMPORTANZA della LUCE NATURALE

ILLUMINAZIONE NATURALE RISULTA FONDAMENTALE PER:

condizioni ambientali confortevoli
(comfort visivo e termico)



vantaggi psico-fisiologici
legati alla luce solare

- luce dinamica nel tempo
- luce stimolante e produttiva
- riconoscibilità cromatica degli ambienti



strategie progettuali di comfort
visivo e termico

riduzione dei consumi energetici



luce solare risorsa gratuita e rinnovabile



consapevole utilizzo del daylight per:

- minori consumi per illuminazione artificiale
- minori consumi per condizionamento estivo



strategie progettuali di
risparmio energetico

IMPORTANZA della LUCE NATURALE

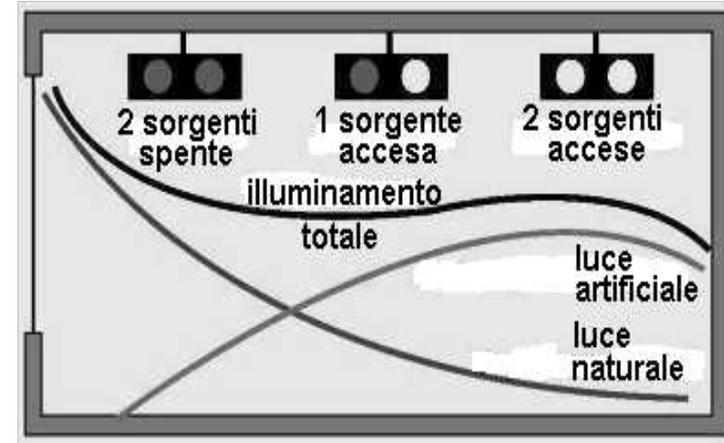
**NON E' VERO CHE MASSIMIZZARE LA DISPONIBILITA' DI DAYLIGHT
VOGLIA DIRE MASSIMIZZARE I BENEFICI**

↳ possibili problemi legati ad un incontrollato ingresso di luce naturale in ambiente:

▶ **surriscaldamenti in periodo estivo**
↳ necessità di sistemi di condizionamento

▶ **fenomeni di abbagliamento**
↳ necessità di sistemi di schermatura

▶ **disuniforme distribuzione di luce naturale in ambiente**
↳ necessità di ricorrere all'illuminazione artificiale



insorgenza di discomfort visivo e termico

maggiori consumi energetici e costi di gestione

CARATTERISTICHE delle SORGENTI di LUCE NATURALE

SOLE

- ⇒ luce bianca con TCC = 5500 K
- ⇒ sorgente puntiforme
- ⇒ L elevatissima ($1.6 * 10^9$ cd/m²)
 - ↳ **sorgente estremamente abbagliante**
- ⇒ spiccata direzionalità
 - ↳ **asimmetria nella percezione della tridimensionalità degli oggetti**
 - ↳ **contrasti marcati**
 - ↳ **effetto di “modellato” non ottimale**

VOLTA CELESTE (CIELO)

- ⇒ luce bianca con TCC = 6500 K
- ⇒ sorgente superficiale
- ⇒ L contenuta ($1.6 * 10^9$ cd/m²)
 - ↳ **luce diffusa**
 - ↳ **sorgente non abbagliante**
- ⇒ luce uniforme
 - ↳ **contrasti poco marcati**
 - ↳ **effetto di “modellato” non ottimale**

VALORI CARATTERISTICI in SOLE e CIELO REALI

ILLUMINAMENTO su PIANO ORIZZONTALE

- CIELO SERENO: fino a 100.000 lux
- CIELO COPERTO: fino a 20.000 lux
- SORGENTE ALOGENA CON RIFLETTORE (50W, varie aperture di fascio, a 2m di altezza) :
300-3000 lux

LUMINANZA

- SOLE a MEZZOGIORNO: $1.6 * 10^9$ cd/m²
- CIELO SERENO: $8.3 * 10^3$ cd/m²
- CIELO COPERTO: $2 * 10^3$ cd/m²
- SORGENTE ALOGENA: $1.3 * 10^7$ cd/m²

TEMPERATURA di COLORE

- SOLE a MEZZOGIORNO: 5250 K
- SOLE + CIELO: 6000 K
- CIELO SERENO: 15000-20000 K
- CIELO COPERTO: 5000-15000 K
- SORGENTE ALOGENA: 3000 K

