

**Laboratorio 3. Costruzione dell'Architettura  
Proff. Gabriele Bellingeri – Chiara Tonelli**

**Modulo di  
Fisica Tecnica  
prof. Marco Frascarolo**

**LEZIONE 2**

**ILLUMINAZIONE NATURALE  
FONDAMENTI E METODI DI CALCOLO**

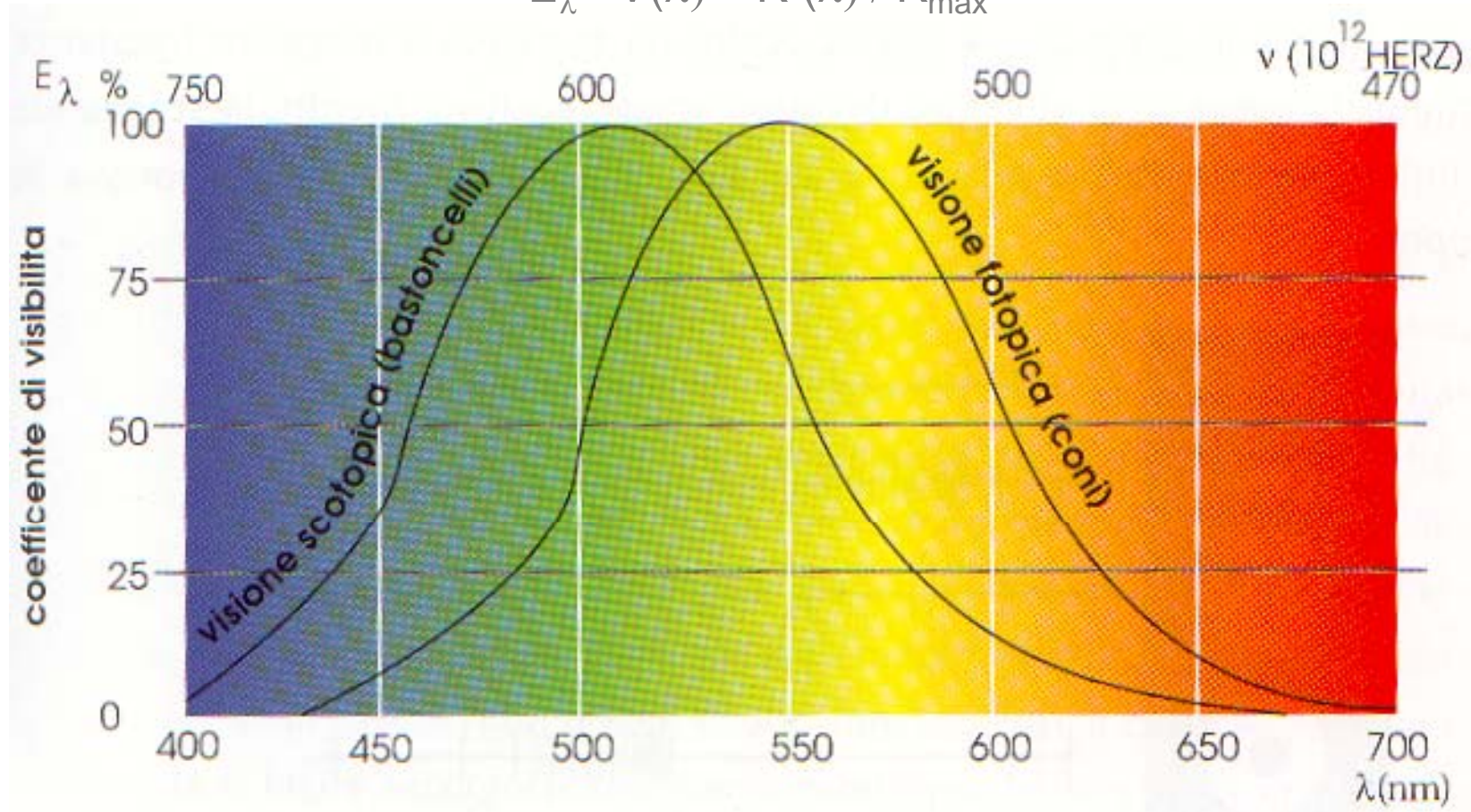
**Università degli Studi di Roma Tre  
Facoltà di Architettura  
A. A. 2011- 2012**

## Il fenomeno della visione

diurna (fotopica)

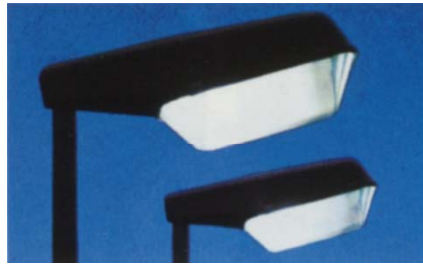
notturna (scotopica)

$$E_{\lambda} = V(\lambda) = K(\lambda) / K_{\max}$$





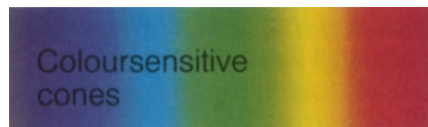
da 100.000 lux  
a 50.000 lux



da 50 lux  
a 3 lux



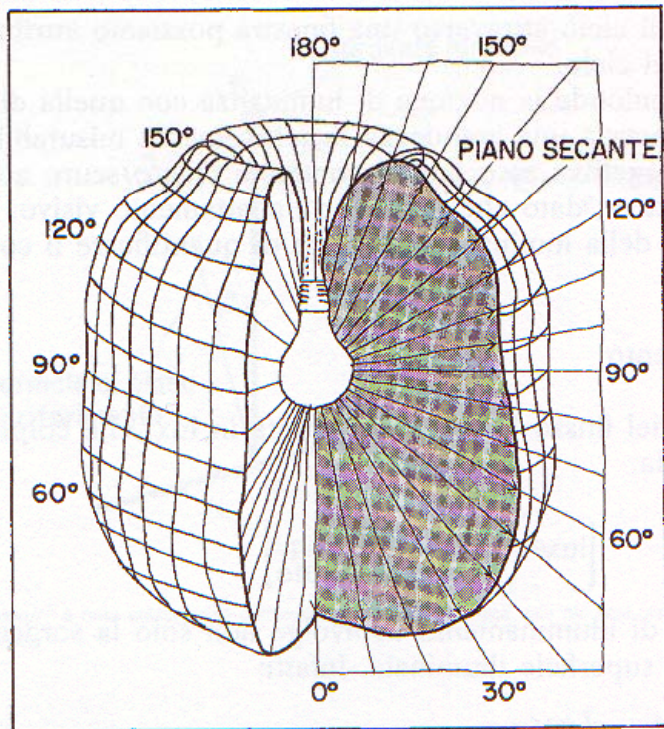
da 0.1 lux  
a 0.01 lux



## Grandezze fotometriche

Titolo diagramma

**Stimolo**



FLUSSO LUMINOSO

$$\phi = k(\lambda) P(\lambda)$$

unità di misura : lumen (lm)

INTENSITA' LUMINOSA

$$I = d\phi / d\omega$$

unità di misura : candela (cd)

Titolo diagramma

Grandezze fotometriche

unità di misura

**Sensazione**

ILLUMINAMENTO

$$E = d\phi / dA$$

lux

**Quantità di luce**

LUMINANZA

$$L = dI / dA_{\text{apparente}}$$

nit (cd/m<sup>2</sup>)

**Abbagliamento**

INDICE DI RESA CROMATICA

(IRC 0-100)

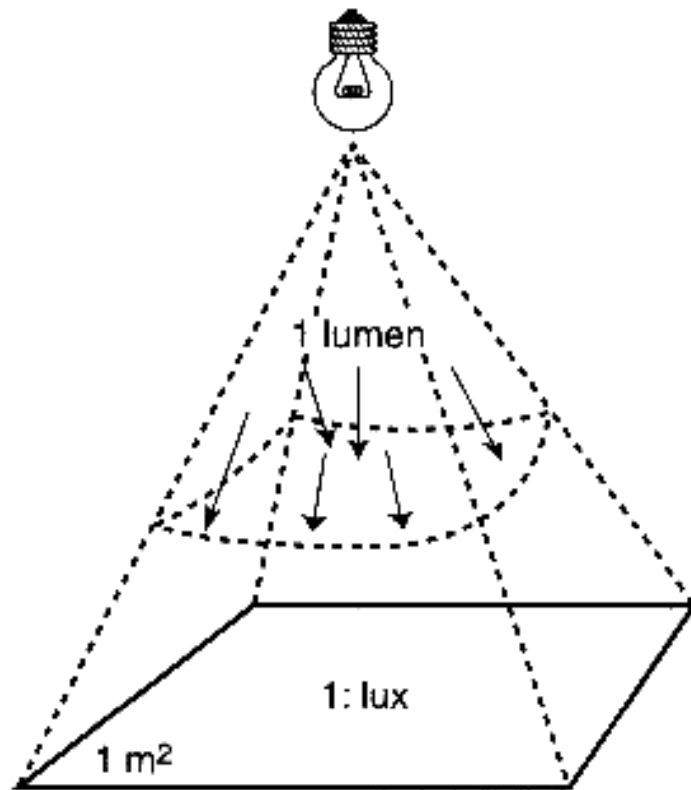
**Qualità della luce**

TEMPERATURA DI COLORE

kelvin (k)

