

# LA LUCE NATURALE: ASPETTI QUALITATIVI

**Prof. Ing. Marco Frascarolo**

Università degli studi RomaTre

Dipartimento di Architettura

---

# CRITERI DI VALUTAZIONE DEL COMFORT VISIVO

---

## APPROCCIO QUALITATIVO:

- DISTRIBUZIONE DELLE LUMINANZE
- PRESENZA DI FENOMENI DI ABBAGLIAMENTO
- CONTRASTO E DIREZIONALITA DELLA LUCE
- RESA CROMATICA
- VISTA VERSO L'ESTERNO
- COLORE DELLA LUCE

# RESA DEL CONTRASTO

Il comfort visivo connesso allo svolgimento di attività di lettura e scrittura dipende in modo particolare dal **CONTRASTO DI LUMINANZA**

$$C = \frac{L_f - L_c}{L_f}$$

$L_f$  = luminanza dello sfondo       $L_c$  = luminanza del carattere

Ad un abbassamento eccessivo del contrasto relativo corrisponde una diminuzione della prestazione visiva



La **RESA DEL CONTRASTO** dipende:

- dal tipo di superficie dell'oggetto osservato
- dall'angolo di incidenza della luce
- dall'indicatrice ottica dell'apparecchio

Importante per la percezione

# DISTRIBUZIONE DELLE LUMINANZE

L'occhio percepisce l'ambiente e gli oggetti in ragione della loro luminanza

Il comfort visivo dipende dalla ripartizione delle luminanze delle superfici comprese nel campo visivo

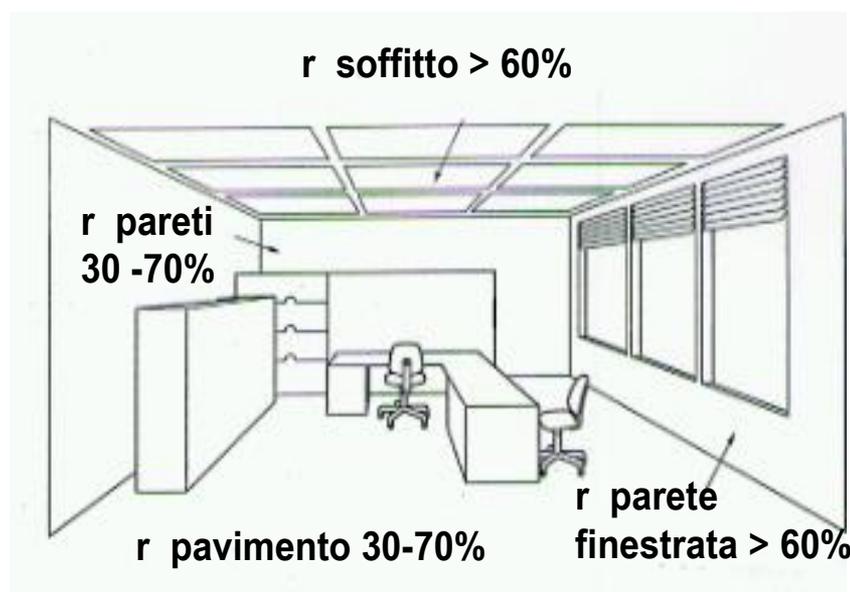


In un ambiente posso avere lo stesso livello di illuminamento sul tavolo con una distribuzione delle luminanze anche molto diversa.

Sta alla sensibilità del progettista capire quale sia la distribuzione migliore.

**La distribuzione delle luminanze dipende  
anche dai  
FATTORI DI RIFLESSIONE delle superfici**

*Fattori di riflessione consigliati per le superfici  
dell'ambiente:*

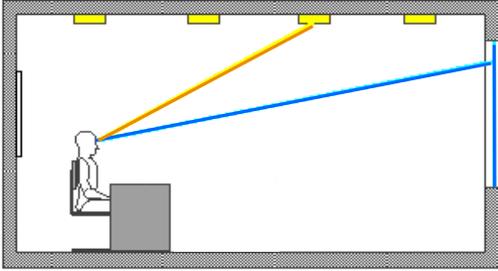


**Generalmente l'occhio umano predilige una  
distribuzione  
delle luminanze in ambiente decrescente  
dall'alto verso il basso**

Secondo questa regola negli  
ambienti pubblici si usano :

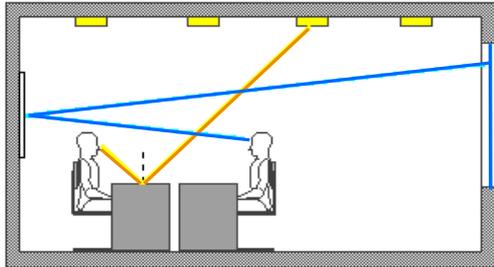
Soffitti chiari  
Pareti pastello  
Pavimenti scuri

## ABBAGLIAMENTO DIRETTO

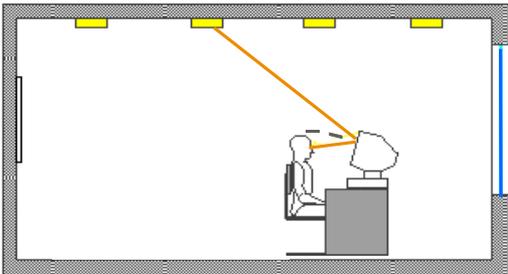


Dovuto alla presenza di una sorgente luminosa di elevata  
luminanza nel campo visivo

## ABBAGLIAMENTO RIFLESSO



Bisogna calcolare l'angolo di offesa



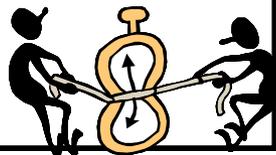
Dovuto alla riflessione della luce su una superficie lucida  
orizzontale o verticale

## ABBAGLIAMENTO RIFLESSO DA VELO

Si verifica quando su una superficie lucida del compito visivo si creano riflessi dovuti a sorgenti o superfici luminose



Valori tratti da ISO 9241-6  
“Ergonomic requirements  
for office work with visual  
display terminals (VDTs)”  
- 1999



---

## VISTA VERSO L'ESTERNO

---

Esigenza psicologica degli utenti, legata a:

- conoscenza della condizioni climatiche esterne  
↳ trascorrere del tempo
- capacità di orientamento
- senso di sicurezza contatto con il mondo esterno

Una soddisfacente vista verso l'esterno comprende:

- la fascia superiore, corrispondente al cielo
- la fascia corrispondente all'orizzonte (sfondo), comprendente scenari naturali
- la fascia corrispondente agli oggetti in primo piano.

## VISTA VERSO L'ESTERNO

- filo superiore della finestra posizionato ad un'altezza  $>$  dell'altezza degli occhi di una persona in piedi (1.7 m) [valore raccomandato: 2.2 m]
- davanzale posizionato ad un'altezza  $<$  all'altezza di una persona seduta (1.2 m) [0.5 in camera di degenza in ospedale]
- superficie della finestra  $>$  di una frazione minima di area della parete in cui si trova

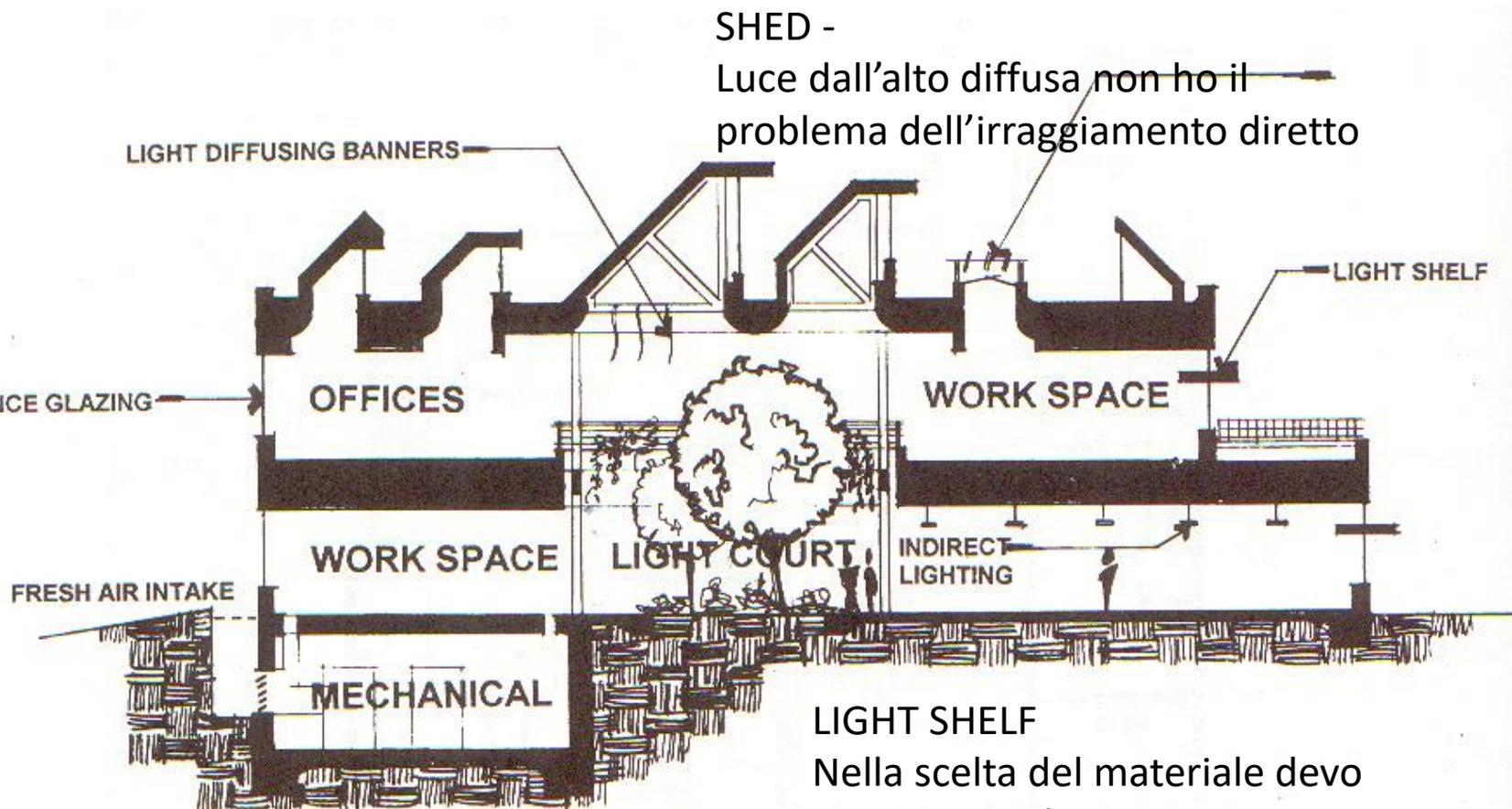
<i>profondità del locale [m]</i>	<i>percentuale minima dell'area della finestra rispetto all'area della parete in cui si trova [%]</i>
$< 8$	20
$8 \div 11$	25
$11 \div 14$	30
$> 14$	35

Fornite dalla norma UNI 10530

“Principi ed ergonomia della visione”

(Si ringrazia l'arch. Valerio Lo verso, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino per il materiale didattico)