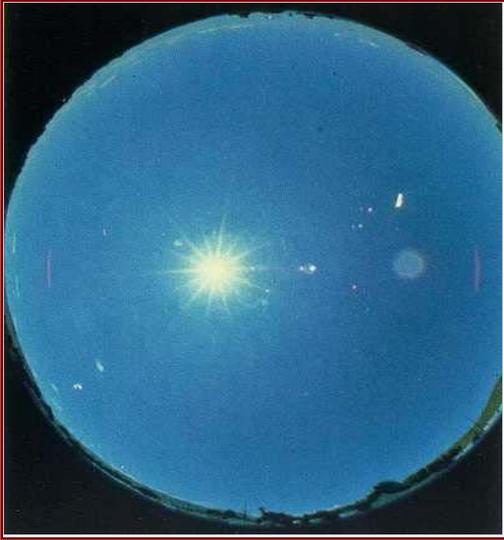
L'illuminamento prodotto dalla volta celeste su una superficie varia in relazione alla sua distribuzione di luminanza

La distribuzione della luminanza dipende da vari fattori:

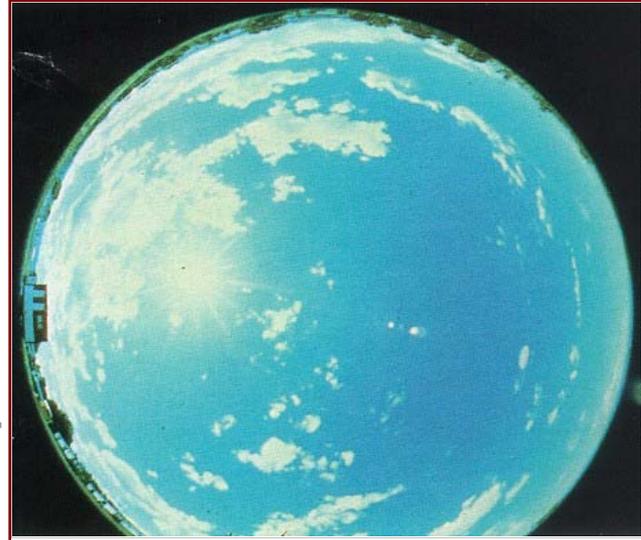
- ➔ posizione del Sole
- ➔ condizioni meteorologiche
- ➔ torbidità dell'atmosfera

MODELLI di CIELO

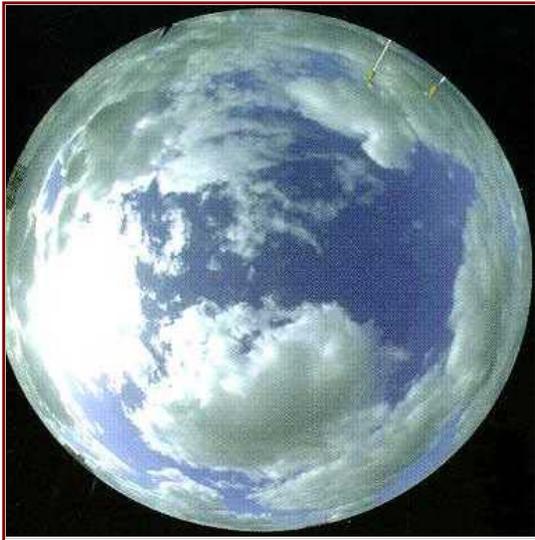
cielo sereno



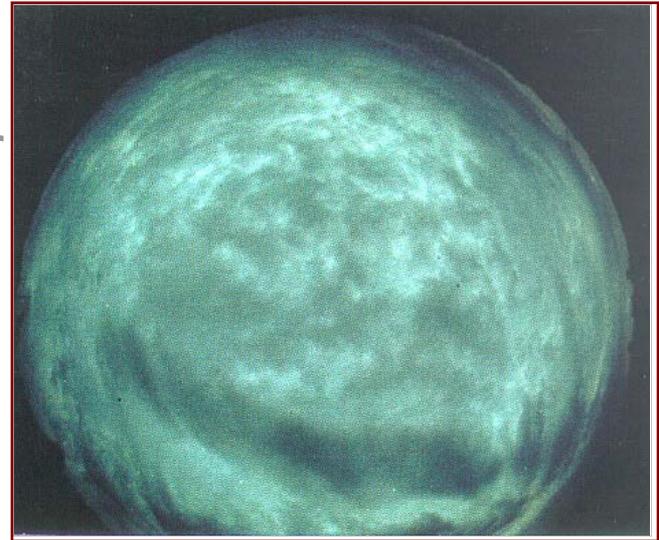
*cielo sereno con
presenza di nuvole*



cielo intermedio



cielo coperto



FATTORE DE LUCE DIURNA

- unico parametro normato
- introdotto in Inghilterra da Hopkinson come rapporto di illuminamenti interno / esterno

E_{in} = illuminamento in un punto interno dell'ambiente dovuto alla sola luce naturale diffusa dalla volta celeste

- E_{out} = illuminamento esterno massimo
- E dovuto alla sola luce diffusa dalla volta celeste
 - E in assenza di ostruzioni esterne
 - E orizzontale

$$\eta = \frac{E_{in}}{E_{out}}$$

IL FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA SECONDO LA NORMATIVA ITALIANA

$$FLD_m = \frac{A_f \cdot \tau_l}{(1 - \rho_{l,m}) \cdot A_{tot}} \cdot \varepsilon \cdot \psi \quad [\%]$$