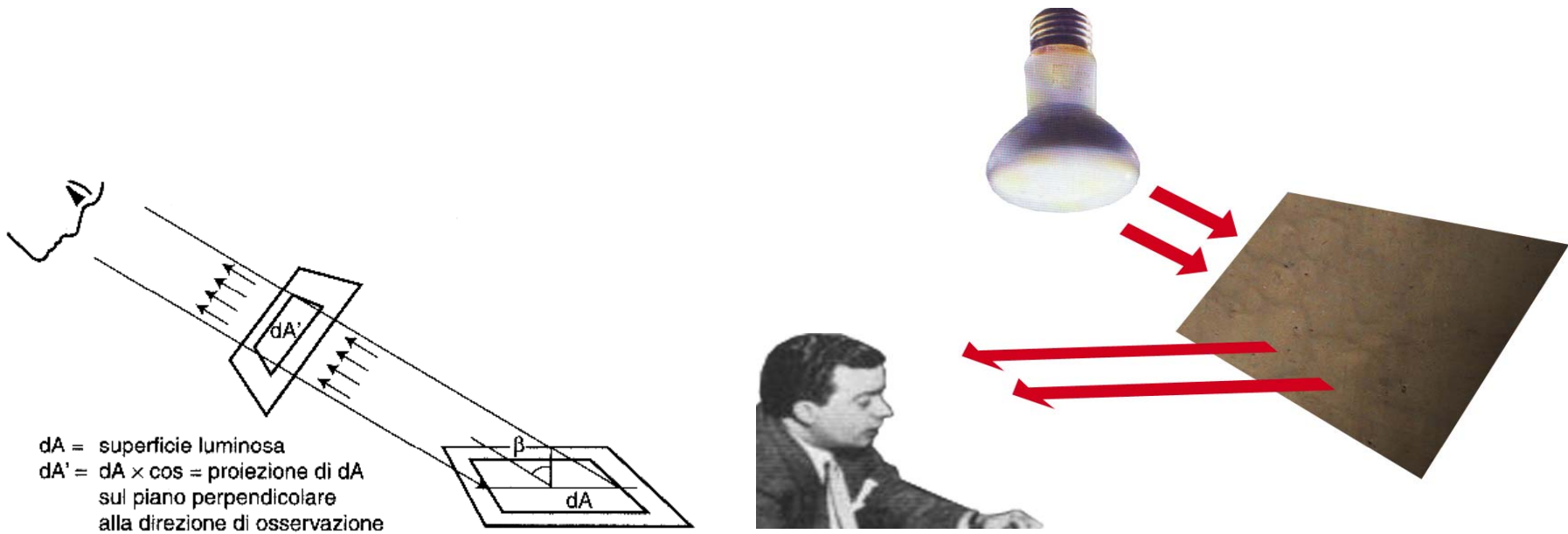
# ILLUMINAMENTO

$$E = d\phi / dA$$

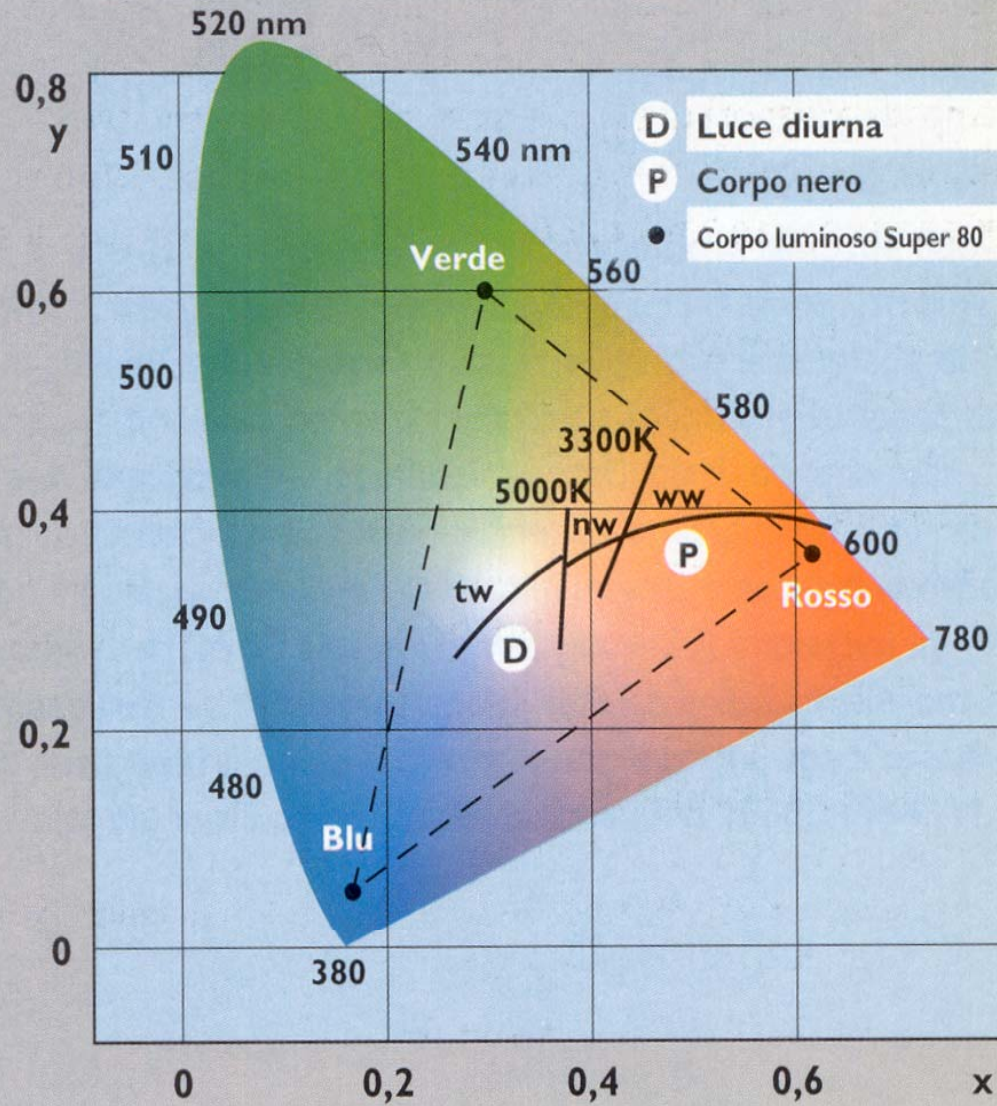


# LUMINANZA - GRANDEZZA FONDAMENTALE UTILIZZATA PER LA PROGETTAZIONE OUTDOOR

$$L = dI / dA_{\text{apparente}}$$

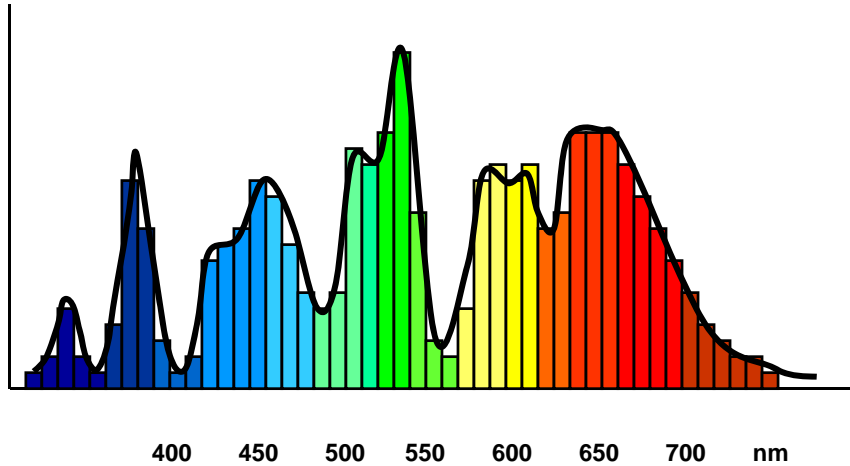


# DIAGRAMMA CROMATICO



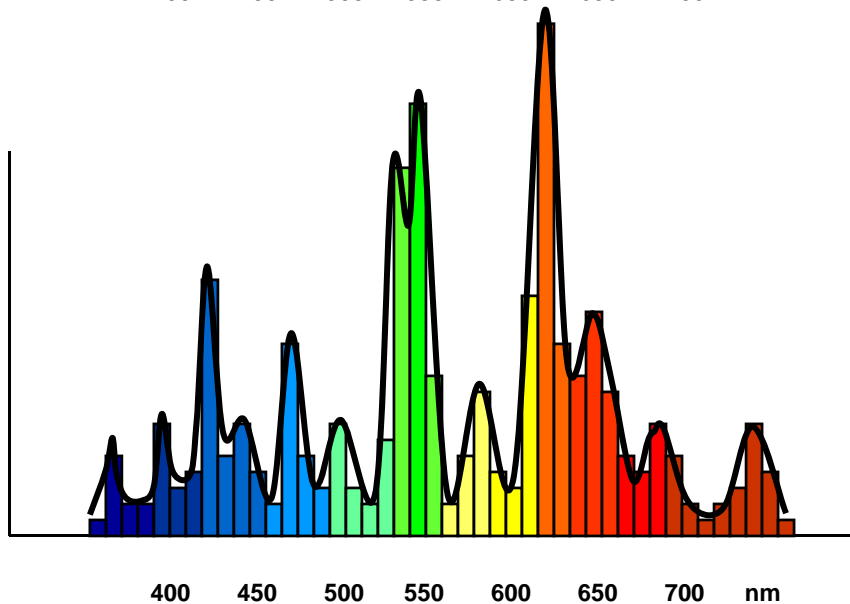


# Temperatura di colore e distribuzione spettrale



La **temperatura di colore**, per le lampade a scarica, rappresenta soltanto un concetto dal valore relativo.

Infatti, poiché la temperatura di colore rappresenta la sommatoria dell'energia emessa su tutto lo spettro, possono esistere sorgenti luminose aventi uguale temperatura di colore ma diversa distribuzione spettrale.



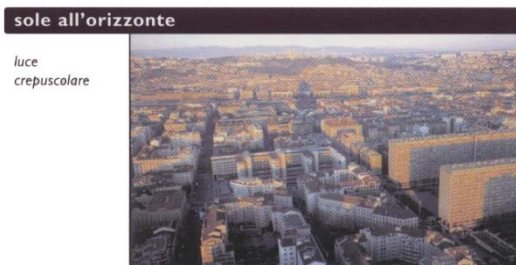
# Metodi di comparazione delle sorgenti luminose - l'indice di resa cromatica



N.B.: dato che i colori mostrati in questa illustrazione sono riproduzioni stampate, sono da considerare approssimazioni e non possono essere utilizzati al posto dei campioni reali).

**La raccomandazione CIE 18.3 prevede l'utilizzo di otto (o quattordici) colori campione e il confronto delle percezioni di tali colori quando sono illuminati dalla sorgente luminosa da classificare e dalla sorgente luminosa di riferimento. Minore è la deviazione, migliore è la resa cromatica della sorgente luminosa valutata. La lampada con un indice  $R_a = 100$  rende tutti i colori in modo perfetto esattamente come nel caso della sorgente luminosa di riferimento. Più basso è il valore dell'indice  $R_a$ , peggiore è la resa cromatica.**

# Luce e Temperatura di Colore



10000° K

6000° K

5000° K

2000° K

LAMPADA FLUORESCENTE  
LUCE DIURNA

LAMPADA A VAPORI DI  
MERCURIO

LAMPADA FLUORESCENTE  
LUCE DIURNA

LAMPADA A VAPORI DI  
MERCURIO

LAMPADA AD ALOGENURI  
METALLICI

LAMPADA FLUORESCENTE  
LUCE BIANCHISSIMA

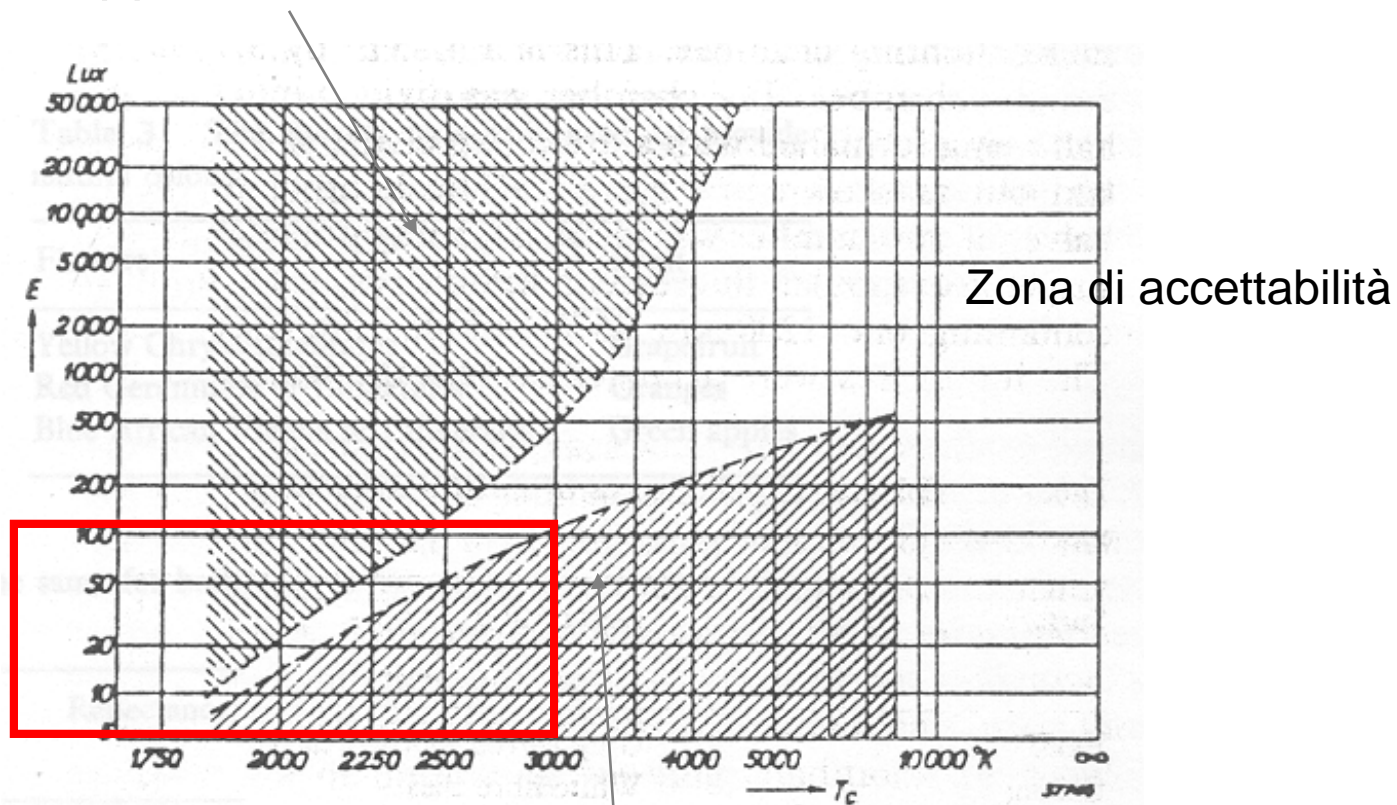
LAMPADA FLUORESCENTE  
TONO CALDO

LAMPADA A VAPORI DI SODIO AD  
ALTA PRESSIONE

# Il diagramma di Kruithof

per l'individuazione delle T di colore ottimali

I colori appaiono innaturali



I colori appaiono freddi

**Tabella 5.3: Uffici**

<b>N.rif.</b>	<b>Tipo di interno, compito o attività</b>	<b><math>E_m</math> <math>lx</math></b>	<b><math>UGR_L</math></b>	<b><math>R_a</math></b>	<b>Note</b>
<b>3.0</b>	<b>Uffici</b>				
3.1	Archiviazione, fotocopie, ecc.	300	19	80	
3.2	Scrittura, battitura testi, lettura, elaborazione dati	500	19	80	Lavoro con apparecchiature video : vedi punto 4.11
3.3	Disegno tecnico	750	16	80	
3.4	Stazioni di lavoro CAD	500	19	80	Lavoro con apparecchiature video : vedi punto 4.11
3.5	Sale convegni e sale riunioni	500	19	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile
3.6	Ricevimento	300	22	80	
3.7	Archivio	200	25	80	

---

# IMPORTANZA della LUCE NATURALE

---

*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

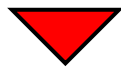
---

# IMPORTANZA della LUCE NATURALE

---

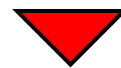
*ILLUMINAZIONE NATURALE RISULTA FONDAMENTALE PER:*

*condizioni ambientali confortevoli  
(comfort visivo e termico)*



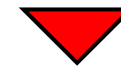
vantaggi psico-fisiologici  
legati alla luce solare

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

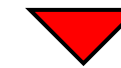


*strategie progettuali di comfort  
visivo e termico*

*riduzione dei consumi energetici*

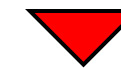


luce solare risorsa gratuita e rinnovabile



consapevole utilizzo del daylight per:

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



*strategie progettuali di  
risparmio energetico*

# IMPORTANZA della LUCE NATURALE

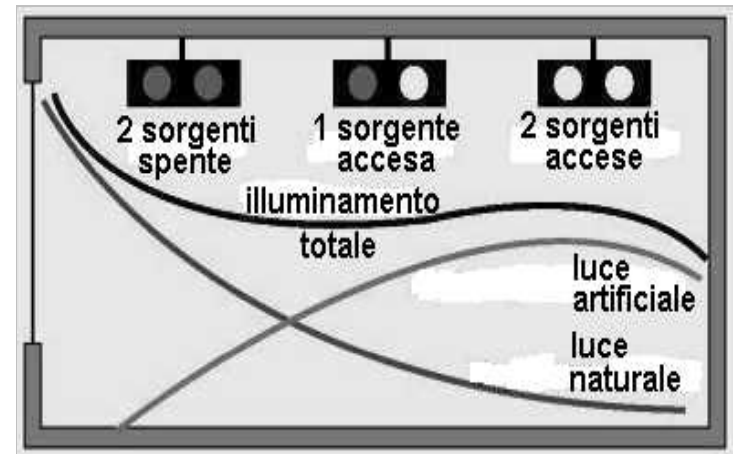
*NON E' VERO CHE MASSIMIZZARE LA DISPONIBILITA' DI DAYLIGHT  
VOGLIA DIRE MASSIMIZZARE I BENEFICI*

↳ 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 ( $1.6 \cdot 10^9$  cd/m<sup>2</sup>)
  - ↳ 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 ( $1.6 \cdot 10^9$  cd/m<sup>2</sup>)
  - ↳ 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:  $1.6 \cdot 10^9$  cd/m<sup>2</sup>
- CIELO SERENO:  $8.3 \cdot 10^3$  cd/m<sup>2</sup>
- CIELO COPERTO:  $2 \cdot 10^3$  cd/m<sup>2</sup>
- SORGENTE ALOGENA:  $1.3 \cdot 10^7$  cd/m<sup>2</sup>

## ► 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

---

## MODELLI di CIELO

---

▶ 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:

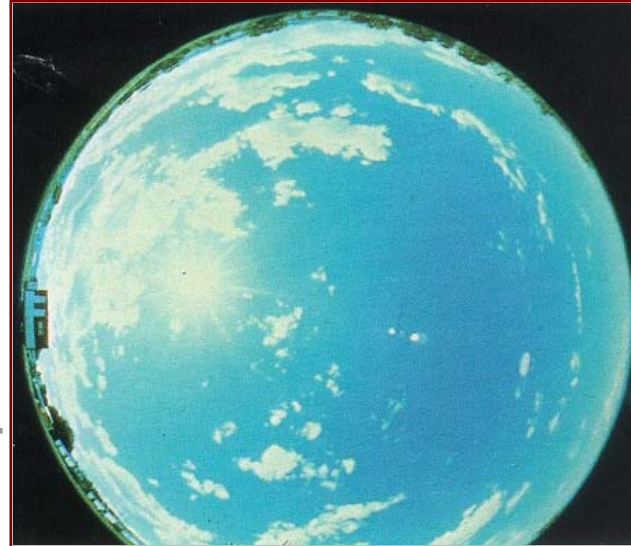
- ➔ posizione del Sole
- ➔ condizioni meteorologiche
- ➔ torbidità dell'atmosfera

# MODELLI di CIELO

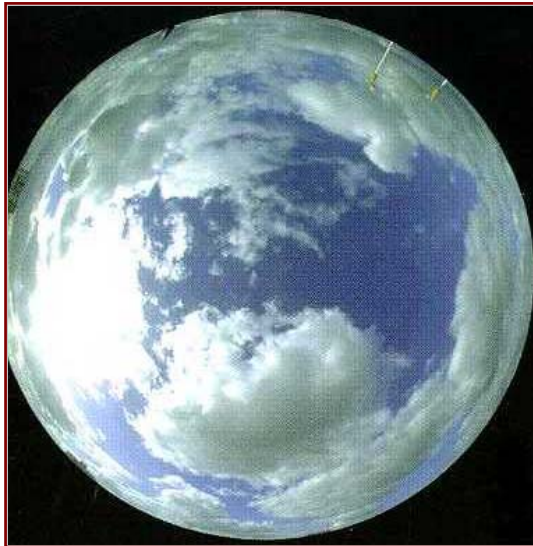
*cielo sereno*



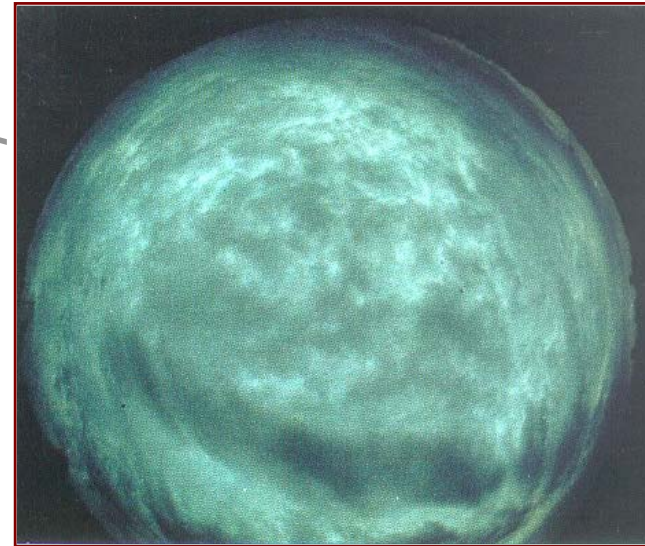
*cielo sereno con  
presenza di nuvole*



*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 [m<sup>2</sup>]

$\tau_l$  = fattore di trasmissione luminosa del vetro

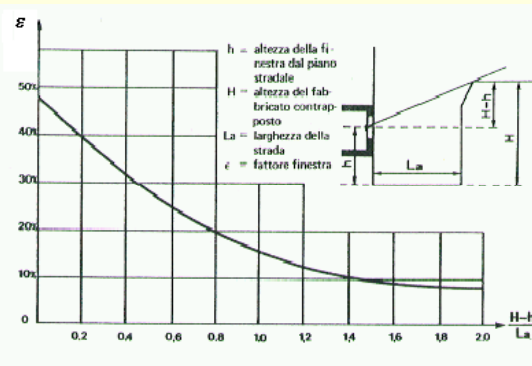
$\rho_{l,m}$  = fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

$\varepsilon$  = fattore finestra

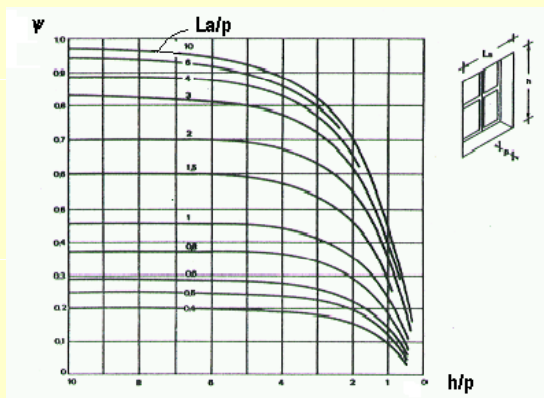
$\varepsilon = 1$  per superfici orizzontali  
prive di ostruzioni

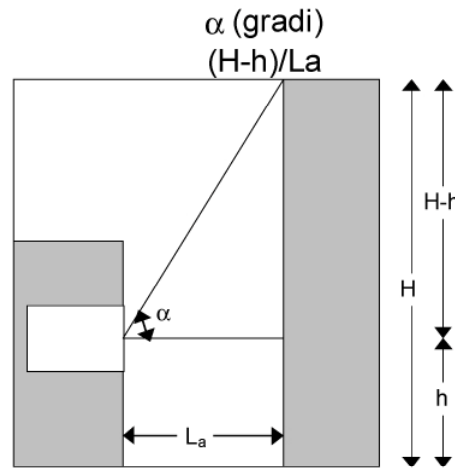
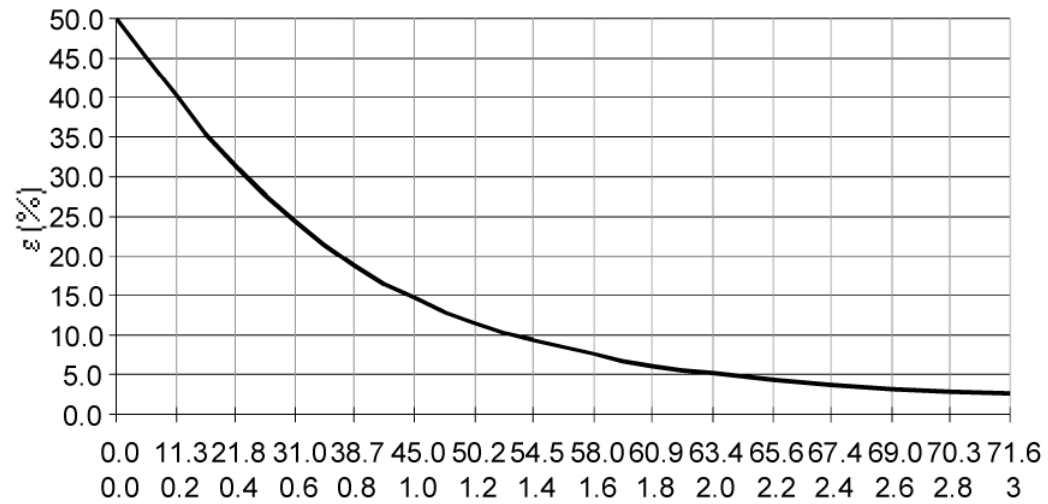
$\varepsilon = 0,5$  per superfici verticali  
prive di ostruzioni

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

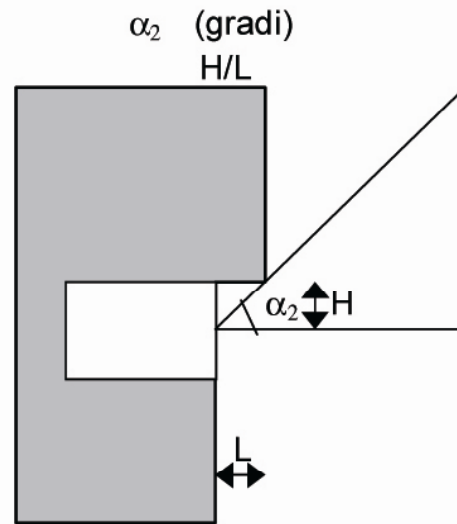
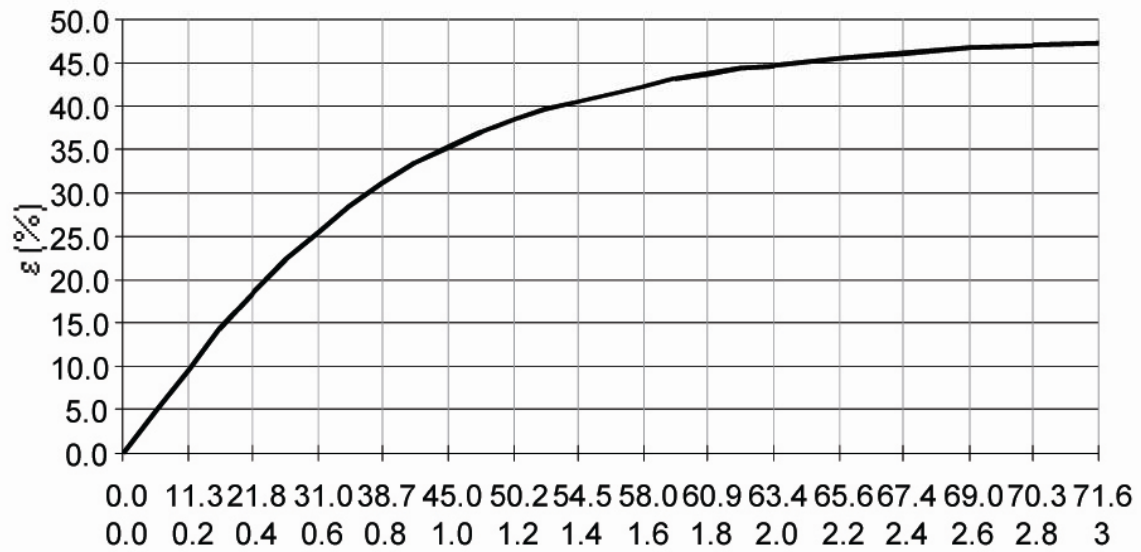


$\psi$  = fattore di riduzione del fattore finestra





*Valore del fattore finestra  $\epsilon$  per ostruzioni poste di fronte alla finestra del locale considerato.*



*Valore del fattore finestra  $\varepsilon$  per ostruzioni "a loggia".*



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

TIPOLOGIA	COLORE	s [mm]	$\tau_s$	$\rho_s$	$\epsilon$	$\tau_i$	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
		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	0,61	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
	(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	
	6	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)	bronzo (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
		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
	bronzo (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]	$\tau_s$	$\tau_i$	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
	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
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
	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
riflettente per pirolisi + basso emissivo	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
	grigio(2+chiaro b-e(3)	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
	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
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
	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
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
	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>	$\tau_l$ [-]
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