# Diversi metodi di utilizzo della luce naturale per l'illuminazione degli ambienti interni

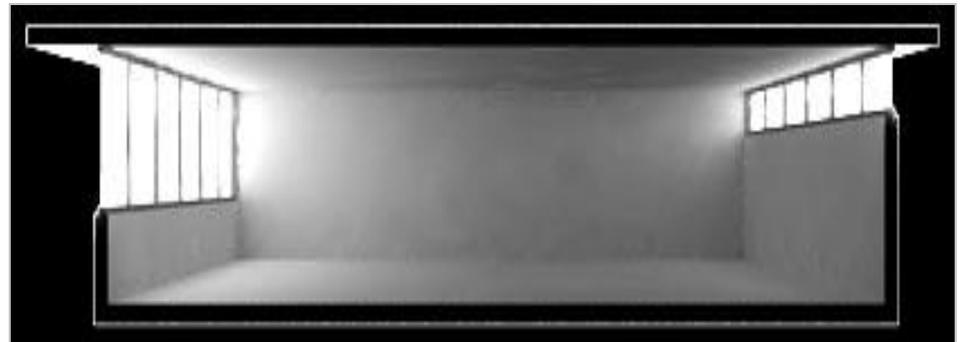
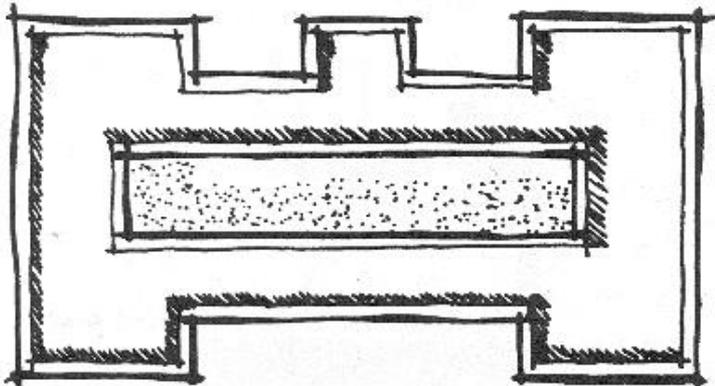
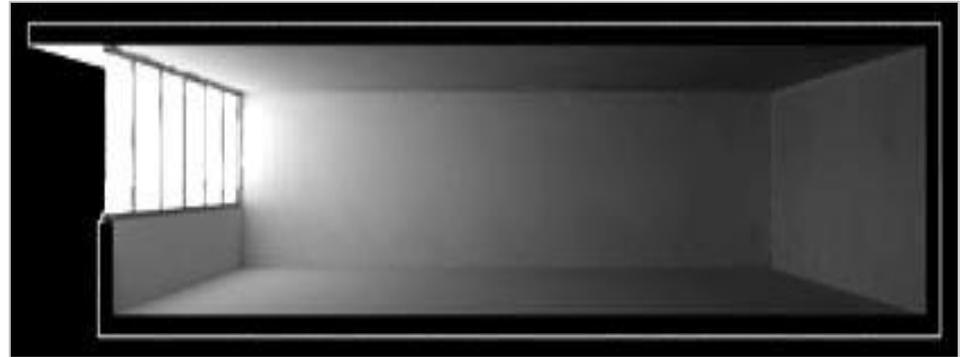
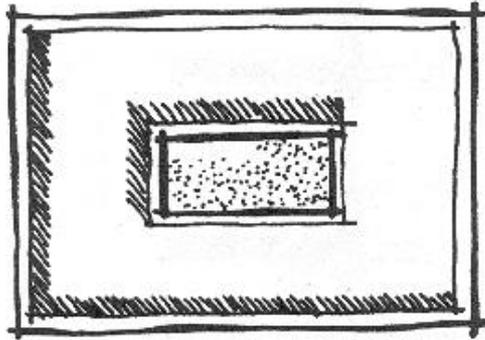
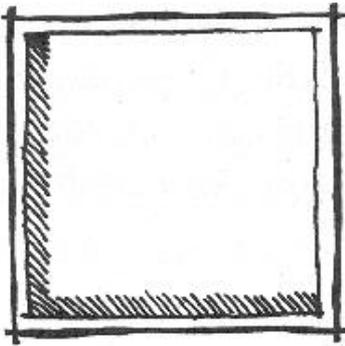


## LIGHT SHELF

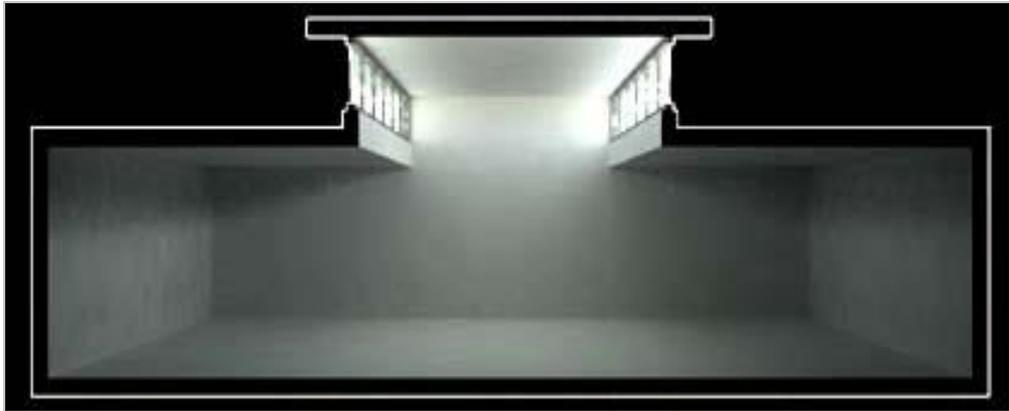
Nella scelta del materiale devo considerare l'altezza..

Se non lo vedo scelgo un materiale che tende alla riflessione speculare più avrò luce in ambiente

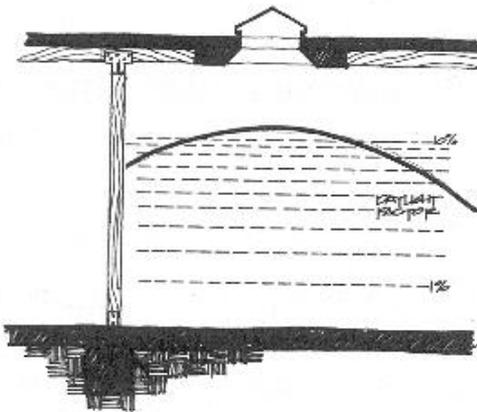
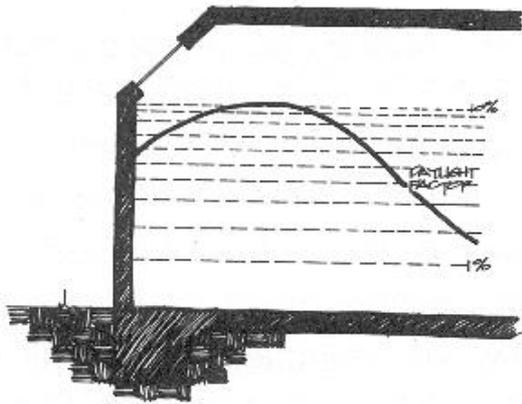
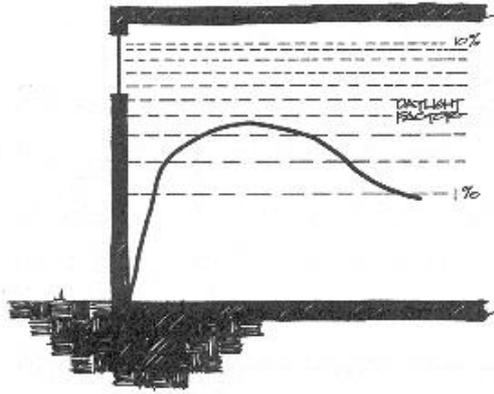
**Contributo della luce naturale  
al variare della complessità  
della pianta dell'edificio**



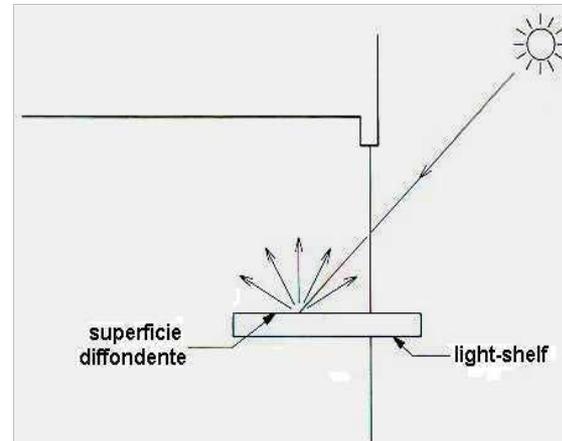
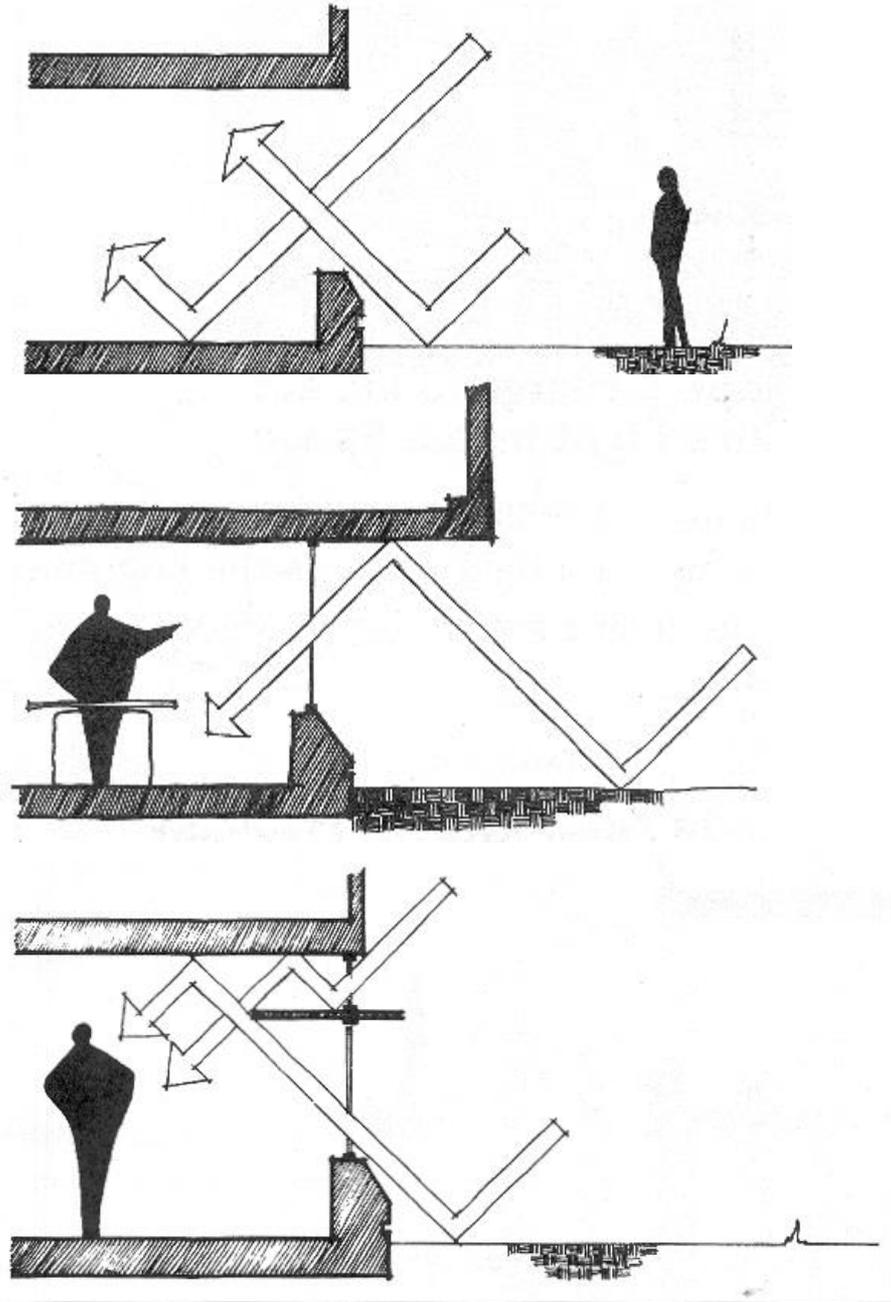
## illuminazione zenitale