A_f = superficie vetrata netta della finestra [m²]

τ_l = fattore di trasmissione luminosa del vetro

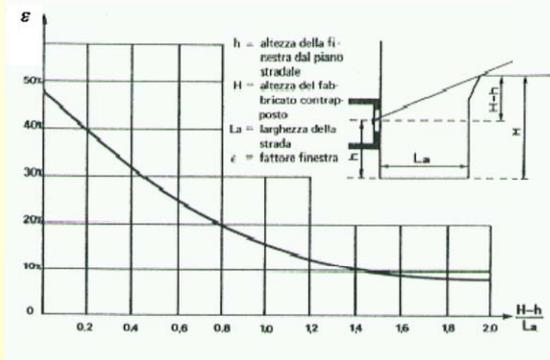
$\rho_{l,m}$ = fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

ε = **fattore finestra**

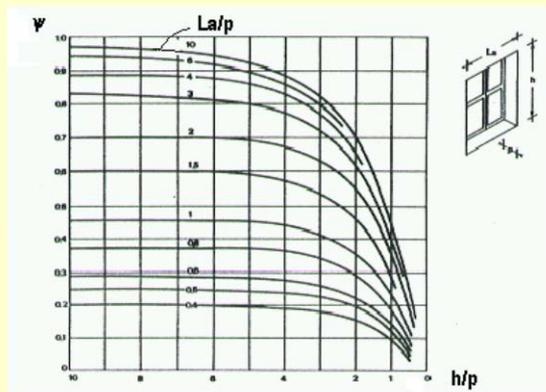
$\varepsilon = 1$ per superfici orizzontali prive di ostruzioni

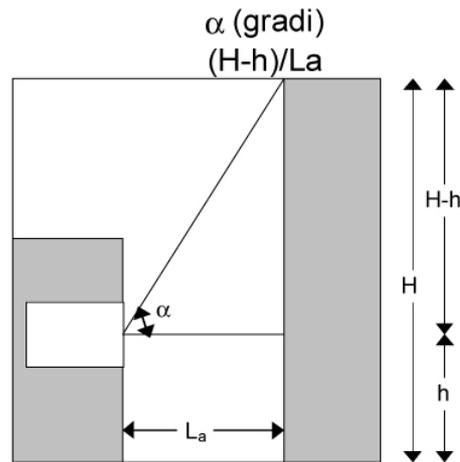
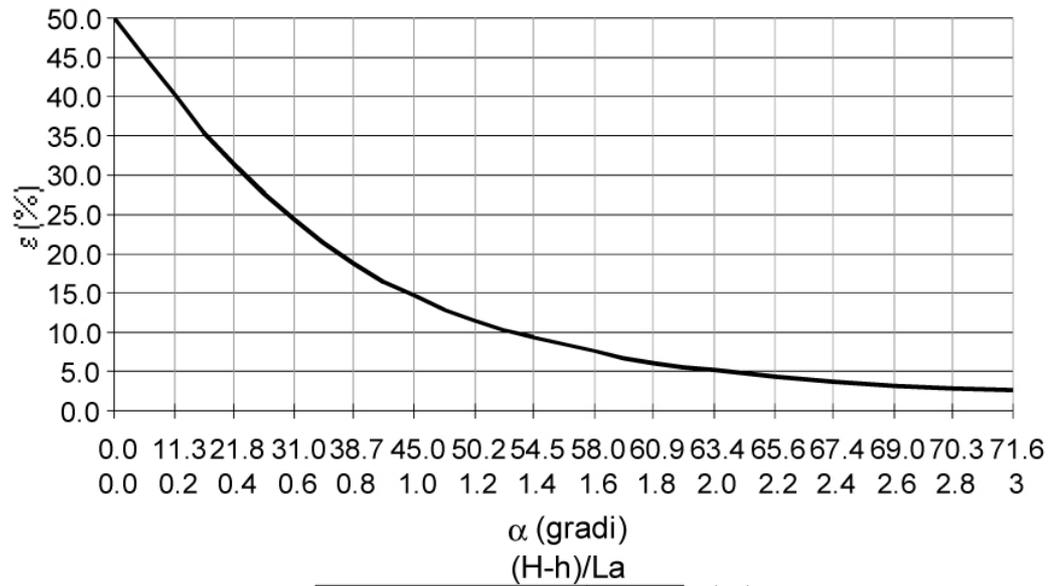
$\varepsilon = 0,5$ per superfici verticali prive di ostruzioni