---

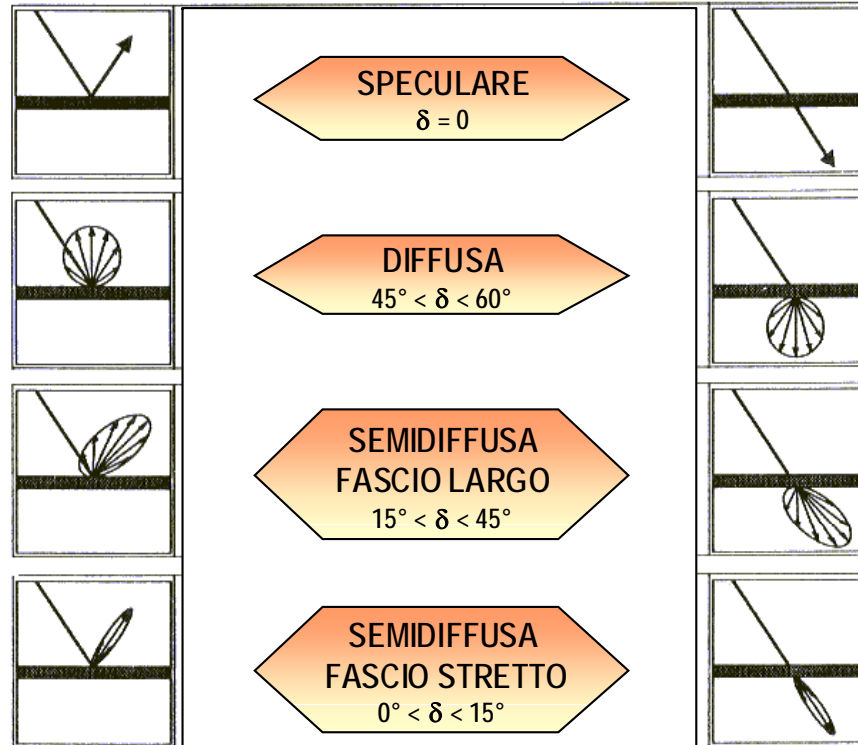
## FATTORE di TRASMISSIONE LUMINOSA

---

## MODALITA' DI TRASMISSIONE E RIFLESSIONE DELLA LUCE

### RIFLESSIONE

### TRASMISSIONE



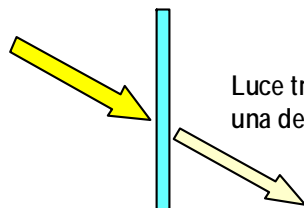
## TEMPERATURA DI COLORE E RESA DEL COLORE

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

Sorgente campione:

$T_c = 6000 \text{ K}$

$R_a = 100$



Luce trasmessa dal vetro con una determinata  $T_c$  e  $R_a$

Daylighting  
Modulo di Fisica Tecnica  
prof. Marco Frascarolo

<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

---

## FATTORE di TRASMISSIONE LUMINOSA

---

Daylighting  
Modulo di Fisica Tecnica  
prof. Marco Frascarolo

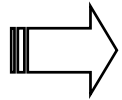
## Coefficiente di riflessione dei materiali più comuni

Colore	Fattore riflessione %	Materiale	Fattore riflessione %
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	Cartes. linoass. 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	50-55	Arenaria, chiara	30-40
Verde scuro	10-25	Arenaria, scura	15-25
Rosa	15-60	Granito	15-25
Rosso chiaro	25-35	Mattoni, chiari	20-30
Rosso scuro	10-20	Mattoni, scuri	10-15
Celeste	30-65	Legno, chiaro	30-50
Blu	10-25	Legno, scuro	10-25
		Acciaio inox	65-66
		Vetro chiaro	7
		Vetro riflettente	20-30
		Vetro colorato	7
		Erba	6-10
		Vegetazione	25

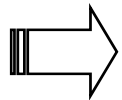
## LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 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	_____



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

---

# 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

CONTRASTO  
CONTRASTO

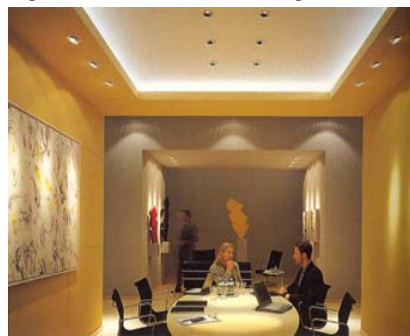
La RESA DEL CONTRASTO dipende:

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

# DISTRIBUZIONE DELLE LUMINANZE

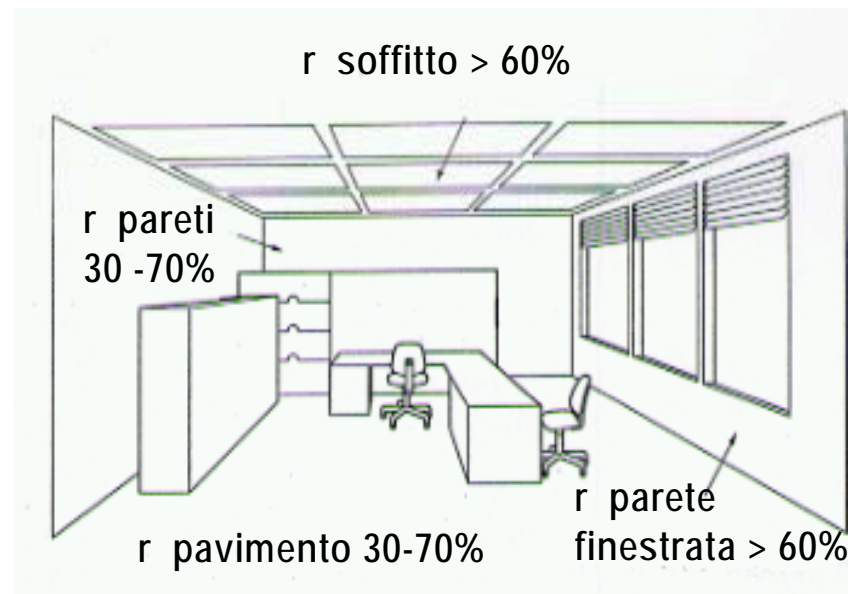
L'occhio percepisce l'ambiente e gli oggetti in ragione della loro luminanza

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



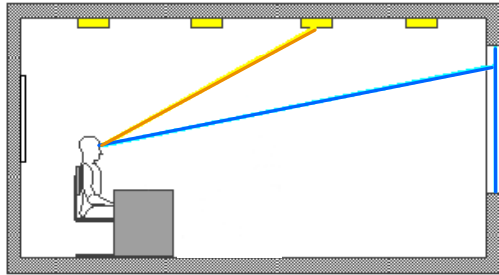
La distribuzione delle luminanze dipende  
anche dai  
**FATTORI DI RIFLESSIONE** delle superfici

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



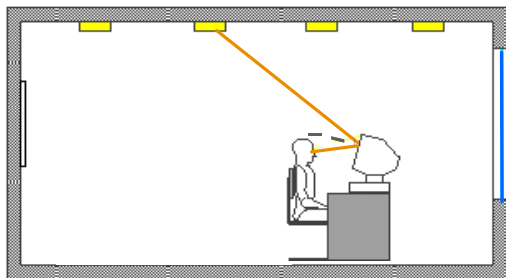
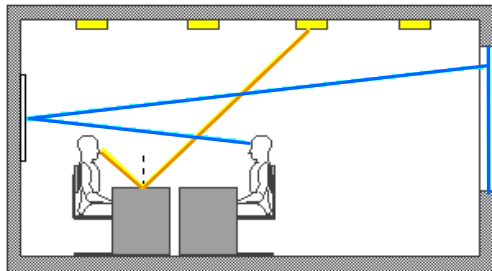
Generalmente l'occhio umano predilige una  
distribuzione  
delle luminanze in ambiente decrescente  
dall'alto verso il basso

## ABBAGLIAMENTO DIRETTO



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

## ABBAGLIAMENTO RIFLESSO



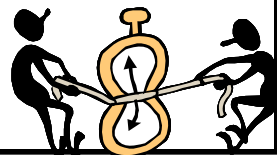
Dovuto alla riflessione della luce su una superficie lucida orizzontale o verticale

## 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



Daylighting  
Modulo di Fisica Tecnica  
prof. Marco Frascarolo

---

## 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

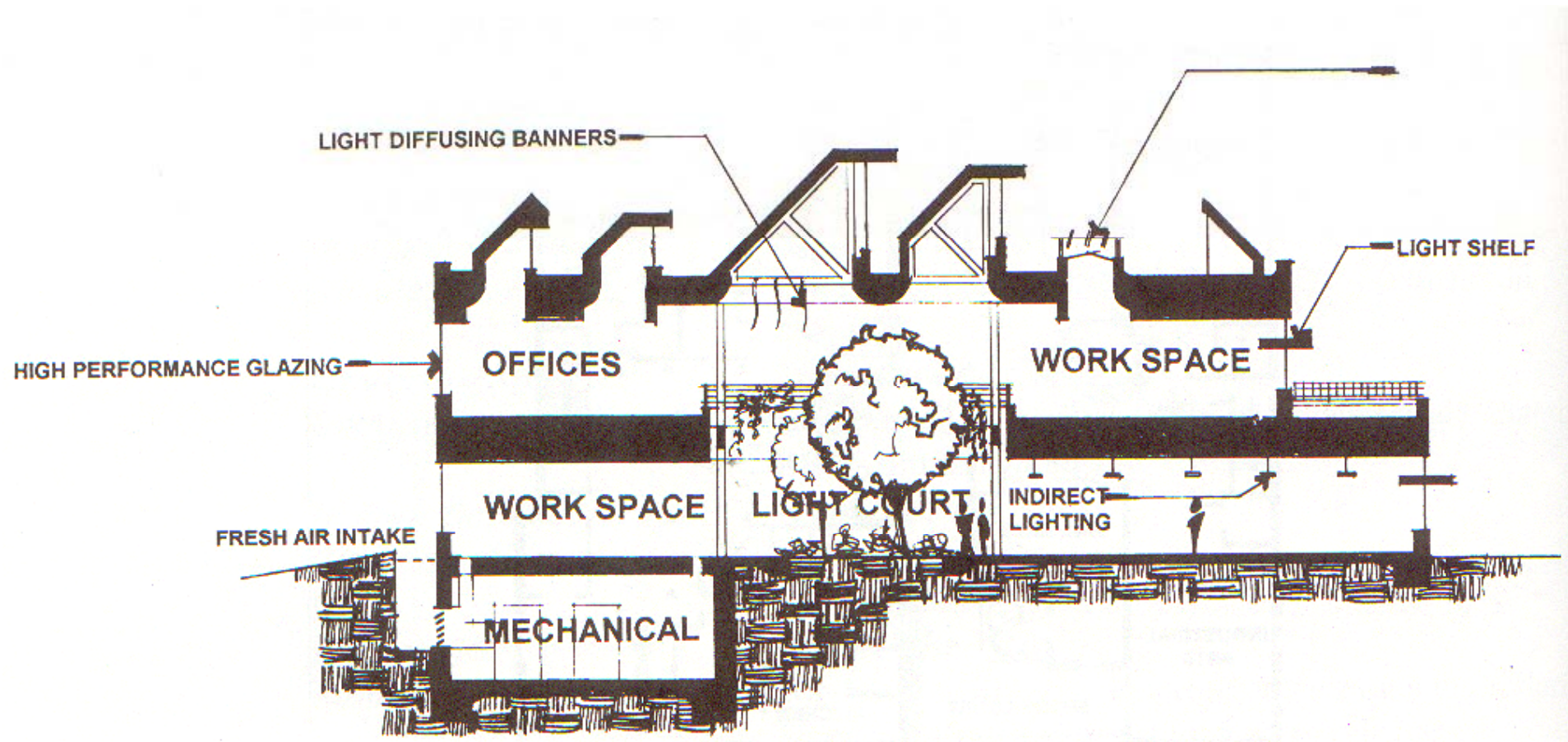
<i>profondità del locale [m]</i>	<i>percentuale minima dell'area della finestra rispetto all'area della parete in cui si trova [%]</i>
$< 8$	20
$8 \div 11$	25
$11 \div 14$	30
$> 14$	35

Fornite dalla norma UNI 10530

"Principi ed ergonomia della visione"