# Distribuzione della luce per diversi tipi di infissi

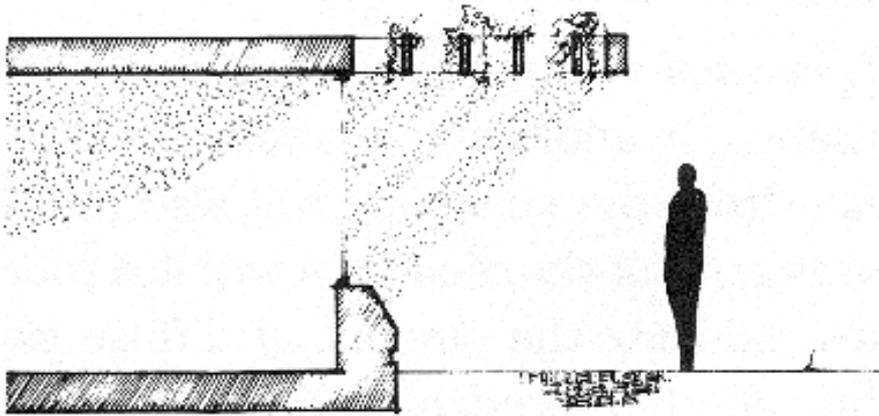


## Diversi metodi di controllo della luce naturale in ingresso



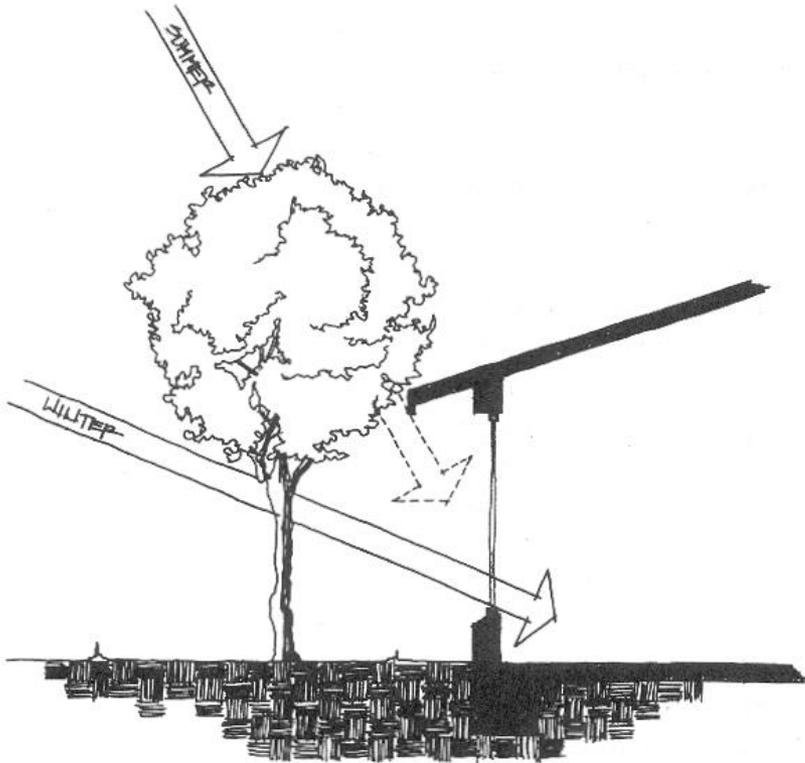
zali riflettenti

## Diversi metodi di controllo della luce naturale in ingresso



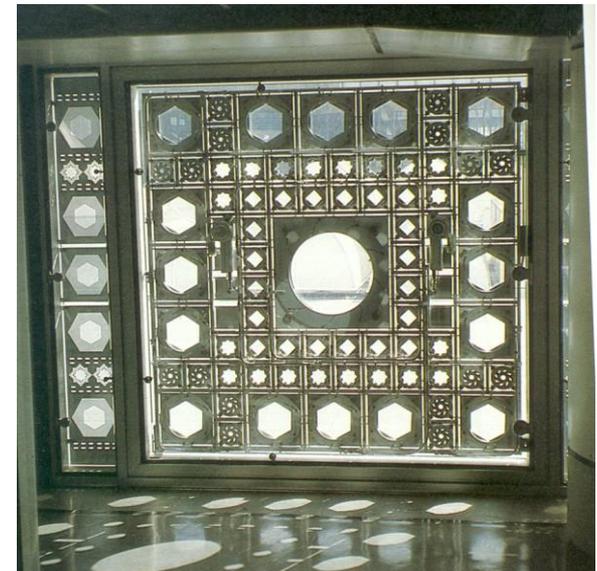
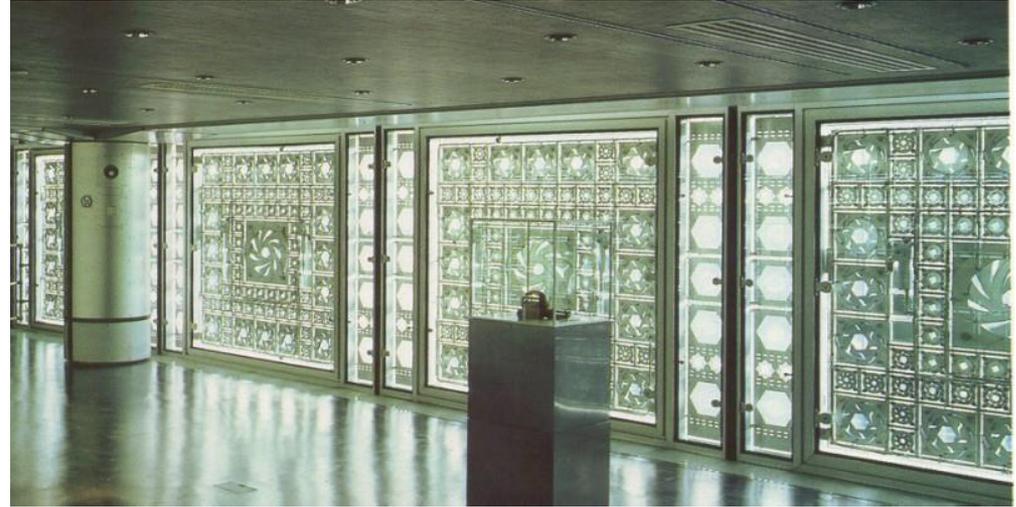
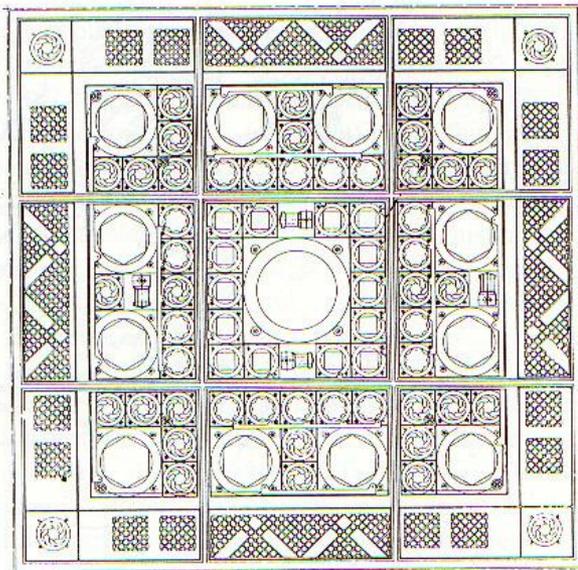
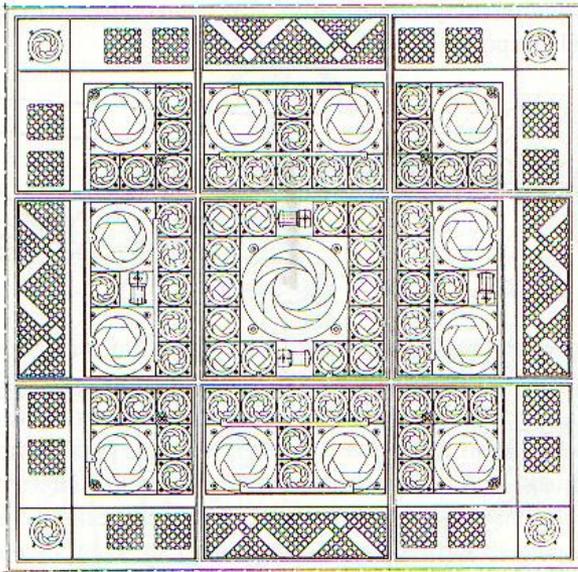
Alberi caducifoglie

Ottime schermature naturali, d'inverno perdono le foglie e fanno entrare più luce