$\varepsilon < 0,5$ per superfici verticali in presenza di ostruzioni

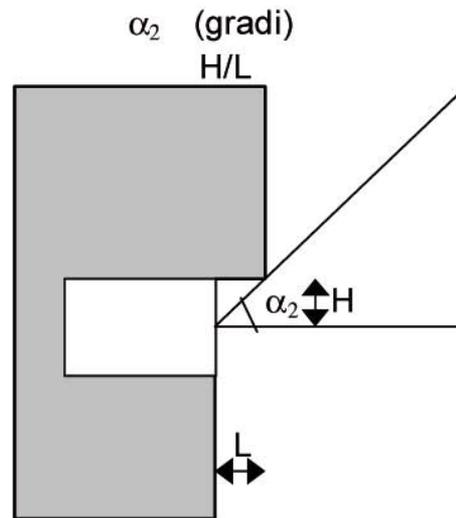
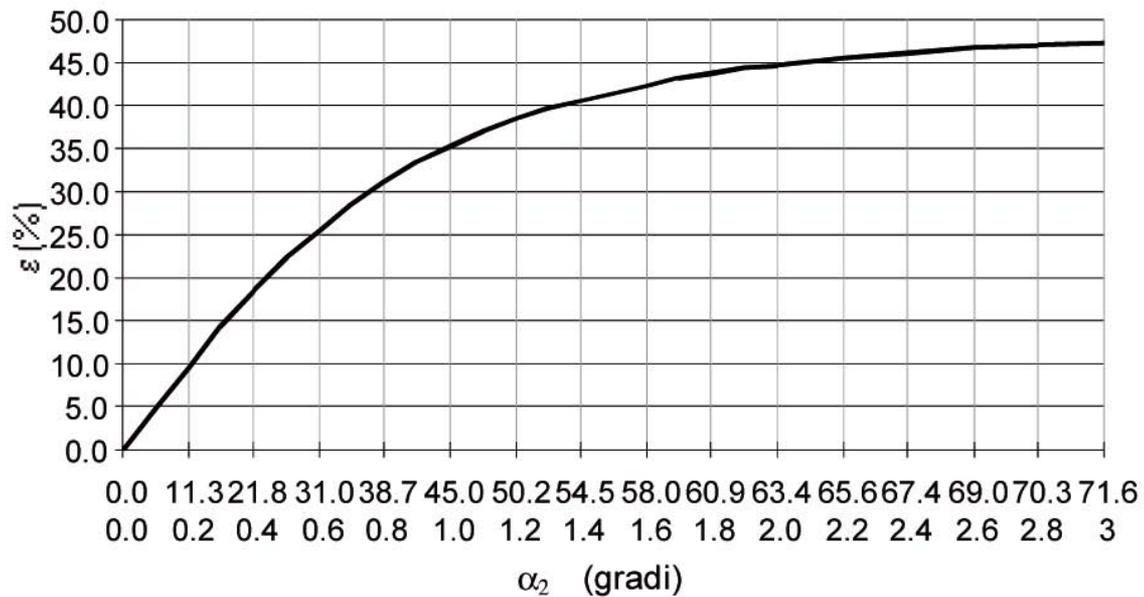


ψ = **fattore di riduzione del fattore finestra**





Valore del fattore finestra ε per ostruzioni poste di fronte alla finestra del locale considerato.



Valore del fattore finestra ε per ostruzioni "a loggia".

TABELLA SINOTTICA RIASSUNTIVA DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI (luminose ed energetiche) DI VETRO SINGOLO