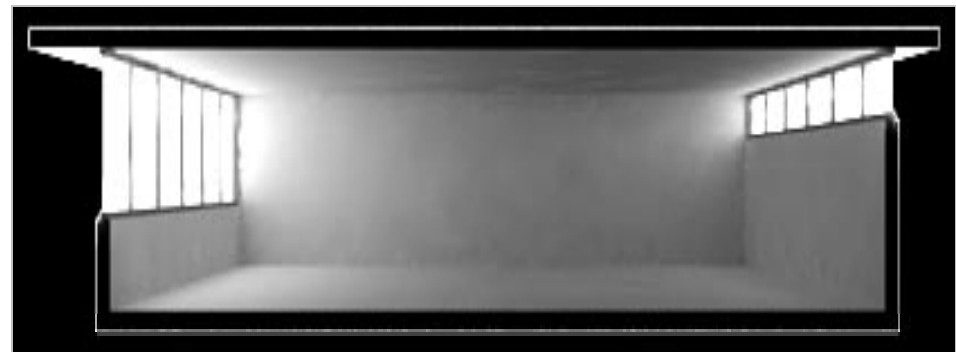
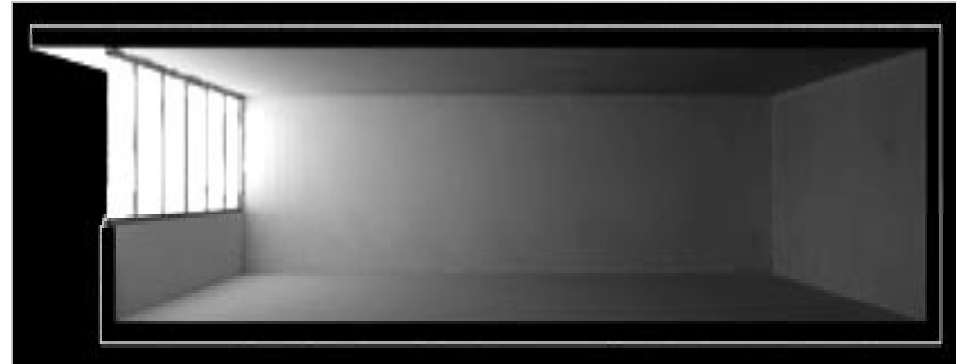
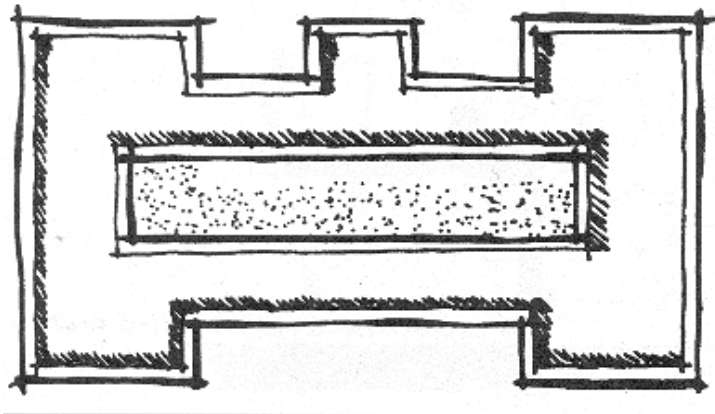
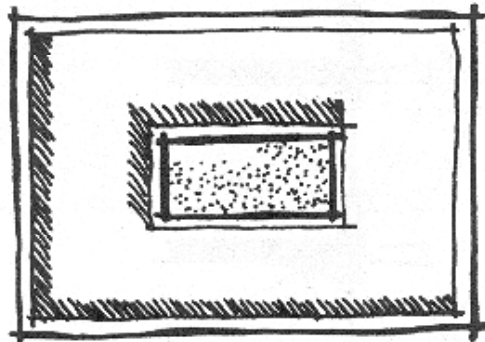
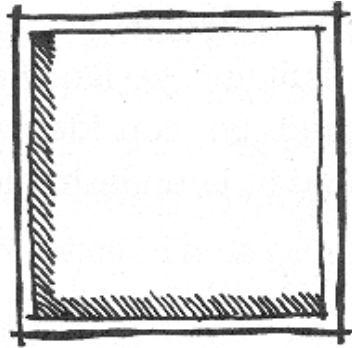
(Si ringrazia l'arch. Valerio Lo verso, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino per il materiale didattico)

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

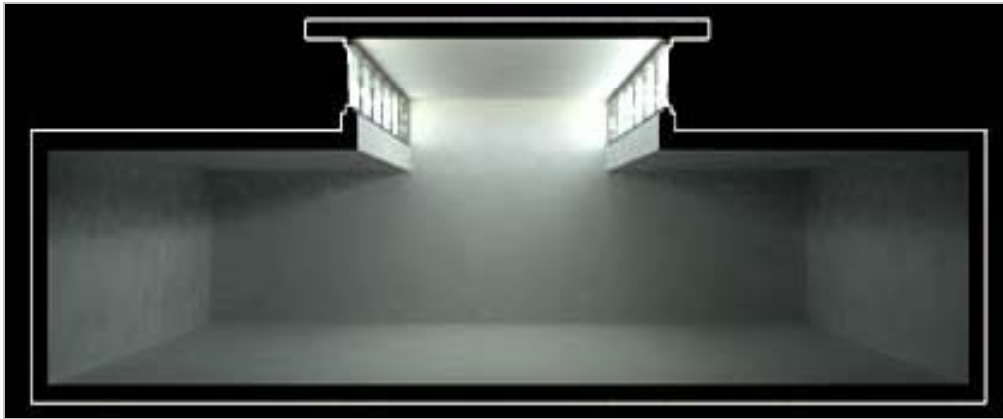




## Contributo della luce naturale al variare della complessità della pianta dell'edificio

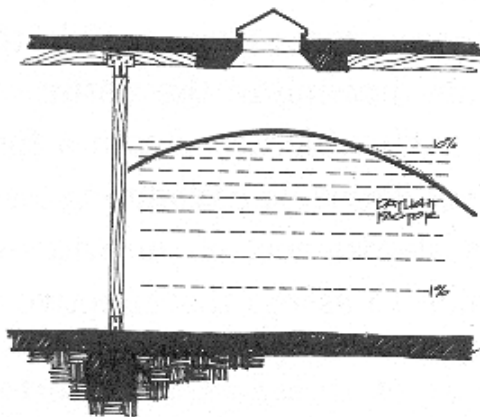
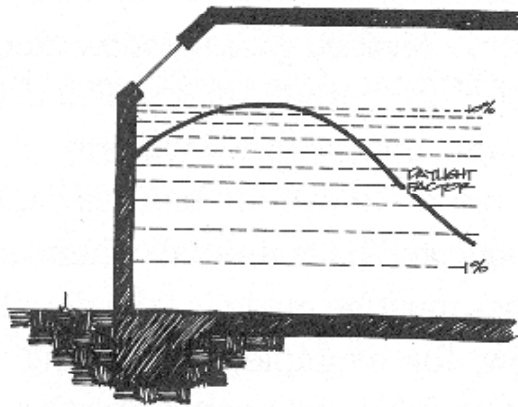
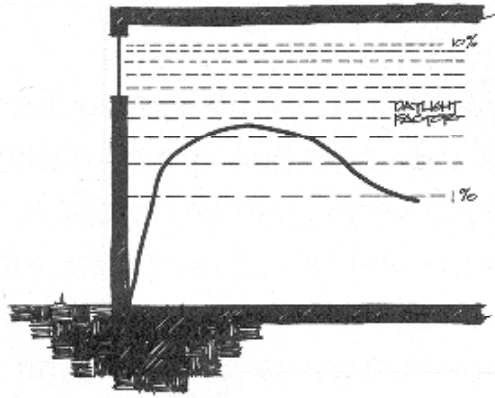


## illuminazione zenitale

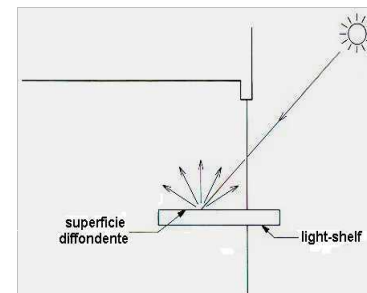
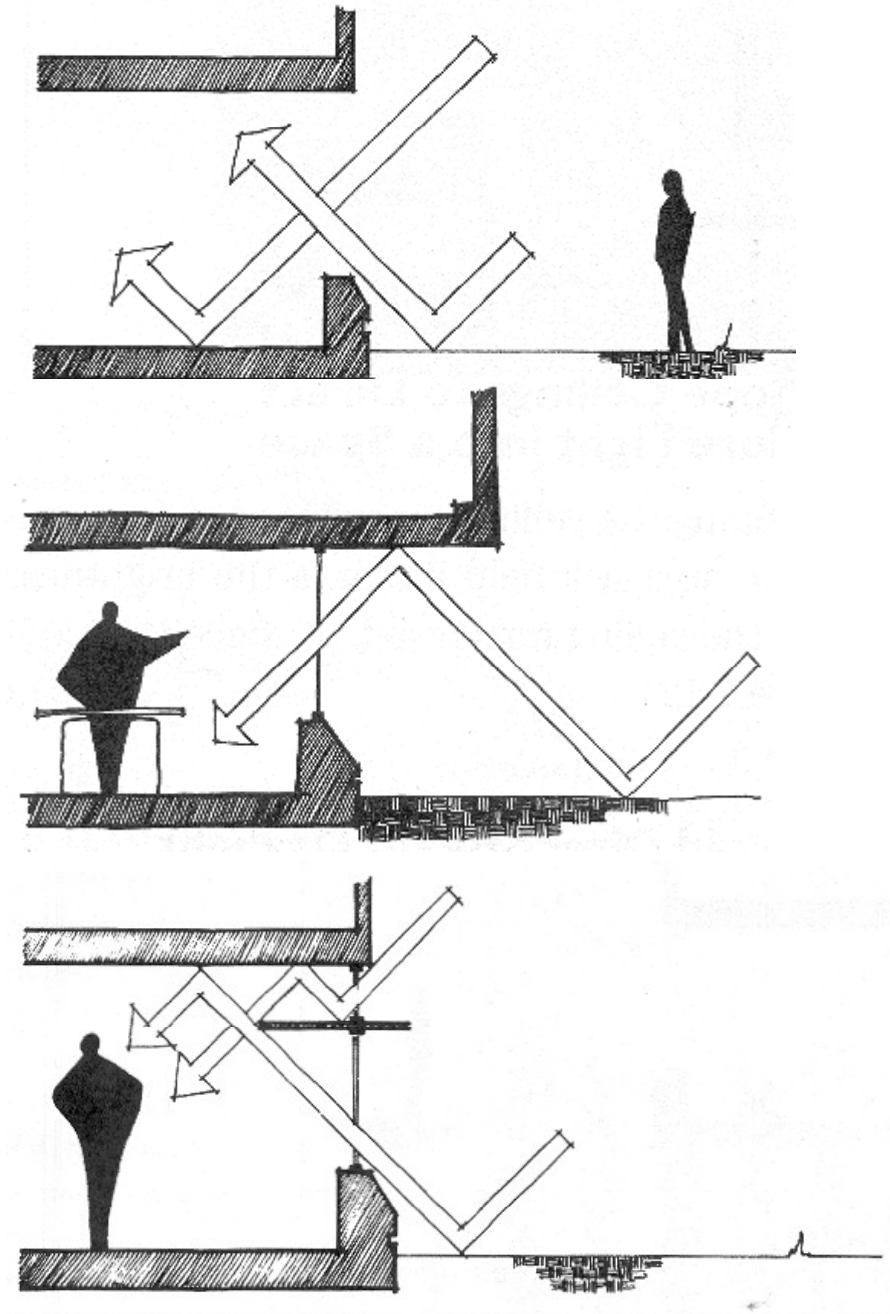


# Distribuzione della luce per diversi tipi di infissi

(curve di Illuminamento sul piano di calpestio)

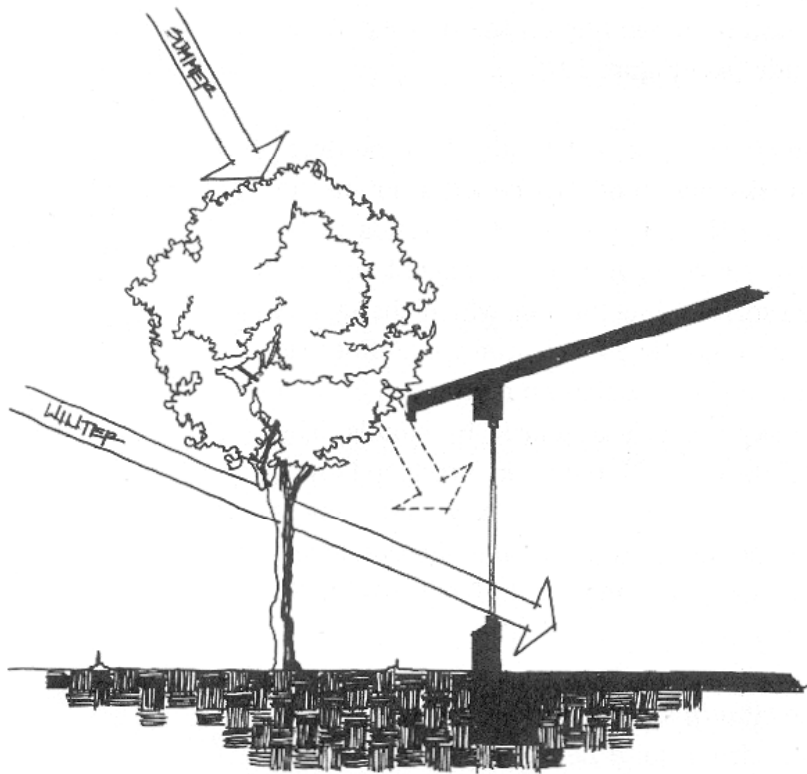
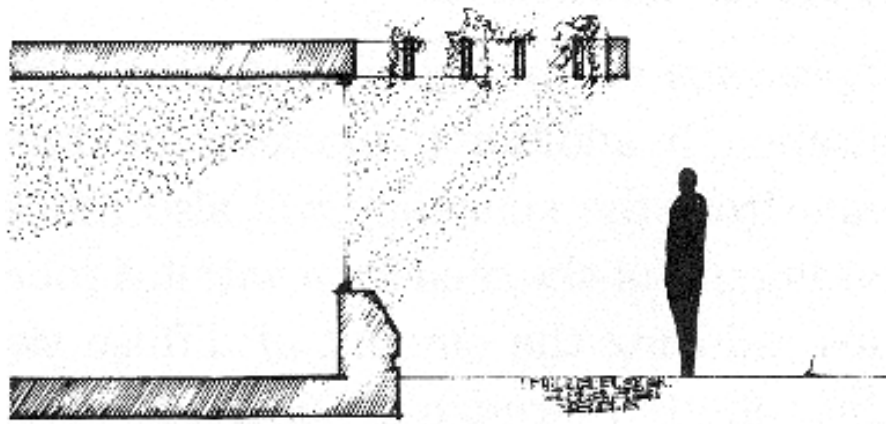