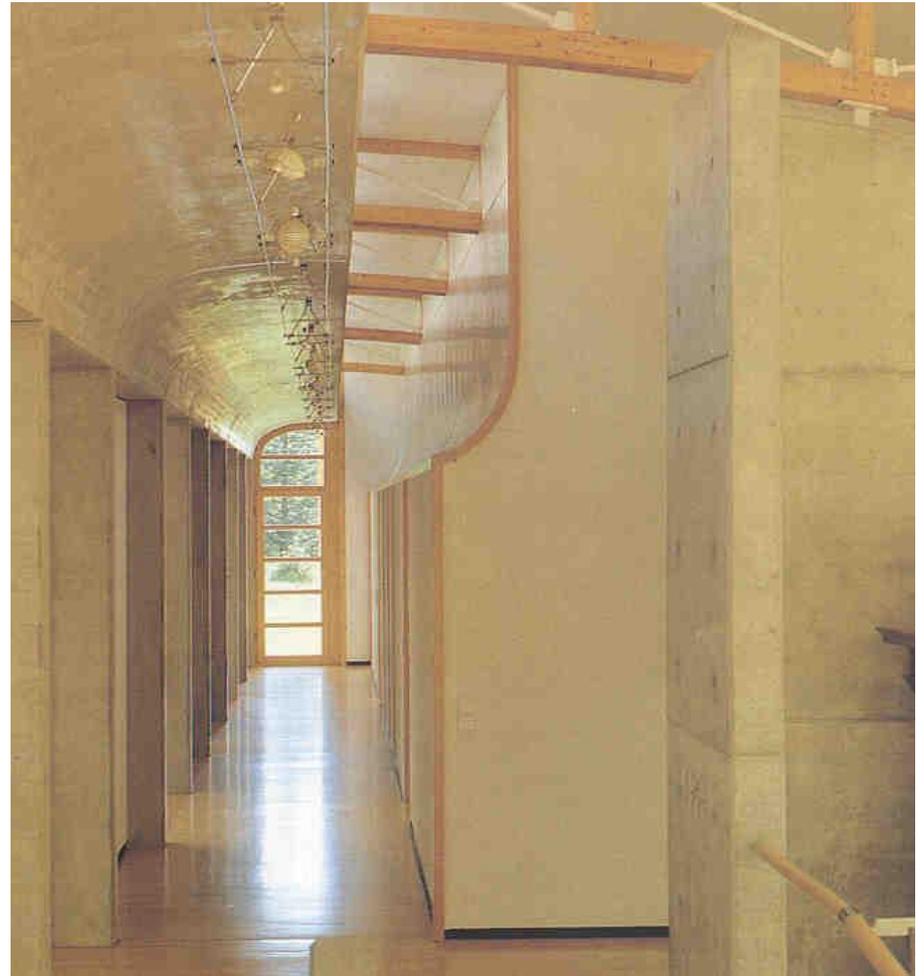
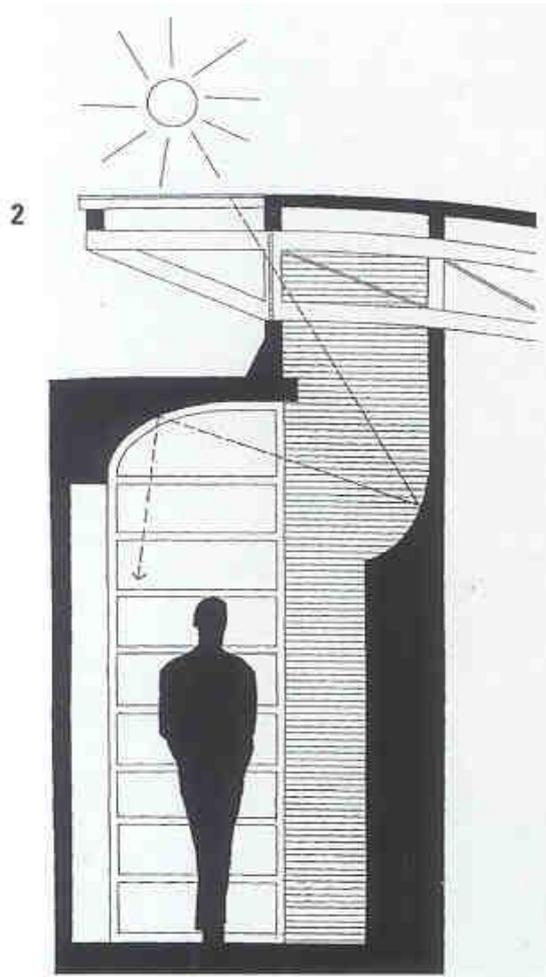


# Sistema di serrande regolabili tipo “diaframma”

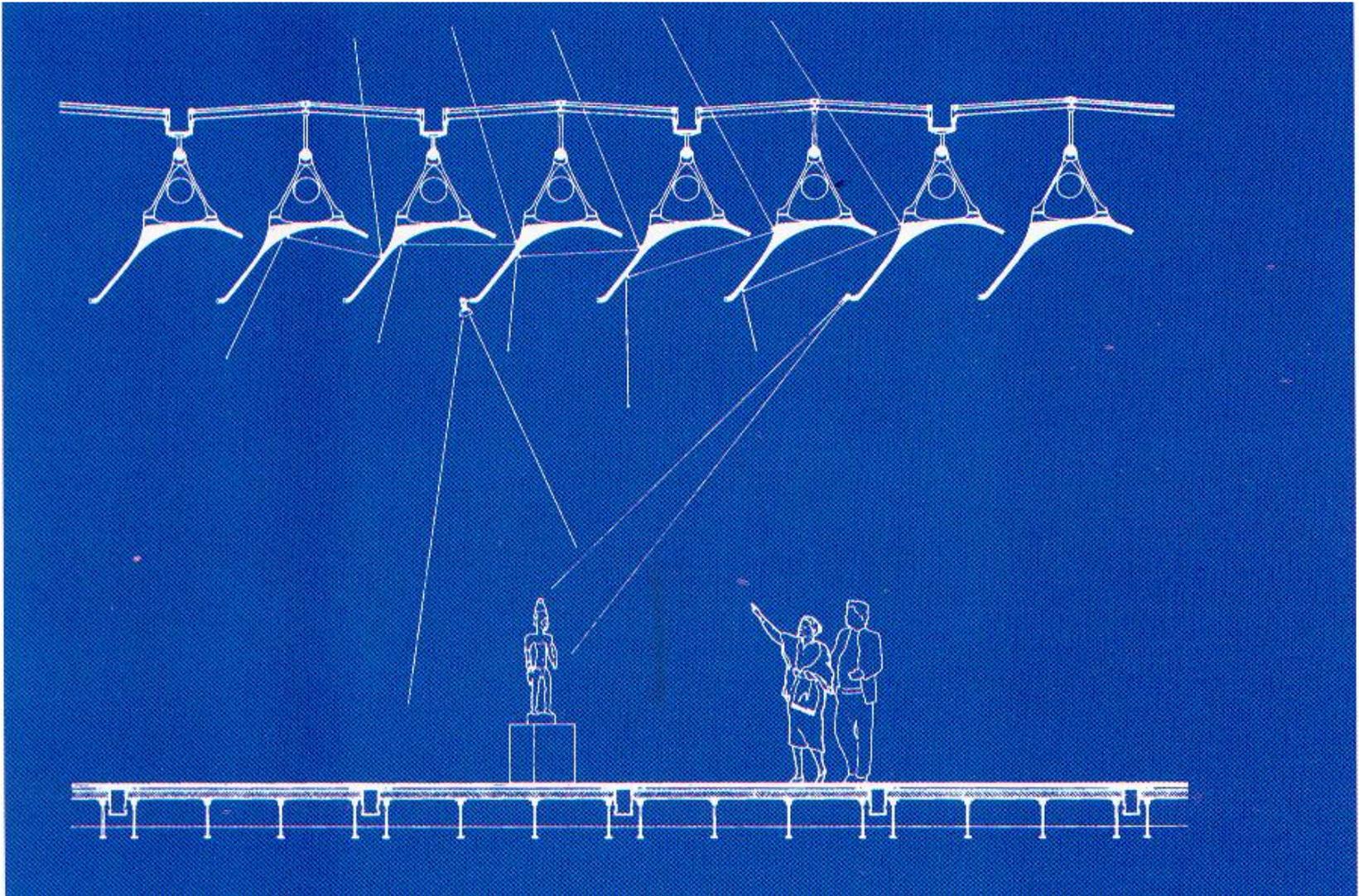
Istituto del mondo arabo. Parigi. Arch. J.Nouvel

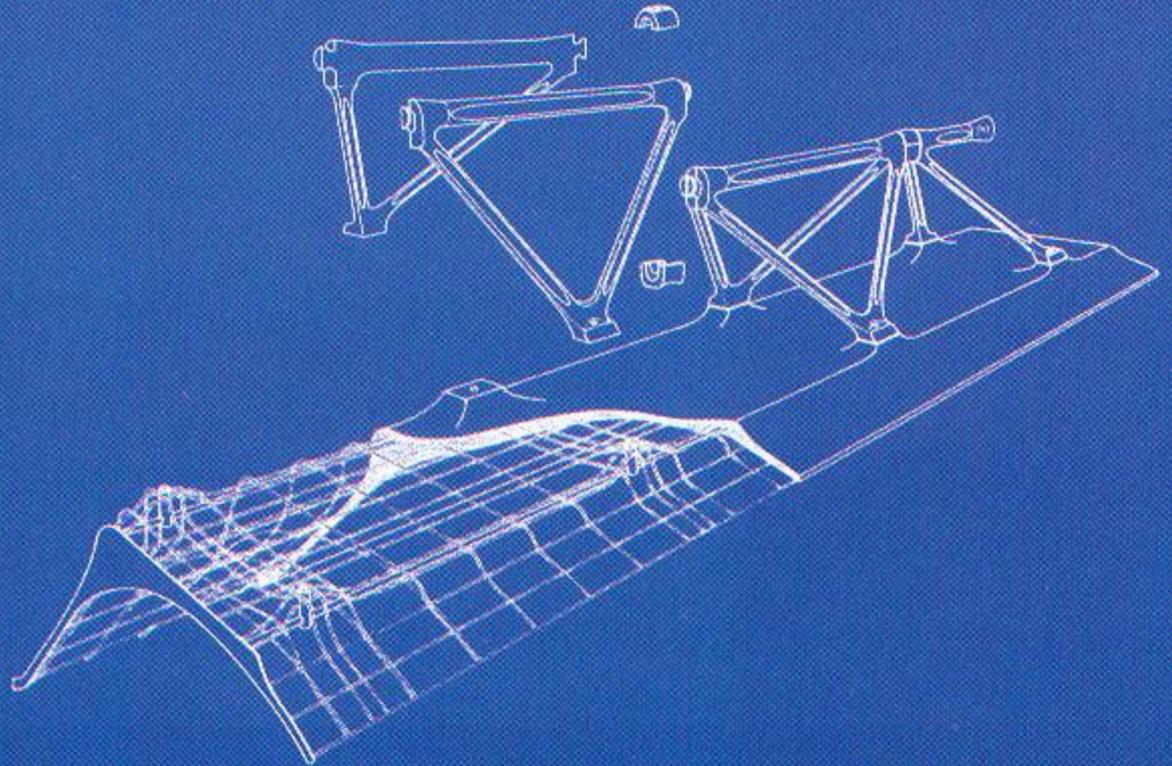
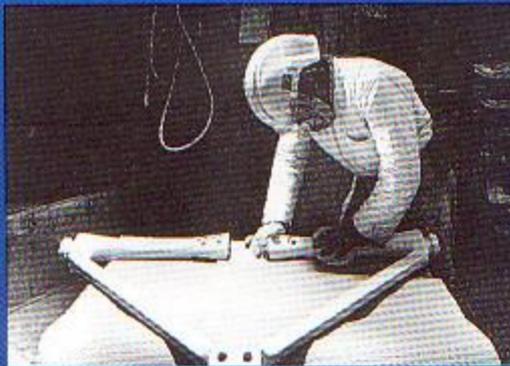
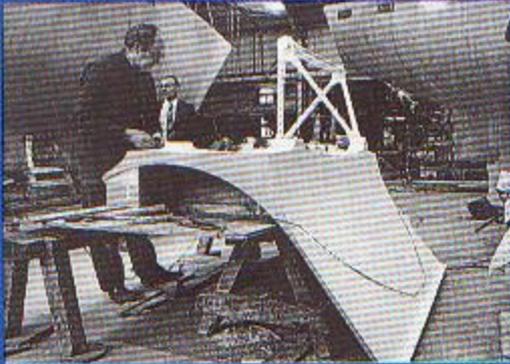