TIPOLOGIA	COLORE	s [mm]	τ_s	ρ_s	ϵ	τ_1	U [W/m ² K]	TSET
vetro chiaro		3	0,87-0,88	0,08	0,84	0,91	5,9	0,87
		4	0,86	0,08	0,84	0,90-0,91	5,7-5,8	0,86
		6	0,79-0,83	0,07-0,08	0,84	0,88-0,9	5,7-5,8	0,82-0,85
		8	0,76-0,81	0,07	0,84	0,87-0,89	5,6-5,7	0,8-0,84
vetro assorbente	bronzo	3	0,67	0,06	0,84	0,67	5,9	0,75
		4	0,61	0,06	0,84	0,6	5,8	0,7
		6	0,47-0,5	0,05	0,84	0,48-0,49	5,7-5,8	0,59-0,62
		8	0,38-0,41	0,05	0,84	0,39-0,4	5,6-5,7	0,52-0,56
	grigio	3	0,64	0,06	0,84	0,60-0,62	5,9	0,72
		4	0,57	0,06	0,84	0,52-0,54	5,8	0,67
		6	0,45-0,46	0,05	0,84	0,40-0,43	5,7-5,8	0,58
		8	0,35-0,36	0,05	0,84	0,30-0,33	5,6-5,7	0,52
	verde	3	0,65	0,06	0,84	0,81	5,9	0,73
		4	0,58	0,06	0,84	0,78	5,8	0,68
		6	0,46-0,48	0,05-0,06	0,84	0,72	5,7-5,8	0,59-0,61
		8	0,39-0,4	0,05	0,84	0,66	5,6-5,7	0,53-0,56
vetro riflettente (per pirolisi)	argento (1	6	0,61-0,65	0,25	0,84	0,64	5,7-5,8	0,63-0,67
		8	0,6-0,62	0,25	0,84	0,63-0,64	5,6-5,7	0,63-0,65
	(2	6	0,61-0,65	0,22-0,21	0,84	0,64	5,7-5,8	0,64-0,68
		8	0,62-0,63	0,21	0,84	0,63-0,64	5,6-5,7	0,64-0,66
	chiaro (1	6	0,46-0,53	0,27-0,39	0,84	0,43-0,49	5,7-5,8	0,5-0,57
		8	0,46-0,51	0,25-0,27	0,84	0,43-0,44	5,6-5,7	0,54-0,56
	(2	6	0,26-0,53	0,17-0,39	0,84	0,14-0,45	5,7-5,8	0,36-0,59
		8	0,28-0,29	0,24-0,27	0,84	0,21-0,24	5,7-5,8	0,39-0,41
	bronzo (1	6	0,23-0,24	0,24-0,27	0,84	0,18-0,19	5,6-5,7	0,36-0,37
		8	0,28-0,42	0,09-0,10	0,84	0,23-0,41	5,7-5,8	0,43-0,55
(2	6	0,23-0,34	0,07-0,08	0,84	0,18-0,33	5,6-5,8	0,34-0,42	
	8	0,07-0,29	0,11-0,36	0,84	0,08-0,35	4,3-5,2	0,21-0,45	
vetro riflettente (per polverizzazione catodica)	argento (2	6	0,06-0,09	0,10-0,12	0,84	0,08-0,17	4,3-5,1	0,22-0,31
		6	0,06-0,29	0,10-0,26	0,84	0,07-0,35	4,3-5,2	0,21-0,45
	bronzo (2	6	0,06-0,20	0,06-0,13	0,84	0,11-0,33	4,3-5,1	0,22-0,36
		6	0,06-0,36	0,07-0,33	0,84	0,08-0,40	4,4-5,5	0,18-0,49
vetro riflettente (per sputtering magnetronico)	blu (2	6	0,15-0,33	0,09-0,21	0,84	0,20-0,40	4,7-5,3	0,28-0,47
		6	0,09-0,21	0,05-0,11	0,84	0,11-0,21	4,8-5,5	0,26-0,39
		6	0,06-0,22	0,05-0,14	0,84	0,11-0,34	4,7-5,5	0,23-0,4
vetro	faccia 1	4	0,62-0,76	0,11-0,15	0,10-0,30	0,80-0,87	3,4	0,74-0,78
	faccia 1	6	0,56-0,73	0,11-0,15	0,10-0,30	0,79-0,86	3,4	0,72-0,77
	faccia 2	4	0,76	0,1	0,10-0,30	0,8	3,4	0,77
	faccia 2	6	0,73	0,1	0,10-0,30	0,79	3,4	0,77

Nota: (1, (2, (3 indicano la posizione del film sul vetro, cioè rispettivamente sulla faccia esterna e sulla faccia interna

TABELLA SINOTTICA RIASSUNTIVA DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI (luminose ed energetiche) DI VETROCAMERA