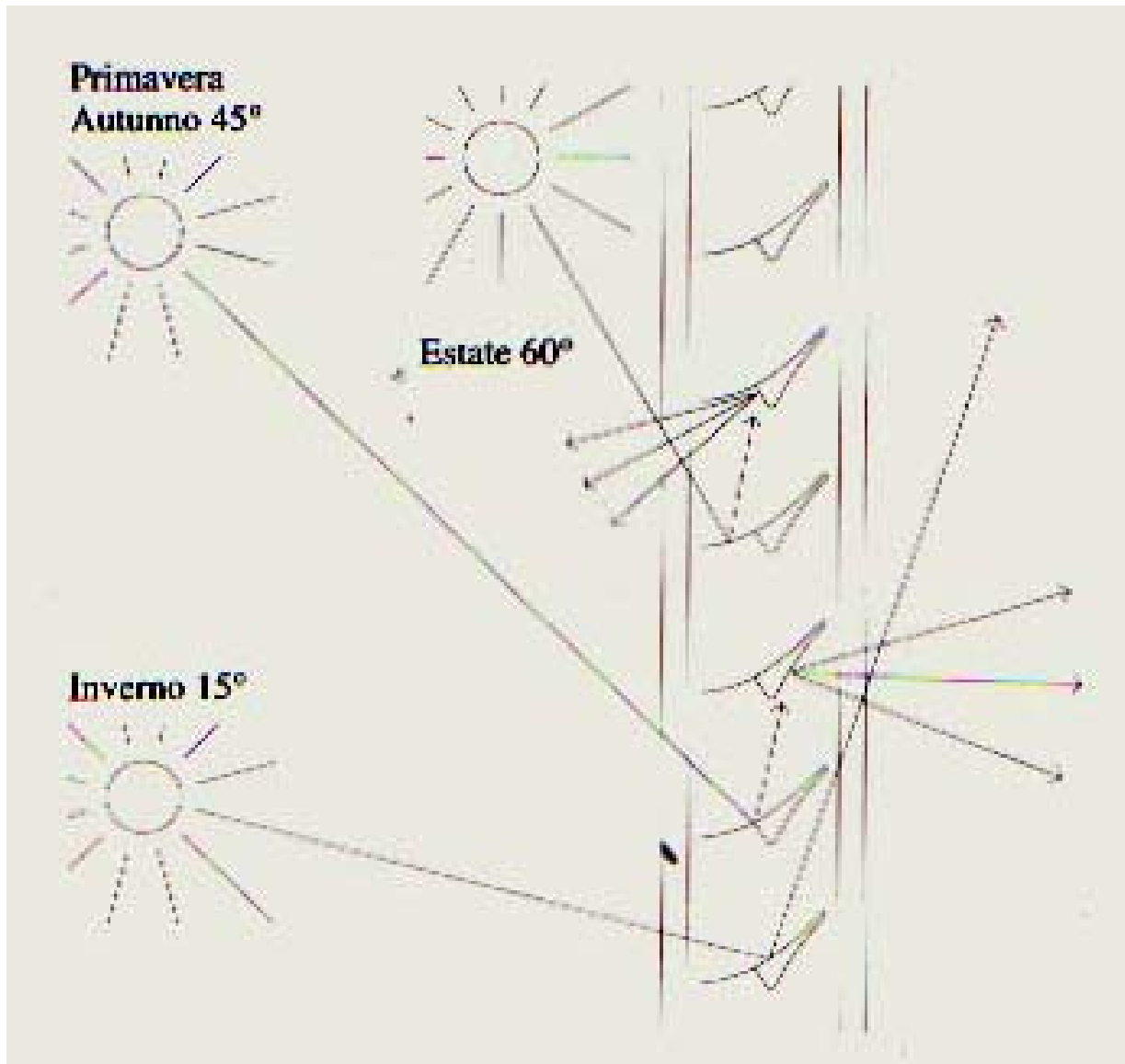
## Diversi metodi di controllo della luce naturale in ingresso



**Davanzali riflettenti**

## Diversi metodi di controllo della luce naturale in ingresso

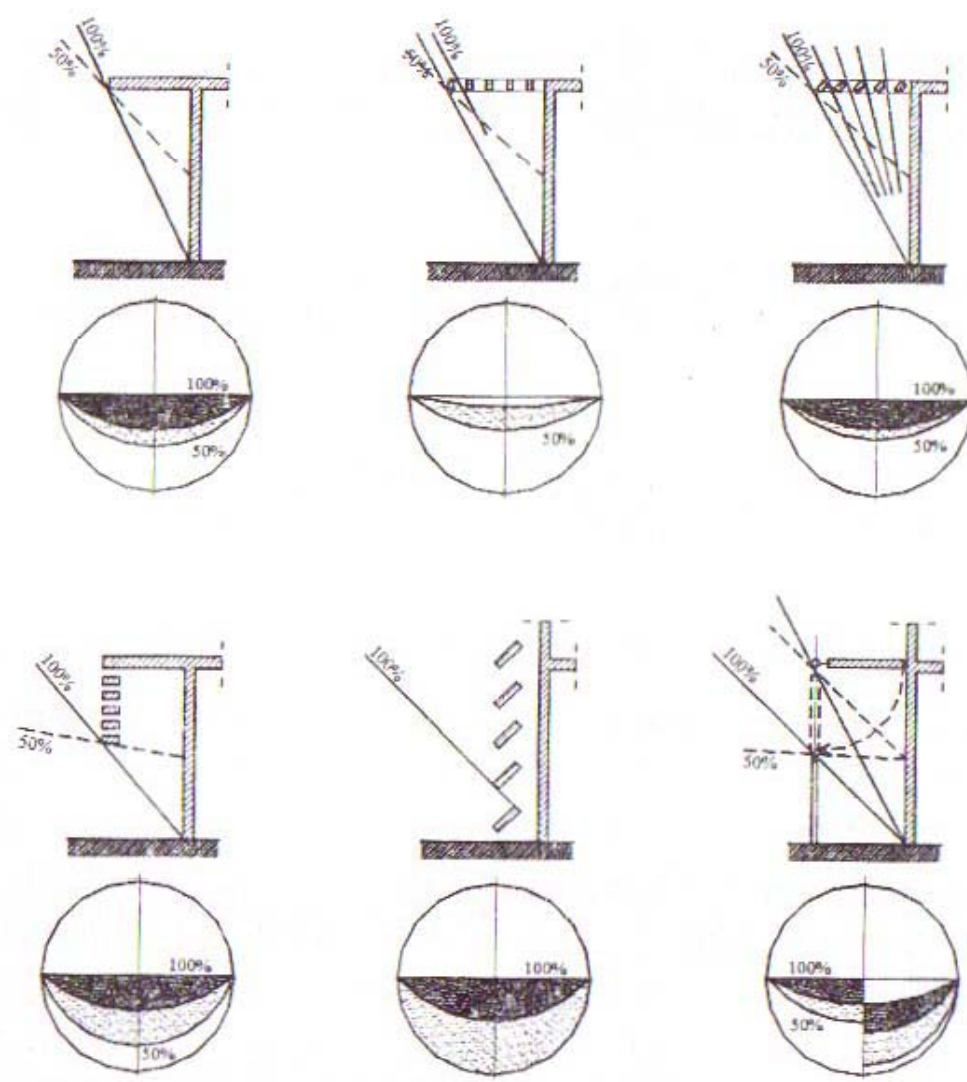




**Sistema di controllo del flusso luminoso tramite lamelle fisse inserite in un vetrocamera**

**Zona nera:** rappresenta gli angoli di incidenza della radiazione solare per i quali l'effetto di schermatura è totale

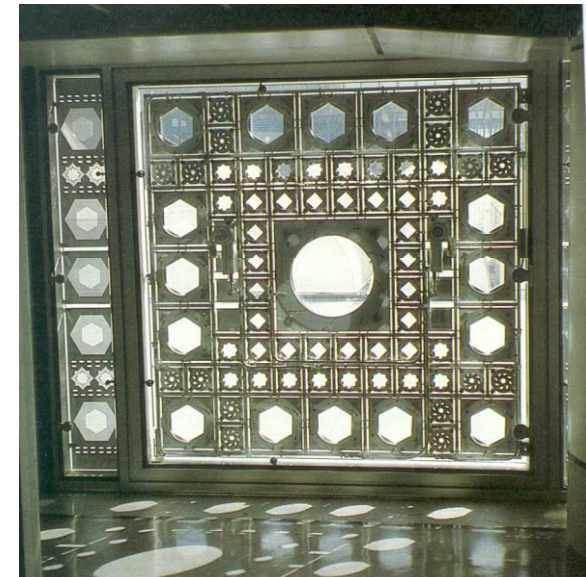
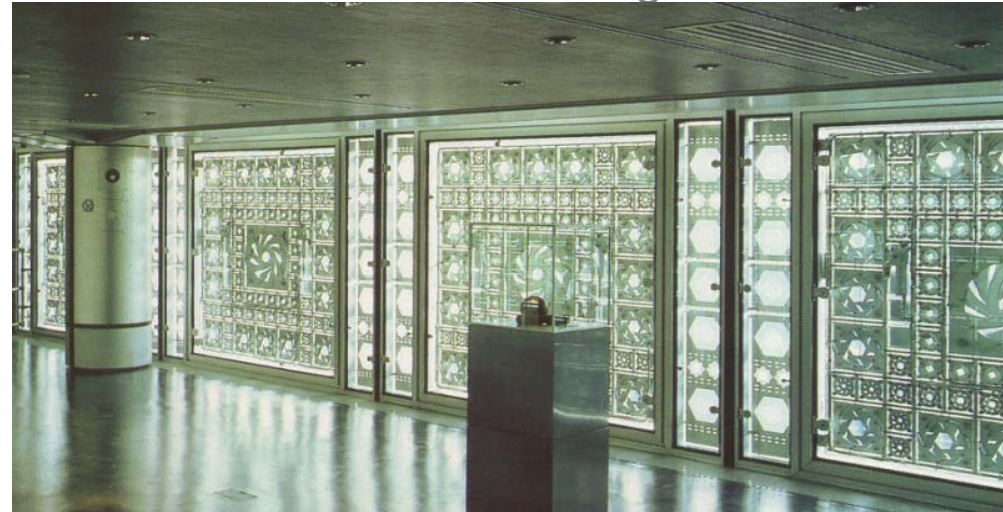
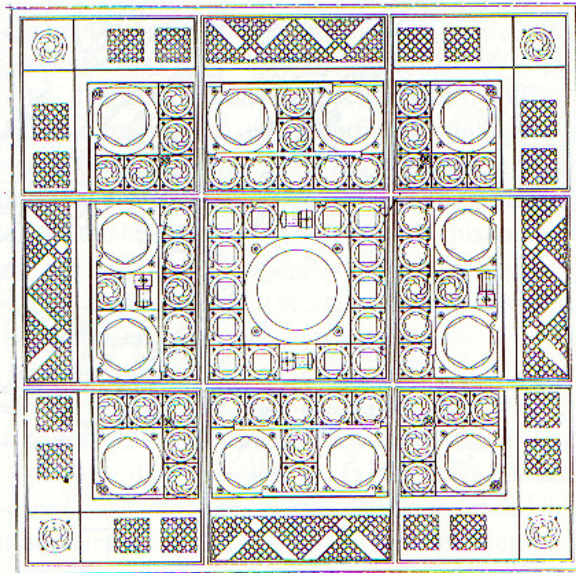
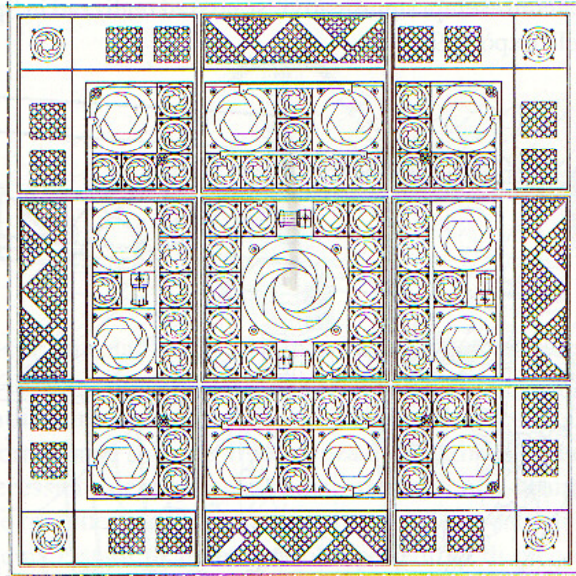
**Zona grigia:** rappresenta gli angoli di incidenza della radiazione solare per i quali l'effetto di schermatura è parziale