## Sistema di illuminazione naturale a luce riflessa

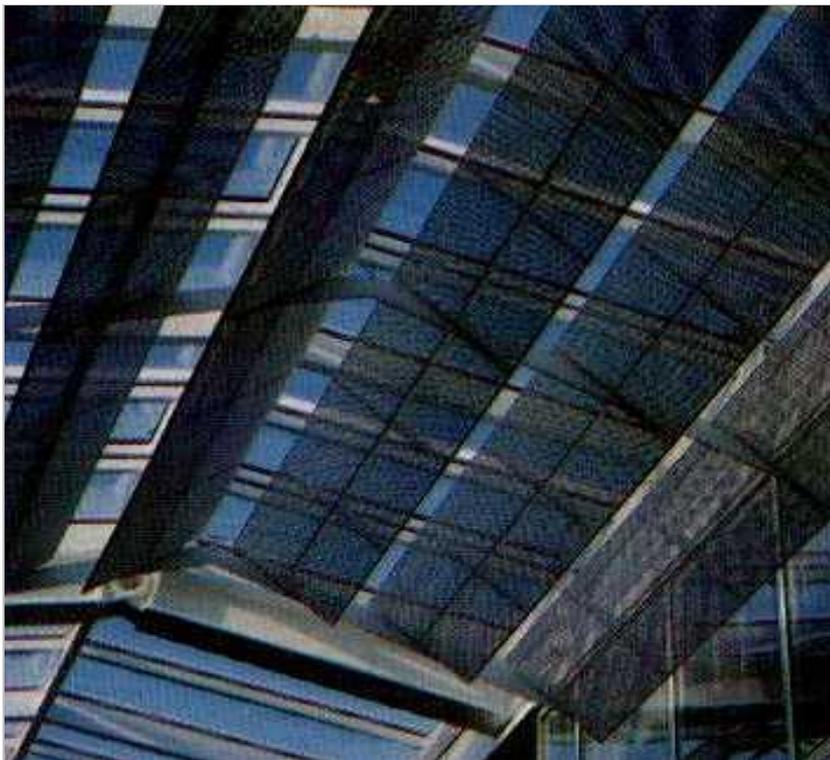


Menil Collection - Houston (Texas) - Arch. Renzo Piano  
**Sistema per l'illuminazione naturale diffusa delle sale espositive**







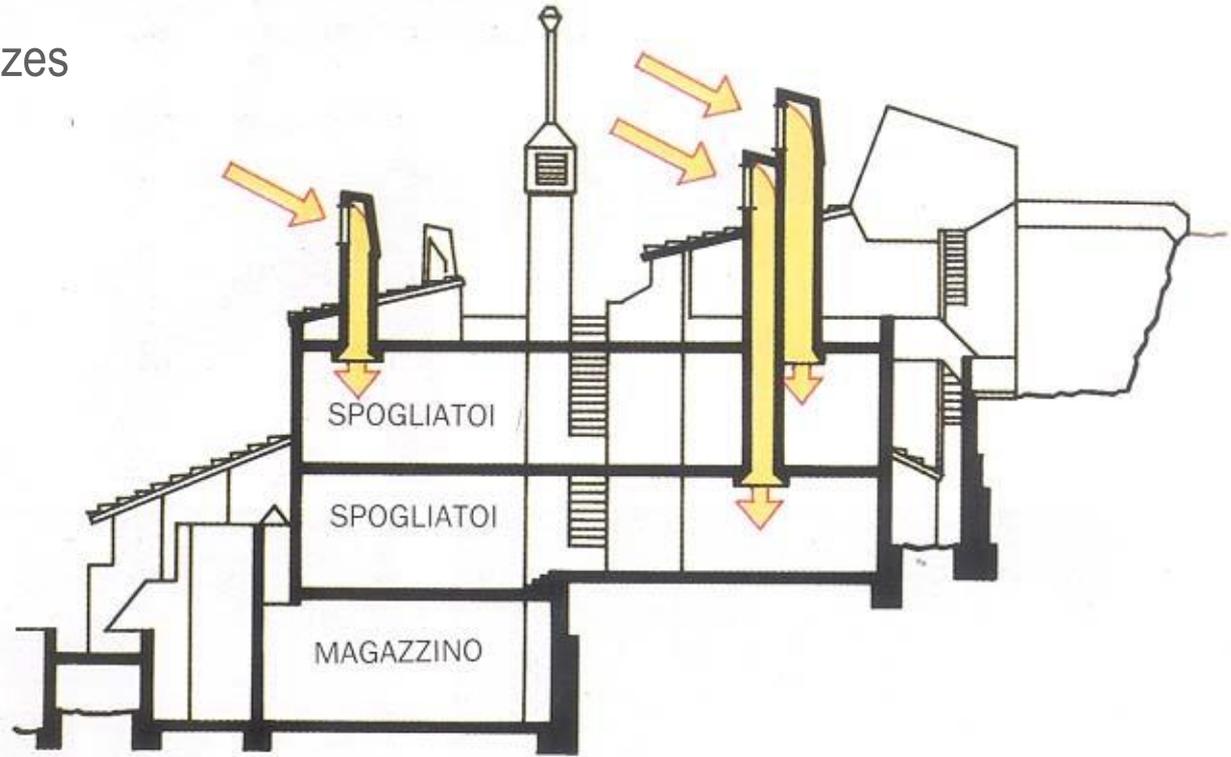
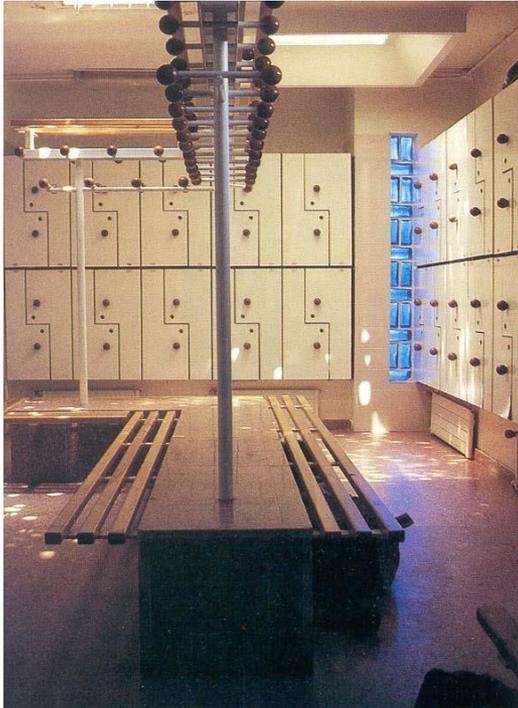


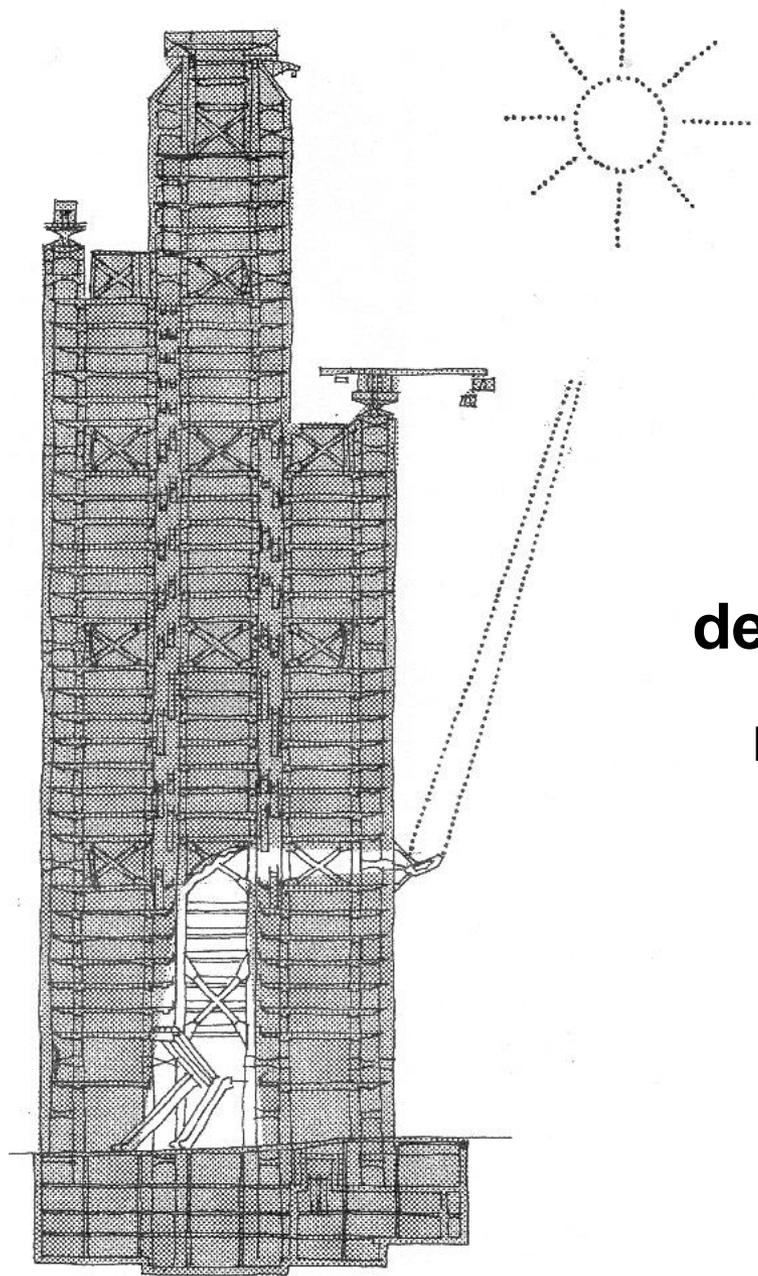
**illuminazione zenitale**  
**Sistemi di schermatura**