TIPOLOGIA	COLORE	s [mm]	τ_s	τ_1	U [W/m ² K]	TSET
chiaro + chiaro	chiaro + chiaro	6/12/6	0,64-0,72	0,78-0,82	3,0-3,1	0,72-0,77
	bronzo + chiaro	6/12/6	0,37-0,39	0,43-0,44	3,0-3,1	0,47-0,48
	grigio + chiaro	6/12/6	0,36-0,40	0,38	3,0-3,1	0,47-0,49
	verde + chiaro	6/12/6	0,38-0,39	0,64-0,67	3,0-3,1	0,46-0,48
riflettente per pirolisi + chiaro	argento + chiaro (1	6/12/6	0,23-0,51	0,19-0,59	3,0-3,1	0,32-0,56
	argento + chiaro (2	6/12/6	0,51	0,59	3,1	0,57
	chiaro + chiaro (1	6/12/6	0,38-0,52	0,29-0,58	3,0-3,1	0,44-0,59
	chiaro + chiaro (2	6/12/6	0,38-0,52	0,3-0,58	3,0-3,1	0,44-0,6
	bronzo + chiaro (1	6/12/6	0,23-0,32	0,20-0,31	3,0-3,1	0,3-0,4
	bronzo + chiaro (2	6/12/6	0,23-0,32	0,21-0,31	3,0-3,1	0,34-0,42
riflettente per polverizzazione catodica + chiaro	argento + chiaro (2	6/12/6	0,06-0,29	0,07-0,51	1,4-2,7	0,12-0,33
	bronzo + chiaro (2	6/12/6	0,05-0,21	0,07-0,36	1,4-2,6	0,14-0,26
	grigio + chiaro (2	6/12/6	0,05-0,44	0,06-0,47	2,2-2,9	0,14-0,51
	verde + chiaro (2	6/12/6	0,06-0,24	0,10-0,38	1,3-2,7	0,14-0,28
riflettente per sputtering magnetronico + chiaro	argento + chiaro (2	6/12/6	0,05-0,29	0,07-0,36	2,3-2,8	0,12-0,39
	blu + chiaro (2	6/12/6	0,12-0,27	0,18-0,36	2,4-2,7	0,2-0,37
	bronzo + chiaro (2	6/12/6	0,07-0,17	0,10-0,19	2,5-2,8	0,18-0,28
	verde + chiaro (2	6/12/6	0,05-0,18	0,10-0,31	2,4-2,8	0,14-0,29
chiaro + basso emissivo	chiaro+chiaro b-e (3	6/12/6	0,48-0,62	0,67-0,77	1,6-2,3	0,61-0,71
bassoemissivo + chiaro	chiaro b-e + chiaro (2	6/12/6	0,34-0,49	0,51-0,7	1,8	0,42-0,56
	grigio b-e + chiaro (2	6/12/6	0,21	0,08-0,23	1,8	0,27-0,28
	bronzo b-e+chiaro (2	6/12/6	0,21	0,3	1,8	0,28
	verde b-e +chiaro (2	6/12/6	0,15-0,21	0,33-0,43	1,7	0,21-0,28
	grigio + chiaro b-e (3	6/12/6	0,23-0,29	0,26-0,36	1,5-1,9	0,38-0,42
assorbente + basso emissivo	bronzo+chiaro b-e (3	6/12/6	0,29-0,30	0,37-0,41	1,5-1,6	0,39-0,42
	verde+chiaro b-e (3	6/12/6	0,24-0,33	0,44-0,61	1,5-1,9	0,39-0,42
	grigio(1+chiaro b-e(1	6/12/6	0,17-0,22	0,14-0,18	1,6-1,8	0,24-0,33
riflettente per pirolisi + basso emissivo	grigio(2+chiaro b-e(1	6/12/6	0,17-0,22	0,16-0,23	1,6	0,29-0,35
	arg.(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,46	0,53	2,3	0,54
	arg.(2+chiaro b-e(3	6/12/6	0,46	0,53	2,3	0,54
	ch.(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,30-0,41	0,34-0,51	1,6-2,3	0,43-0,56
	ch.(2 +chiaro b-e (3	6/12/6	0,30-0,41	0,37-0,51	1,6-2,3	0,44-0,56
	bronzo(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,21	0,18	1,8-2,3	0,26-0,29
riflettente per polverizzazione catodica + bassoemissivo	bronzo(2+chiaro b-e(3	6/12/6	0,21-0,29	0,18-0,37	1,6-2,3	0,29-0,43
	arg.(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,05-0,21	0,07-0,30	1,4-1,6	0,1-0,29
	bronzo(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,07-0,10	0,07-0,15	1,4-1,8	0,1-0,17
	grigio(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,06-0,13	0,06-0,17	1,4-1,7	0,12-0,2
	verde(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,05-0,15	0,10-0,28	1,4-1,8	0,11-0,22
	arg.(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,04-0,23	0,07-0,33	<1,3	0,1-0,33
riflettente per sputtering magnetronico + bassoemissivo	blu(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,10-0,21	0,17-0,33	<1,3	0,16-0,29
	bronzo(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,06-0,13	0,09-0,17	<1,3	0,11-0,22
	verde(1+chiaro b-e(3	6/12/6	0,04-0,14	0,09-0,28	<1,3	0,1-0,22

Nota: (1, (2, (3 indicano la posizione del film sul vetro, cioè rispettivamente sulla faccia esterna, in intercapedine sulla faccia esterna, in intercapedine sulla faccia interna