**Frangisole ad elementi orizzontali e corrispondenti linee d'ombra**

# Sistema di serrande regolabili tipo “diaframma”

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

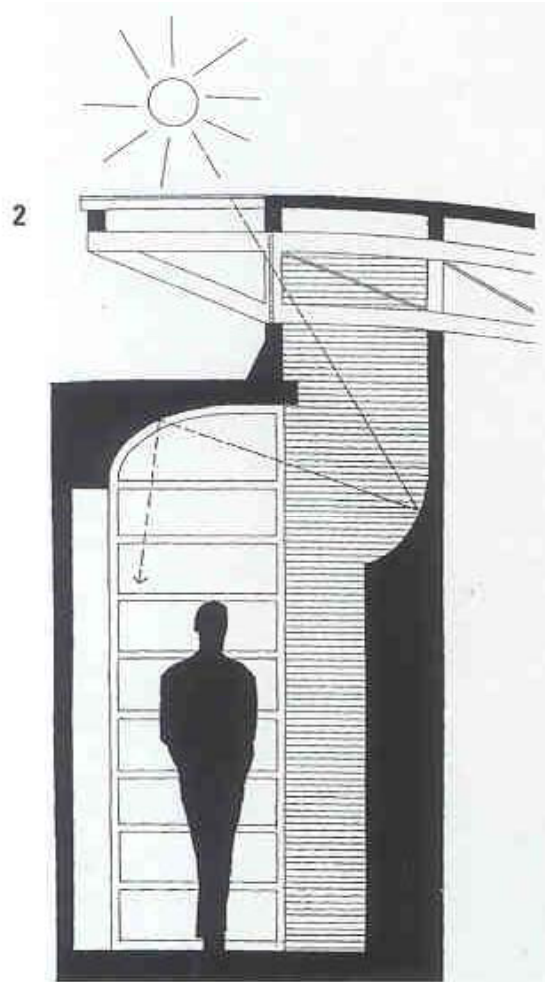


Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

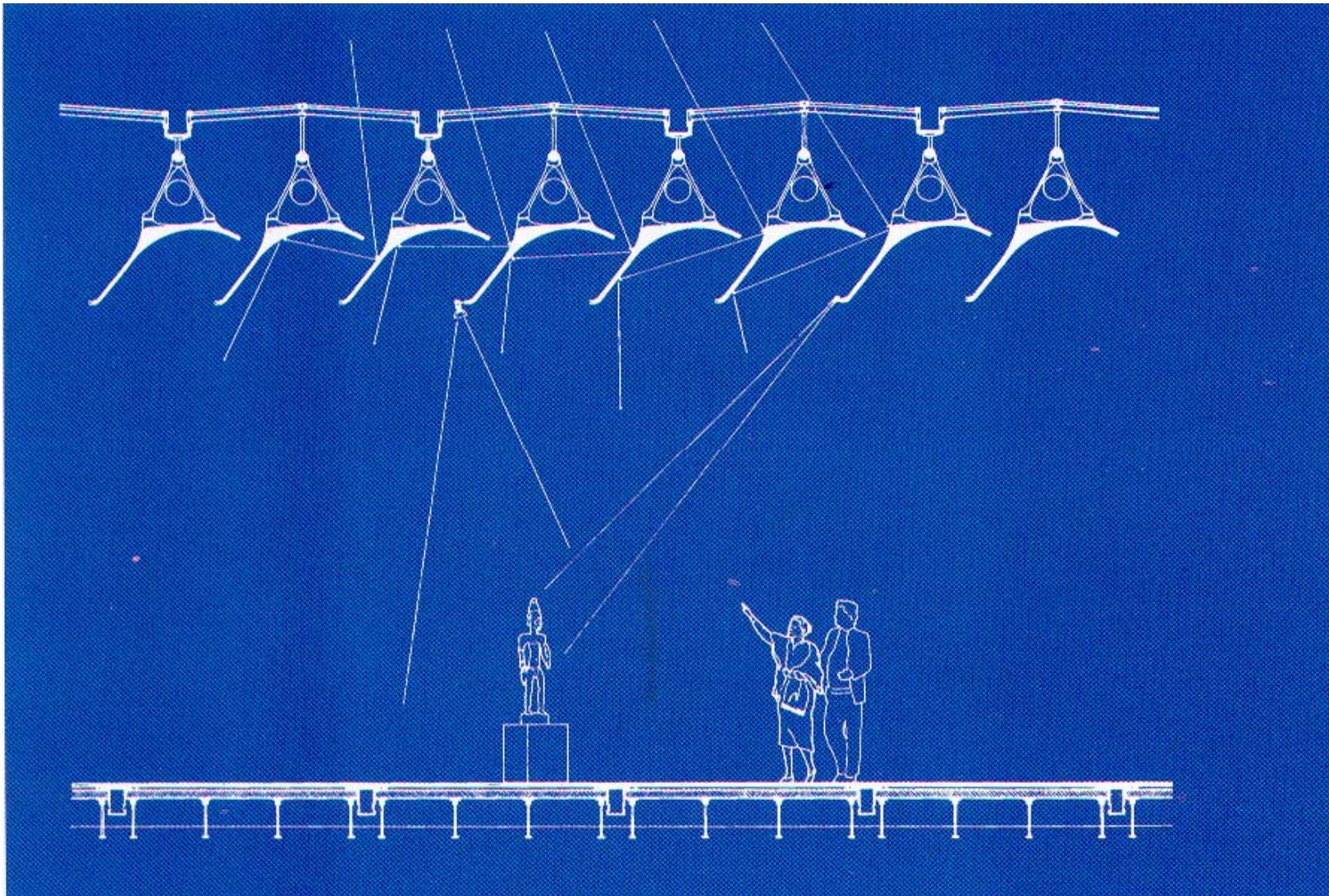
Laboratorio 3

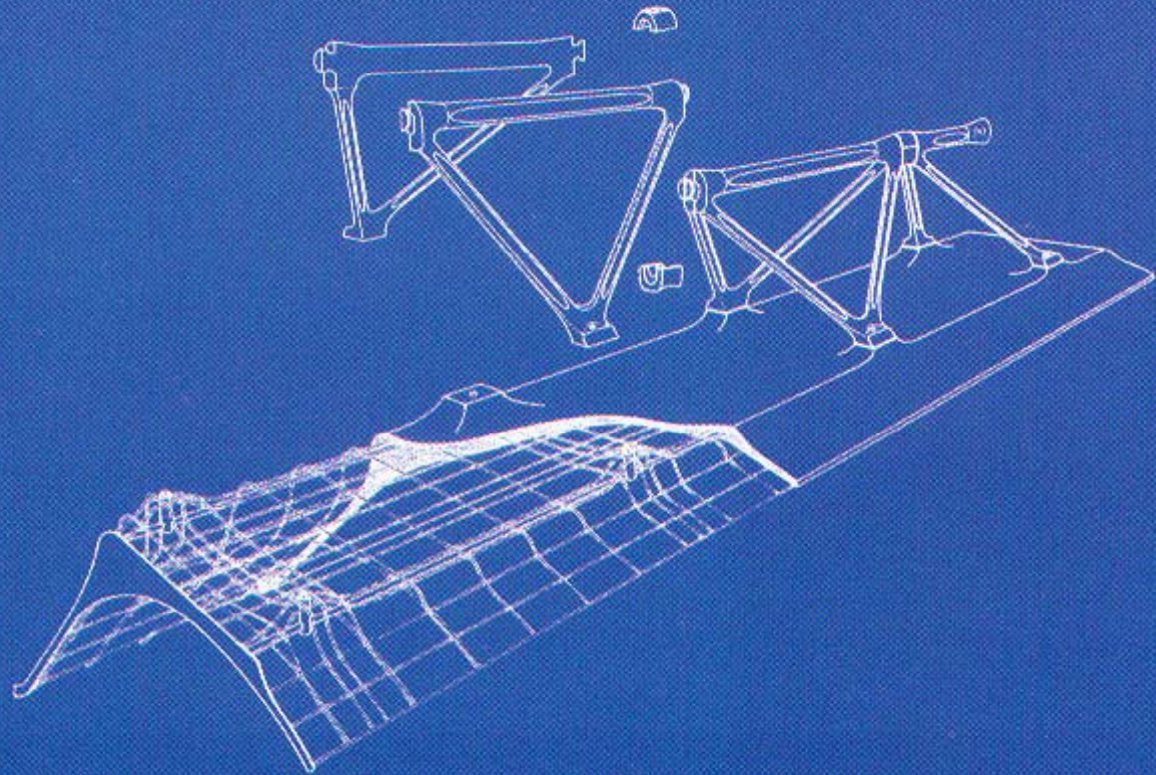
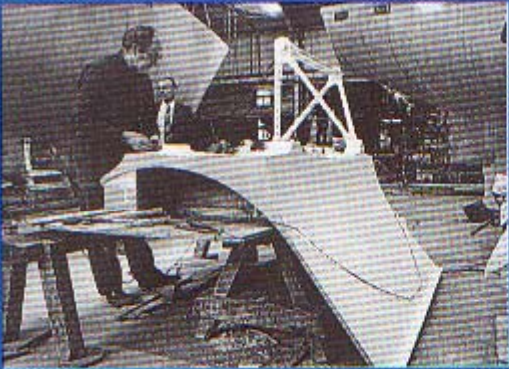