# CAMINI DI LUCE

Club Desportes Hispano - Franzes  
arch. Rafael Serra  
Barcelona

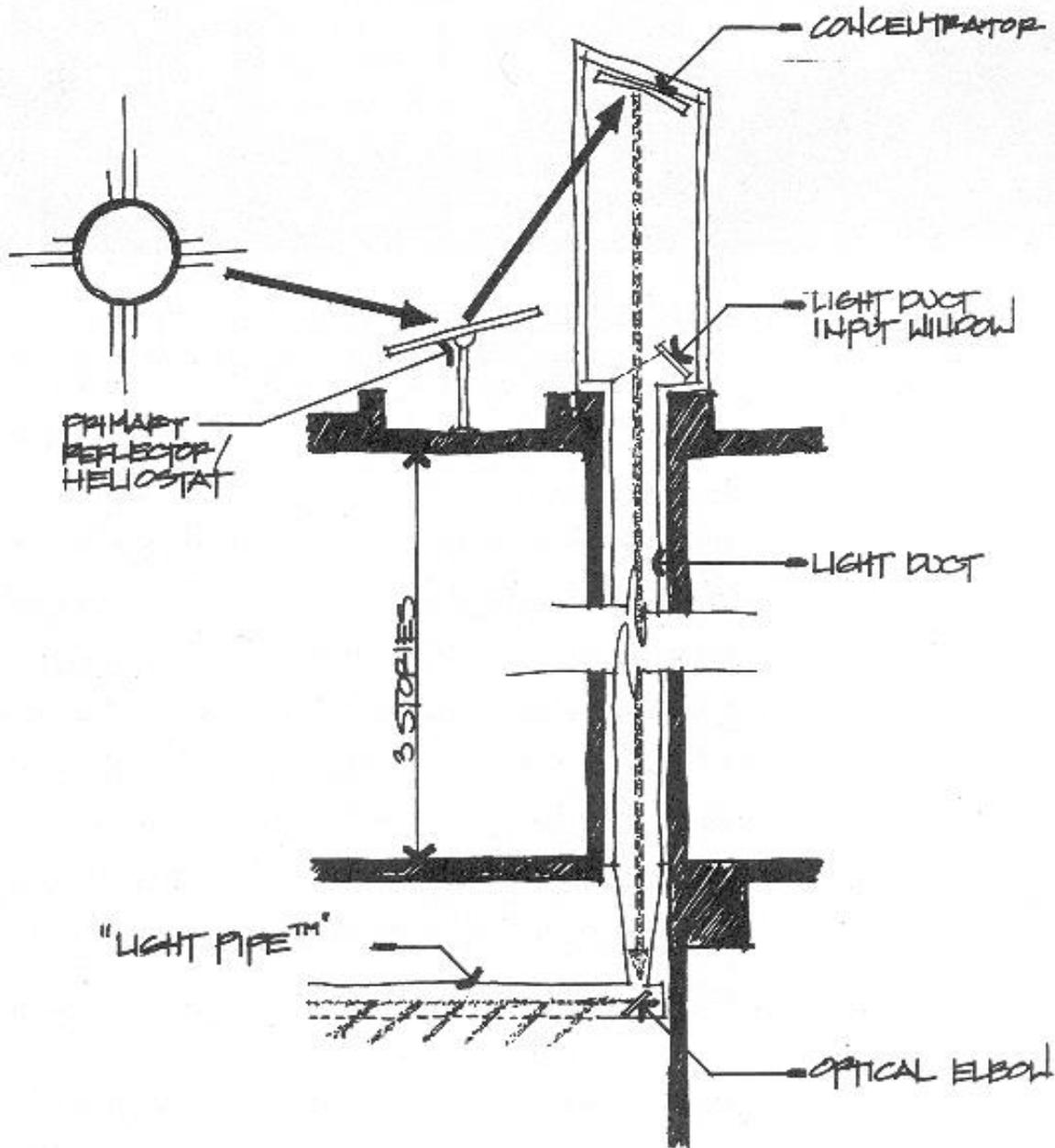




## **Sistema di convogliamento della luce naturale tramite specchi**

Hong Kong & Shanghai Banking Corporation

Hong Kong - Arch. Norman Foster



## Sistema per il convogliamento della luce naturale

Inseguitori solari:

Specchi che si muovono (in)seguendo la luce solare per portarla nell'ambiente

## Elemento di captazione della luce naturale

Postdamer Platz a Berlino (arch. R. Piano)



## Elemento di captazione della luce naturale

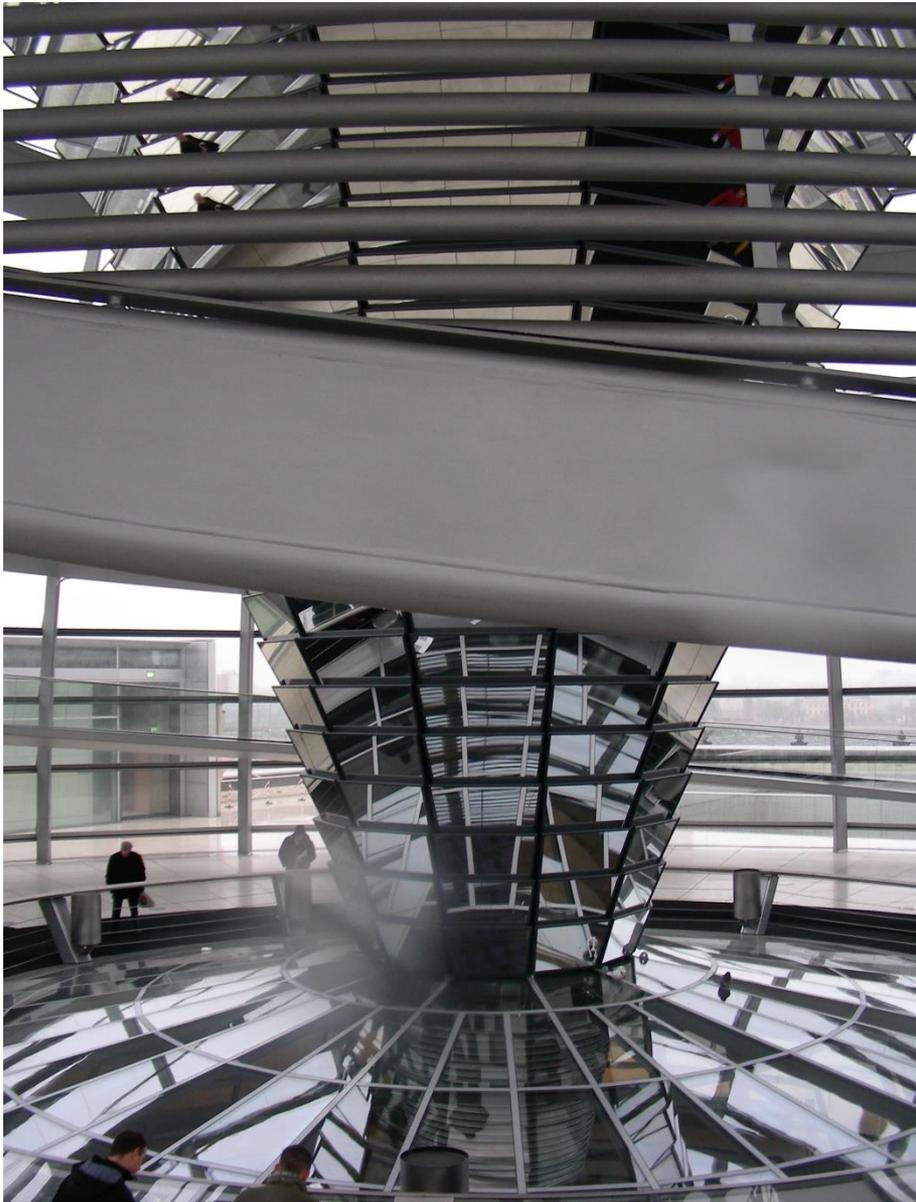


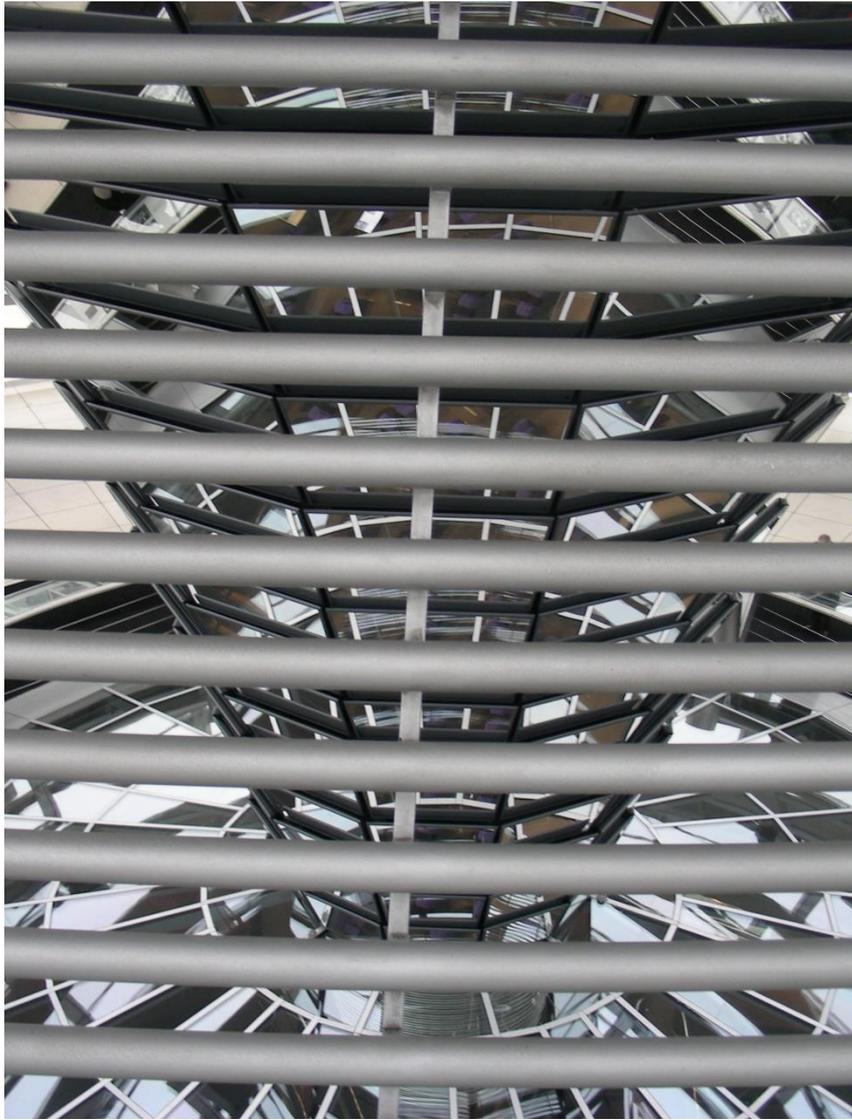
## Elemento di captazione della luce naturale