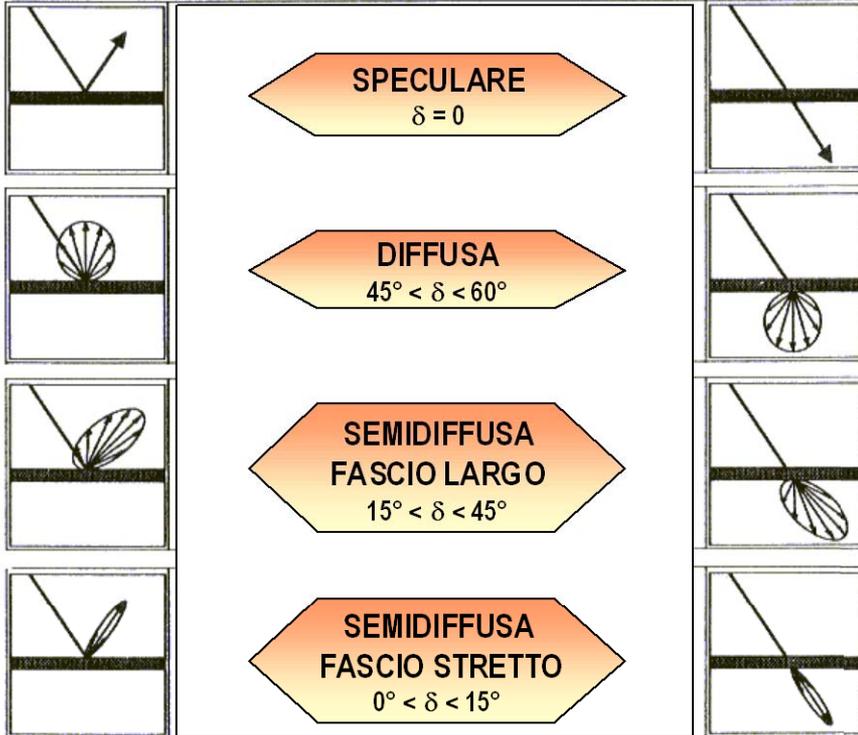
<i>tipologia di vetro (a lastra singola o in vetrocamera)</i>	τ_l [-]
vetro chiaro singolo	0.87 – 0.91
vetro singolo colorato:	
bronzo	0,39 – 0,67
grigio	0,30 – 0,60
verde	0,66 – 0,81
vetro riflettente	
chiaro	0,63 – 0,64
argento	0,14 – 0,49
bronzo	0,18 – 0,33
vetrocamera (chiaro + chiaro)	0.78 – 0.86
vetrocamera (riflettente + chiaro)	
riflettente chiaro + chiaro	0.30 – 0.58
riflettente argento + chiaro	0,19 – 0,59
riflettente bronzo + chiaro	0,20 – 0,44
riflettente verde + chiaro	0,60 – 0,67
vetrocamera (assorbente + chiaro bassoemissivo)	
assorbente argento + chiaro b.e.	0,29 – 0,45
assorbente bronzo + chiaro b.e.	0,37 – 0,41
assorbente verde + chiaro b.e.	0,44 – 0,61

FATTORE di TRASMISSIONE LUMINOSA

MODALITA' DI TRASMISSIONE E RIFLESSIONE DELLA LUCE

RIFLESSIONE

TRASMISSIONE



TEMPERATURA DI COLORE E RESA DEL COLORE

Viene valutata illuminando il componente con una sorgente di riferimento (illuminante di riferimento CIE D65)

Sorgente campione:

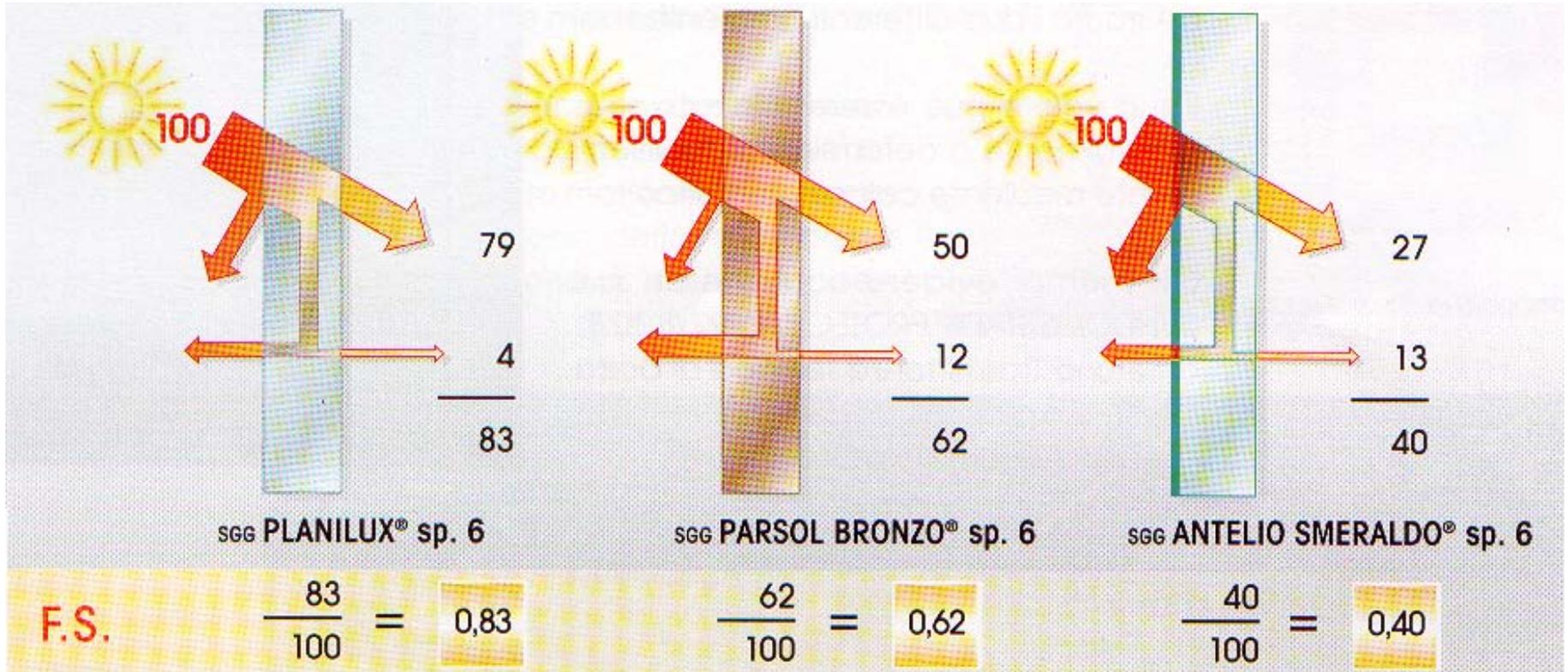
$T_c = 6000 \text{ K}$

$R_a = 100$



Daylighting
Modulo di Fisica Tecnica
prof. Marco Frascarolo

Fattore Solare di lastre vetrate



tipologia di schermo o di pacchetto vetro + schermo τ_l
[-]

tende a bande verticali orientabili a trama fitta	
colore azzurro	0,28
colore arancione	0,35
colore grigio	0,19
tende a rullo filtranti a trama fitta	
colore nero	0,10
colore bianco	0,22
colore azzurro	0,15
tende plissé a trama fitta	
colore blu, argento, rosso	0,25
colore bianco	0,56
colore giallo	0,52
colore grigio	0,32
tende in stoffa a trama fitta	
colore blu, argento	0,04
colore beige	0,28
colore bianco	0,48
vetrocamera (chiaro + chiaro) + tenda veneziana (interna o in intercapedine)	0,10 – 0,19
vetrocamera (chiaro + chiaro) + frangisole esterno verticale a griglia	0,25 – 0,40
vetrocamera (chiaro + chiaro) + light-shelf interno	0,55
vetrocamera (chiaro + chiaro) + light-shelf interno-esterno	0,4
vetrocamera (chiaro + chiaro) + lamelle speculari	0,3

FATTORE di TRASMISSIONE LUMINOSA

Coefficiente di riflessione dei materiali più comuni

<i>Colore</i>	<i>Fattore riflessione %</i>	<i>Materiale</i>	<i>Fattore riflessione %</i>
Bianco	70-85	Vernice bianca	87-88
Grigio chiaro	45-65	Alluminio, anodizzato lucido	75-87
Grigio	25-40	Alluminio, anodizzato opaco	75-84
Grigio scuro	10-20	Contros. fonoass. bianco, forato	60-80
Nero	5	Marmo, bianco	60-70
Giallo	65-75	Malta, chiara	35-50
Bruno giallastro	30-50	Calcestruzzo, chiaro	30-40
Marrone scuro	10-25	Calcestruzzo scuro	15-25
Verde chiaro	30-55	Arenaria, chiara	30-40
Verde scuro	10-25	Arenaria, scura	15-25
Rosa	45-60	Granito	15-25
Rosso chiaro	25-35	Mattoni, chiari	20-30
Rosso scuro	10-20	Mattoni, scuri	10-15
Celeste	30-55	Legno, chiaro	30-50
Blu	10-25	Legno, scuro	10-25
		Acciaio inox	55-65
		Vetro chiaro	7
		Vetro riflettente	20-30
		Vetro colorato	7
		Erba	6-10
		Vegetazione	25

LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Circolare del Ministero dei Lavori pubblici n° 3151 del 22/5/1967 indirizzata all'edilizia civile sovvenzionata
- Circolare del Ministero dei Lavori pubblici n° 13011 del 22/12/1974 indirizzata all'edilizia ospedaliera
- Decreto del Ministero della Sanità del 5/7/1975 indirizzato all'edilizia residenziale
- Decreto Ministeriale del 18/12/1975 indirizzato all'edilizia scolastica
- Normativa Tecnica della regione Emilia Romagna n°48 del 3/11/1984 per l'edilizia residenziale pubblica
- UNI 10840 "Locali scolastici - criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale", marzo 2000

	$FLD_m \geq 1\%$	$FLD_m \geq 2\%$	$FLD_m \geq 3\%$	$FDL_m \geq 5\%$
Edilizia residenziale	_____	tutti i locali di abitazione	_____	_____
Edilizia scolastica	uffici,spazi di distribuzione, scale,servizi igienici	palestre refettori, e aule comuni	ambienti a uso didattico, laboratori	aule giochi, aule nido
Edilizia ospedaliera	come edilizia scolastica	palestre e refettori	ambienti di degenza, diagnostica, laboratori	_____