## Sistema di illuminazione naturale a luce riflessa



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

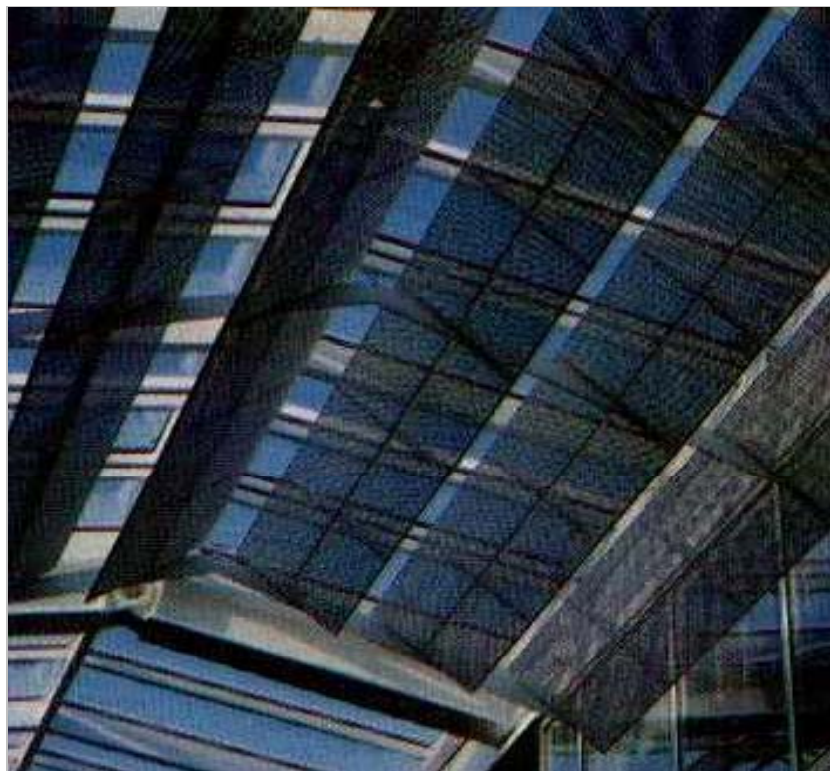






Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3

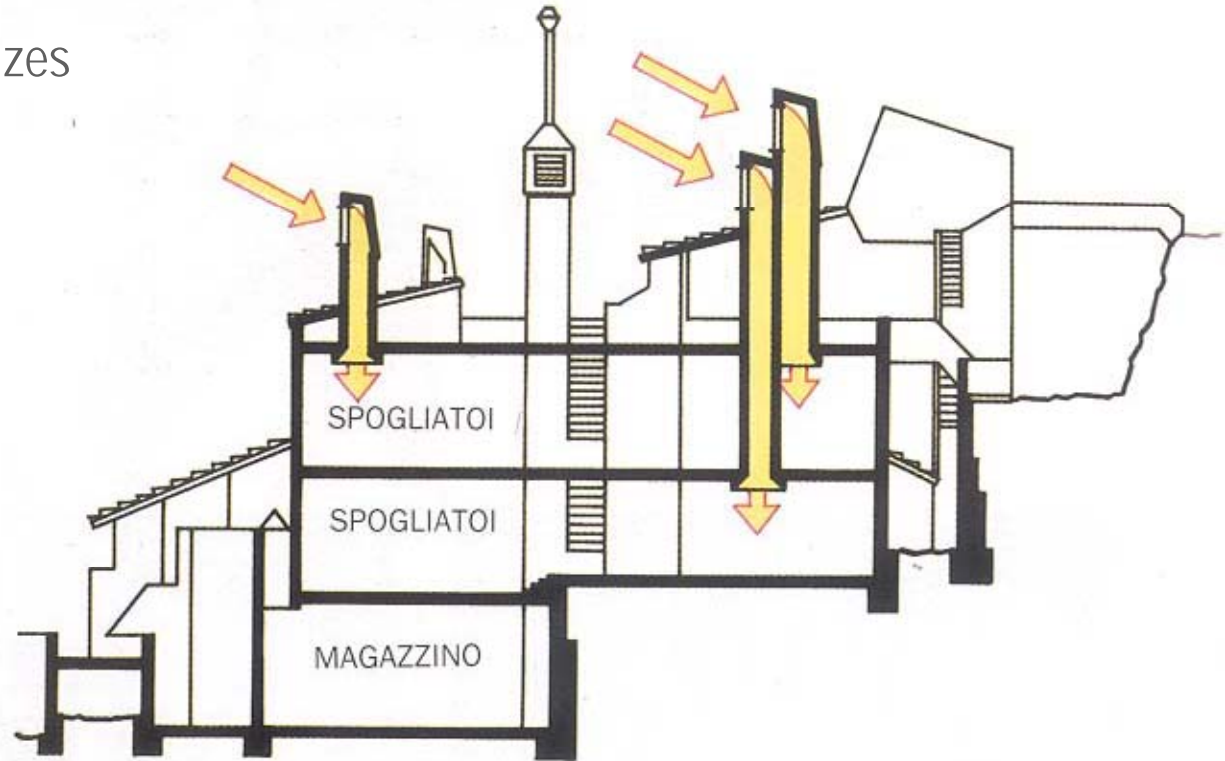


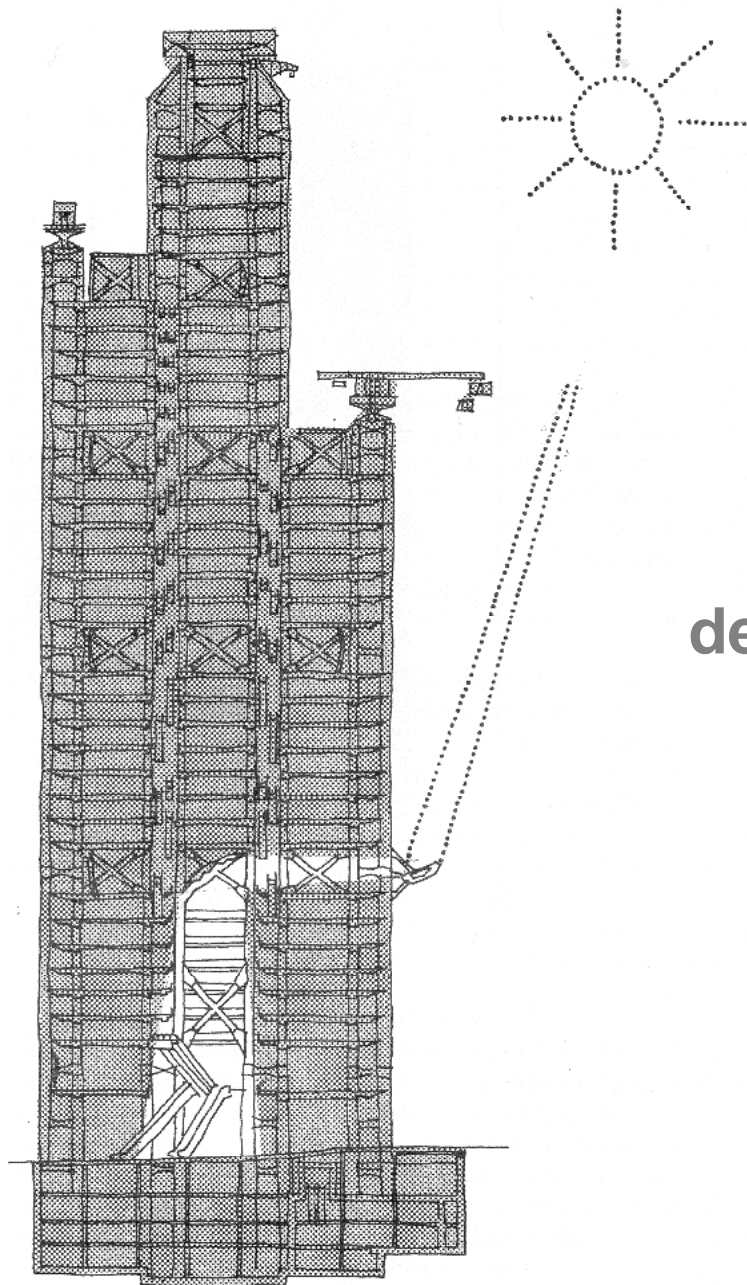
**Illuminazione zenitale**  
**Sistemi di schermatura**



# CAMINI DI LUCE

Club Desportes Hispano - Franzenes  
arch. Rafael Serra  
Barcelona

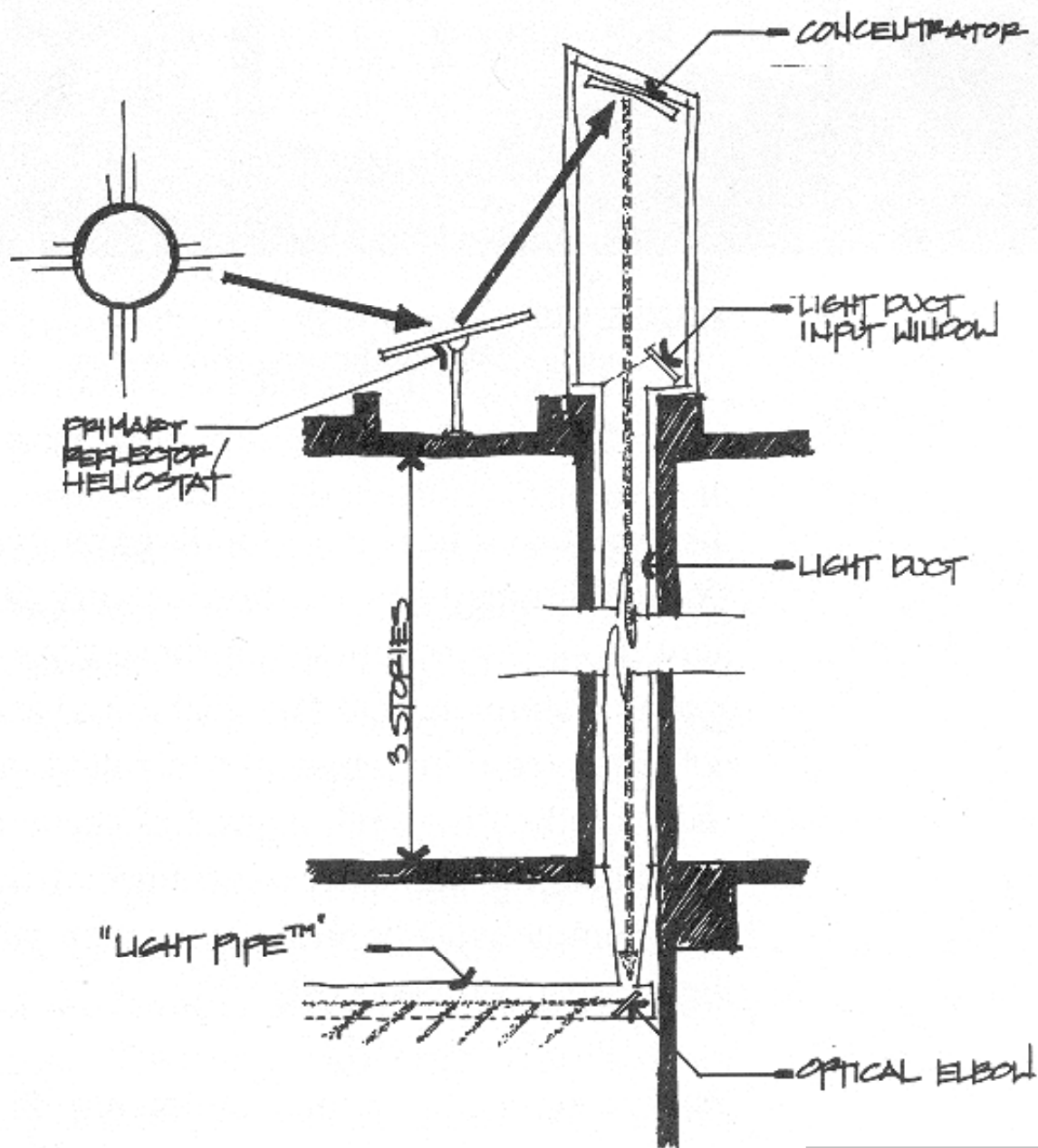




## **Sistema di convogliamento della luce naturale tramite specchi**

Hong Kong & Shanghai Banking Corporation

Hong Kong - Arch. Norman Foster



## Sistema per il convogliamento della luce naturale



## 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



REICHSTAG Berlin, Germany, 1999 - Foster and Partners, Architects – Claude R. Enge, Lighting designer



Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3

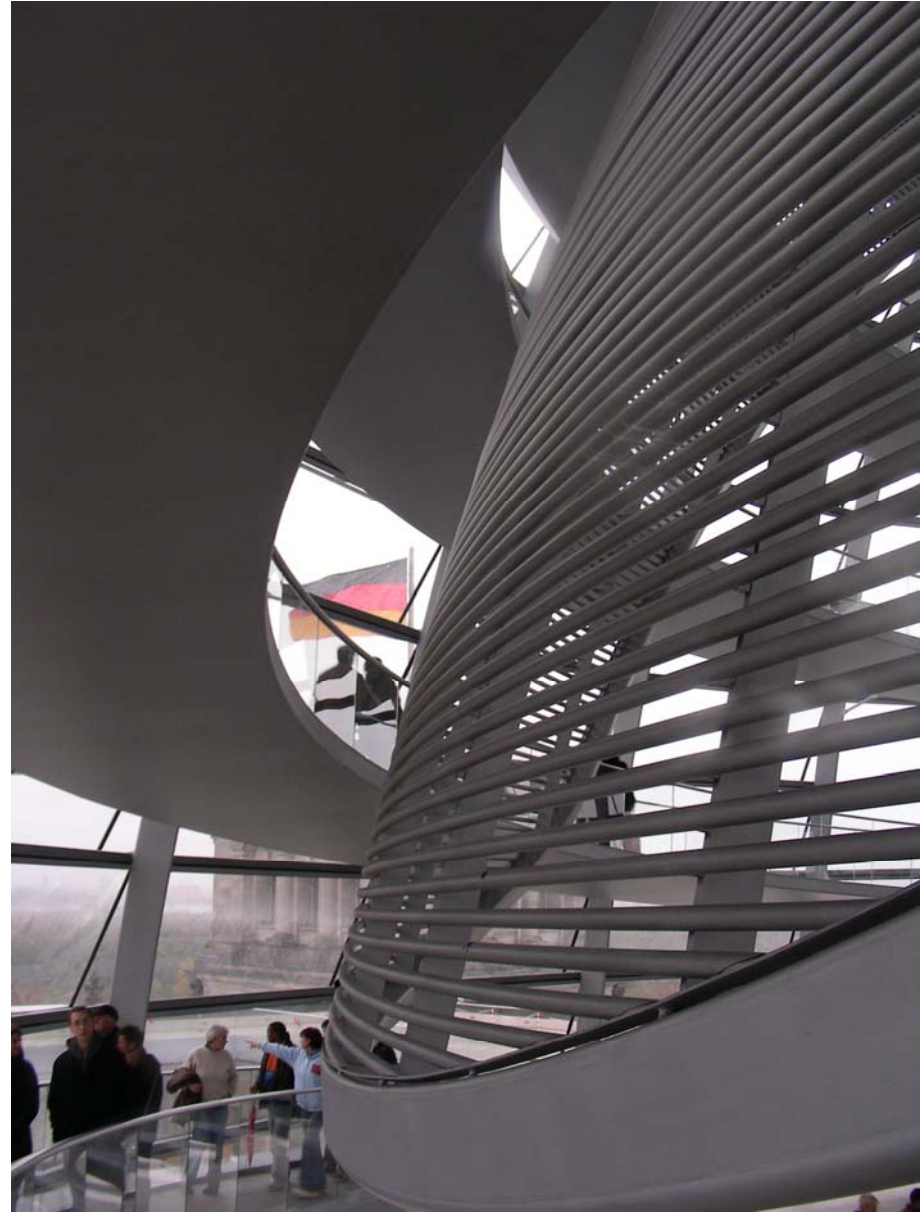


Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting  
prof. Marco Frascarolo



Laboratorio 3



Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting  
prof. Marco Frascaro

Laboratorio 3





Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting  
prof. Marco Frascarolo

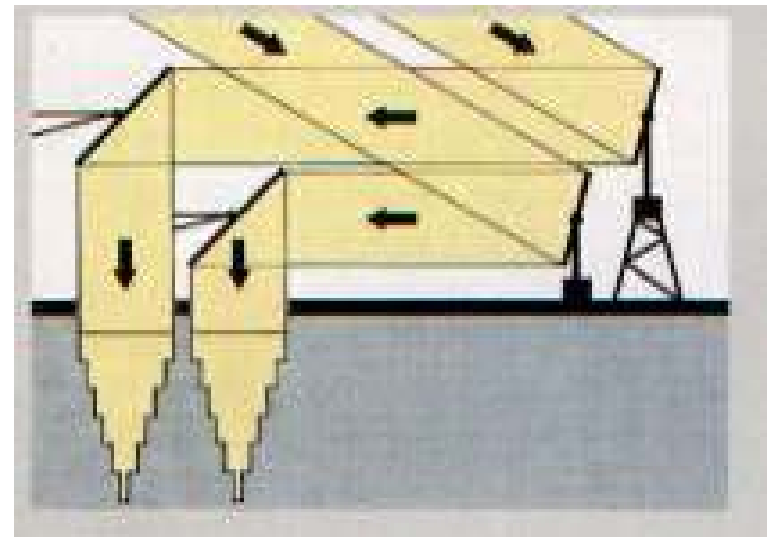
Laboratorio 3

## Elementi per la diffusione della luce naturale





## Elementi per la diffusione della luce naturale



Aeroporto di Manchester (arch. F. Wagner)