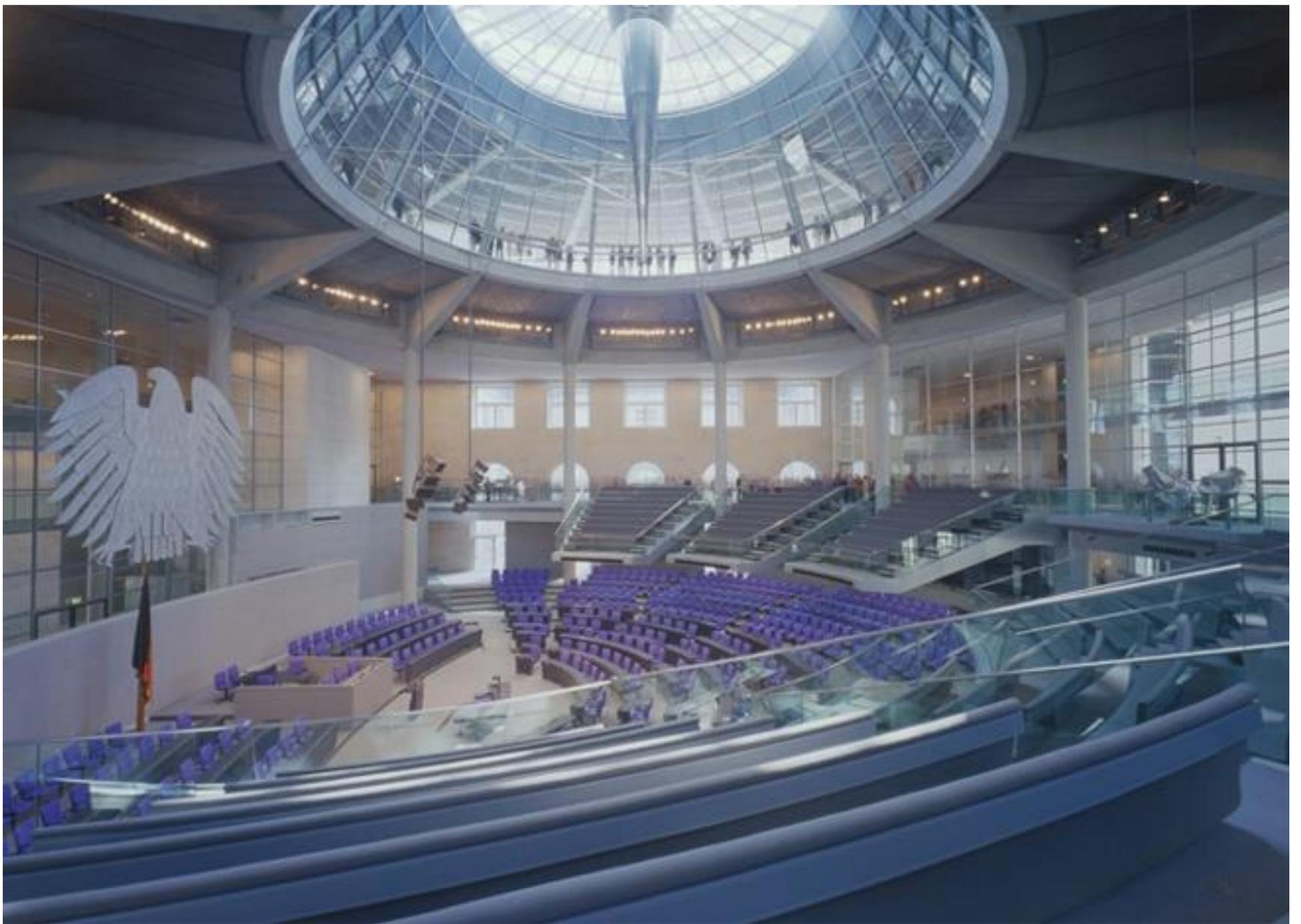
Schermatura mobile



Captatore solare in grande  
Che porta la luce dentro l'aula







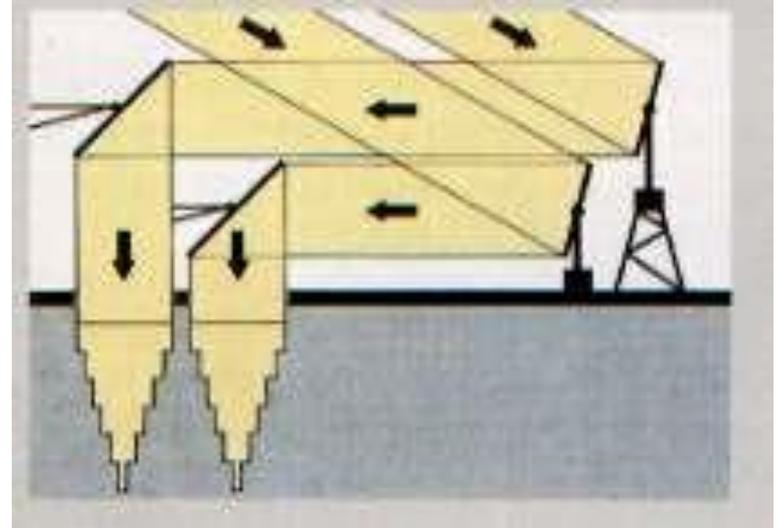
## Elementi per la diffusione della luce naturale



Questi sistemi diventano interessanti se ho una luce solida



## Elementi per la diffusione della luce naturale



Aeroporto di Manchester (arch. F. Wagner)

### IL FATTORE DI LUCE DIURNA

Il fattore di luce diurna è un parametro normato introdotto in Inghilterra da Hopkinson come rapporto di illuminamenti interno / esterno.

Utile per valutare se la dimensione delle aperture (1/8 da normativa) sia adeguato non solo dal punto di vista dell'areazione ma anche da quello illuminotecnico.

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

$E_{in}$  = 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

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

$A_f$  = superficie vetrata netta della finestra [m<sup>2</sup>]

$\tau_l$  = fattore di trasmissione luminosa del vetro

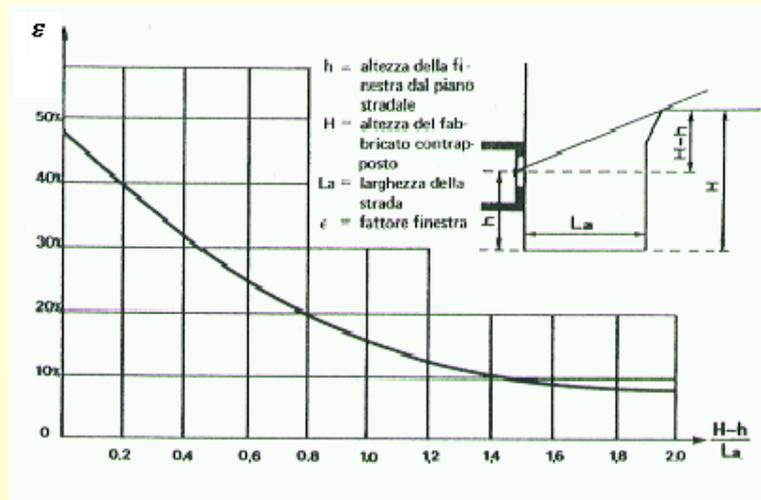
$\rho_{l,m}$  = fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

$\varepsilon$  = **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



$\psi$  = **fattore di riduzione del fattore finestra**

# IL FATTORE DI LUCE DIURNA

**A<sub>f</sub>**

Area delle superfici vetrate (LxL)

**T<sub>i</sub>**

Fattore di trasmissione luminosa

Dipende dalla tipologia del vetro  
(vd. tabella)

<i>tipologia di schermo o di pacchetto vetro + schermo</i>	$\tau_l$ [-]
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

# IL FATTORE DI LUCE DIURNA

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

TIPOLOGIA	COLORE	s [mm]	$\tau_s$	$\rho_s$	$\varepsilon$	$\tau_1$	$\dot{U}$ [W/m <sup>2</sup> 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
	verde	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
		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)	8	0,23-0,24	0,24-0,27	0,84	0,18-0,19	5,6-5,7	0,36-0,37	
	6	0,28-0,42	0,09-0,10	0,84	0,23-0,41	5,7-5,8	0,43-0,55	
(2)	8	0,23-0,34	0,07-0,08	0,84	0,18-0,33	5,6-5,8	0,34-0,42	
vetro riflettente (per polverizzazione catodica)	argento (2)	6	0,07-0,29	0,11-0,36	0,84	0,08-0,35	4,3-5,2	0,21-0,45
		6	0,06-0,09	0,10-0,12	0,84	0,08-0,17	4,3-5,1	0,22-0,31
	grigio (2)	6	0,06-0,29	0,10-0,26	0,84	0,07-0,35	4,3-5,2	0,21-0,45
		6	0,06-0,20	0,06-0,13	0,84	0,11-0,33	4,3-5,1	0,22-0,36
vetro riflettente (per sputtering magnetronico)	argento (2)	6	0,06-0,36	0,07-0,33	0,84	0,08-0,40	4,4-5,5	0,18-0,49
		6	0,15-0,33	0,09-0,21	0,84	0,20-0,40	4,7-5,3	0,28-0,47
	blu (2)	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
		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
		6	0,73	0,1	0,10-0,30	0,79	3,4	0,77

Nota: (1, (2, 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]	$\tau_s$	$\tau_1$	$\dot{U}$ [W/m <sup>2</sup> 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	
		6/12/6	0,38-0,51	0,59	3,1	0,57	
	argento + chiaro (2)	6/12/6	0,51	0,59	3,1	0,57	
		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	
		6/12/6	0,23-0,32	0,20-0,31	3,0-3,1	0,3-0,4	
	bronzo + chiaro (1)	6/12/6	0,23-0,32	0,20-0,31	3,0-3,1	0,3-0,4	
		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	
		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	
		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	
		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	
		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	
		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	
		6/12/6	0,15-0,21	0,33-0,43	1,7	0,21-0,28	
assorbente + basso emissivo	grigio + chiaro b-e (3)	6/12/6	0,23-0,29	0,26-0,36	1,5-1,9	0,38-0,42	
		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	
		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(3)	6/12/6	0,17-0,22	0,16-0,23	1,6	0,29-0,35	
		6/12/6	0,46	0,53	2,3	0,54	
	arg.(1+chiaro b-e(3)	6/12/6	0,46	0,53	2,3	0,54	
		6/12/6	0,46	0,53	2,3	0,54	
riflettente per polverizzazione catodica + bassoemissivo	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	
		6/12/6	0,30-0,41	0,37-0,51	1,6-2,3	0,44-0,56	
	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	
		6/12/6	0,21	0,18	1,8-2,3	0,26-0,29	
	bronzo(1+chiaro b-e(3)	6/12/6	0,21-0,29	0,18-0,37	1,6-2,3	0,29-0,43	
		6/12/6	0,21-0,29	0,18-0,37	1,6-2,3	0,29-0,43	
	riflettente per polverizzazione catodica + bassoemissivo	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
			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	
		6/12/6	0,05-0,15	0,10-0,28	1,4-1,8	0,11-0,22	
riflettente per sputtering magnetronico + bassoemissivo	arg.(1+chiaro b-e(3)	6/12/6	0,04-0,23	0,07-0,33	<1,3	0,1-0,33	
		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	
		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

**$1 - \rho_{l,m}$**

Fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

$$\rho_{l,m} = \frac{(\rho_1 \times A_1) + (\rho_2 \times A_2) + \dots + (\rho_n \times A_n)}{A_{tot}}$$

**$A_{tot}$**

Area totale dell'ambiente

**$\varepsilon$**

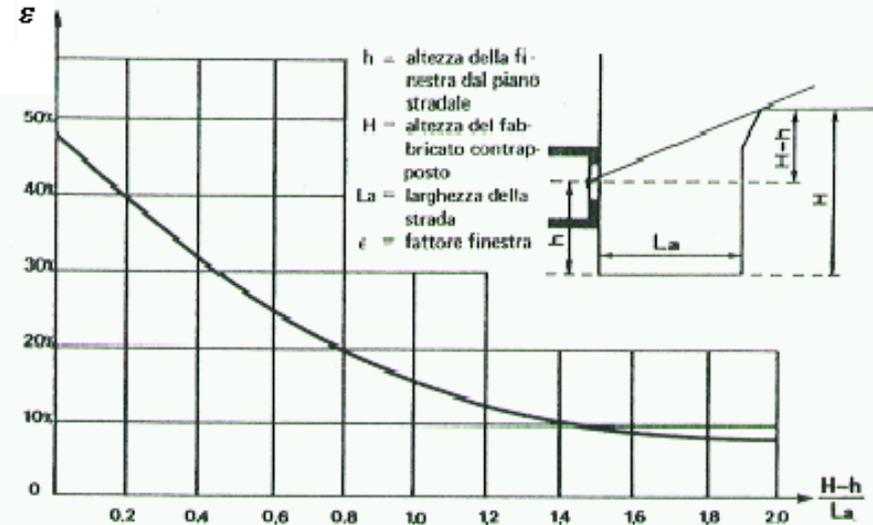
Fattore finestra

**$\varepsilon$  = fattore finestra**

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

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

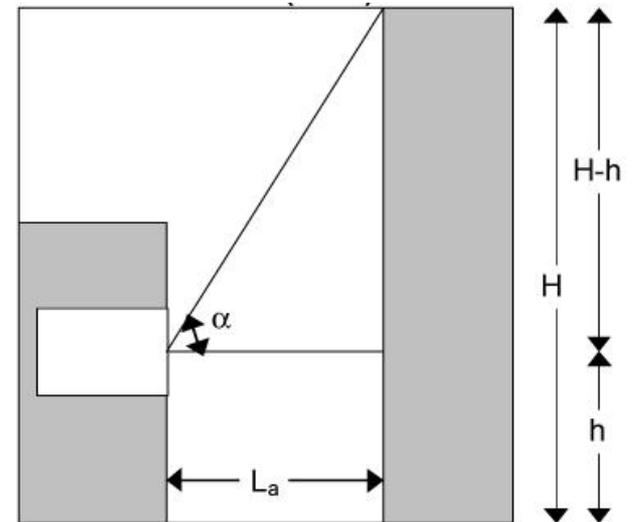
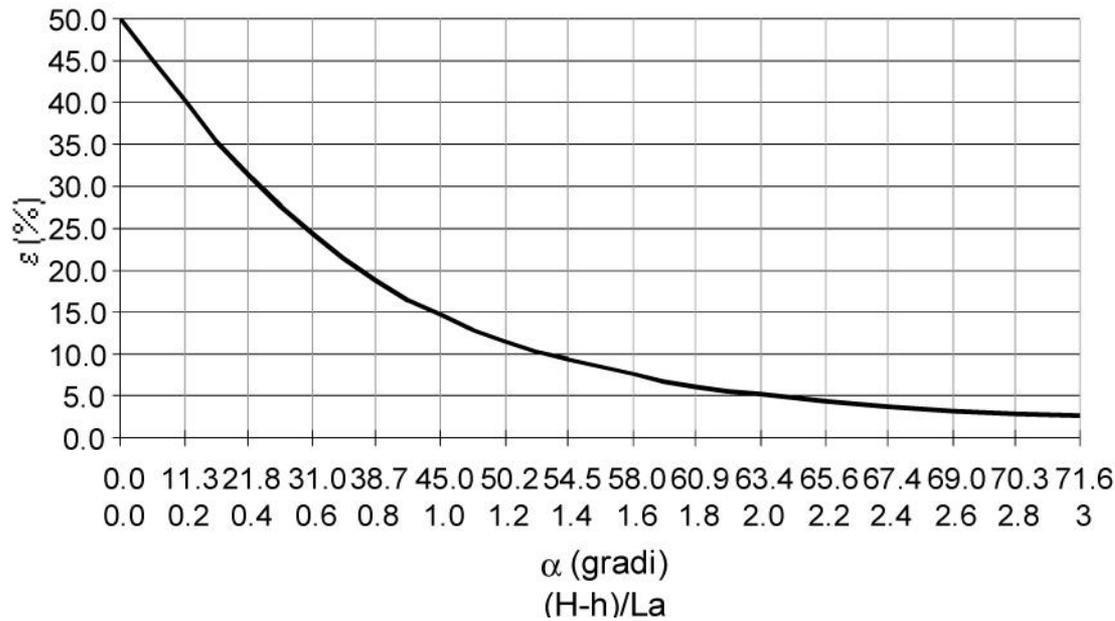
$\varepsilon < 0,5$  per superfici verticali in  
presenza di ostruzioni





## Fattore finestra

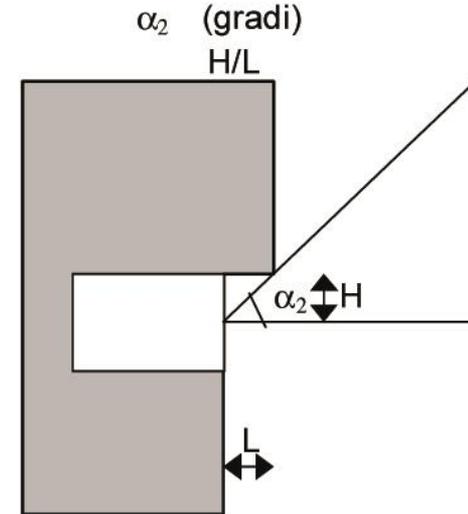
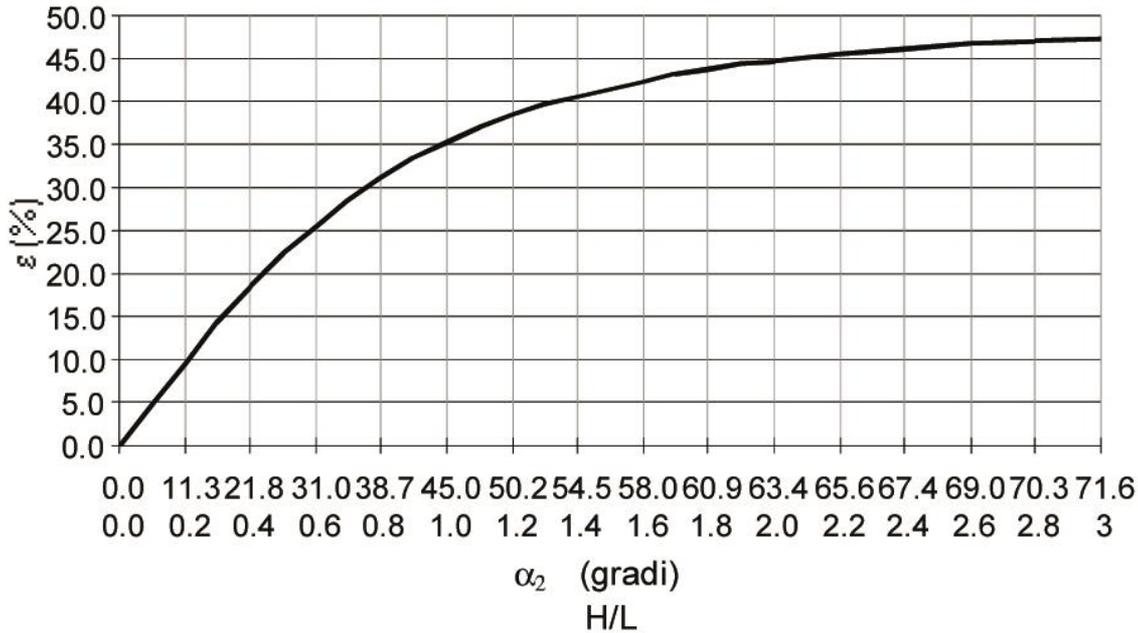
1. Valore del fattore finestra per ostruzioni poste di fronte alla finestra del lato considerato



$\epsilon$

Fattore finestra

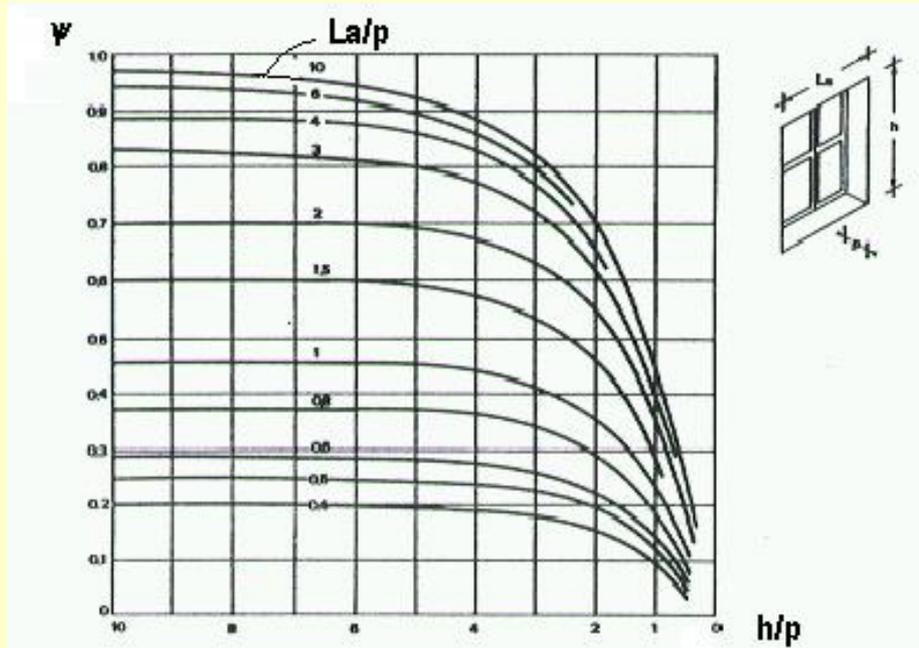
## 2. Valore del fattore finestra per ostruzioni a «loggia»



$\Psi$

Fattore di riduzione del fattore finestra

$\Psi$  = fattore di riduzione del fattore finestra



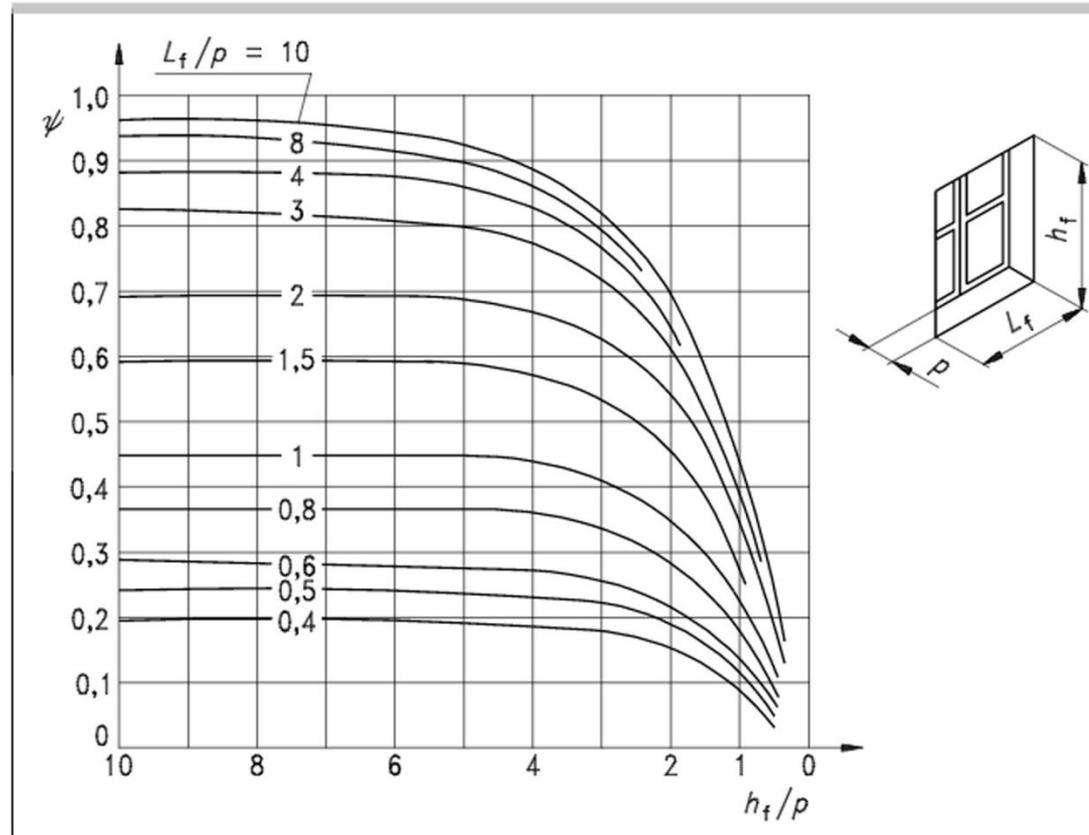
$\Psi$

## Fattore di riduzione del fattore finestra

$L_f$  Larghezza della finestra

$h_f$  Altezza della finestra

$p$  Distanza tra finestra ed il bordo esterno della parete



## 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

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



FLD rappresenta un valore costante nel corso dell'anno e indipendente dalle condizioni esterne: rappresenta una caratteristica intrinseca dell'edificio



FLD è un buon indicatore dell'efficienza di un sistema di illuminazione naturale pur non tenendo conto della componente diretta della radiazione solare, ma solo della componente diffusa