

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

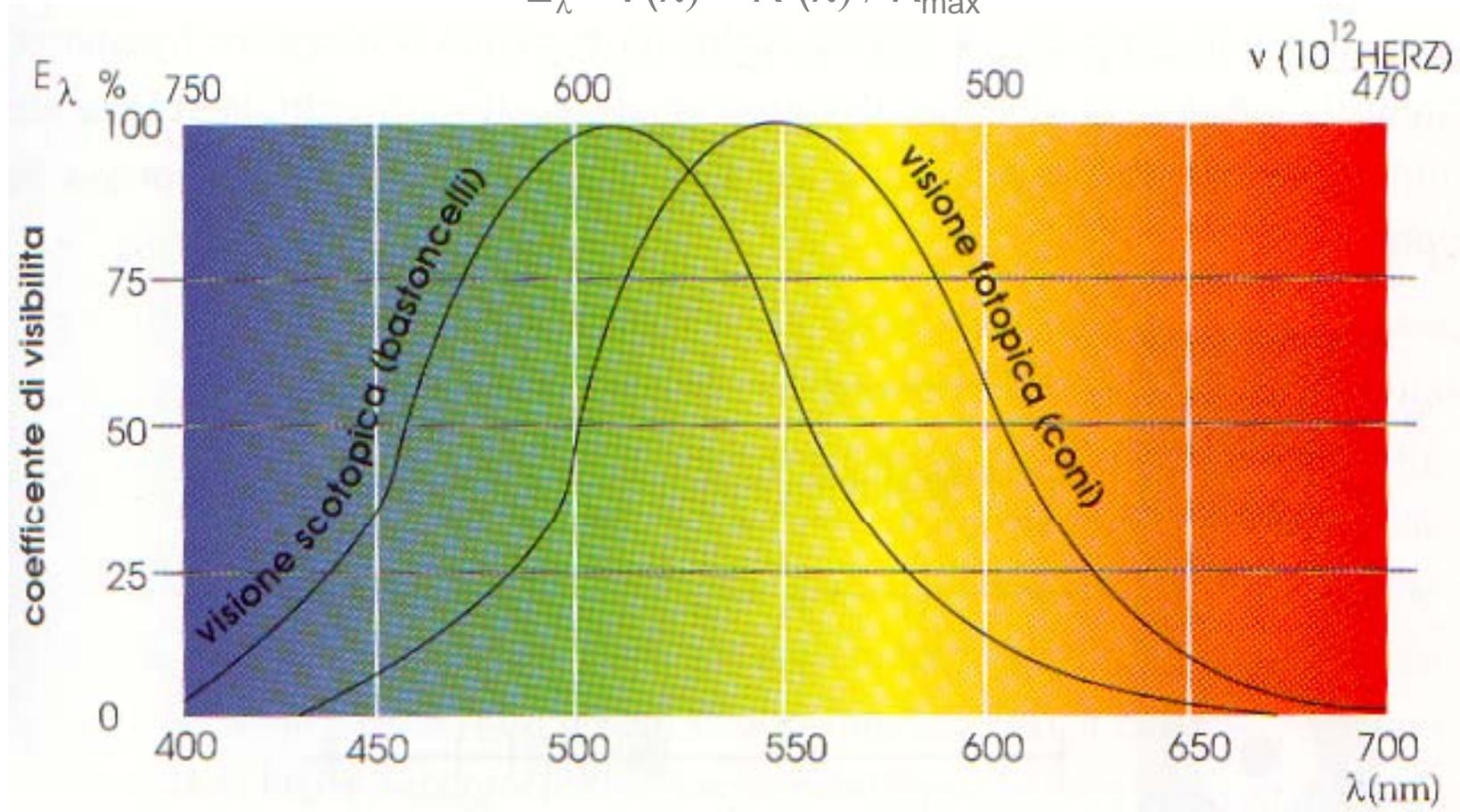
Università degli Studi di Roma Tre
Facoltà di Architettura
A. A. 2011- 2012

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



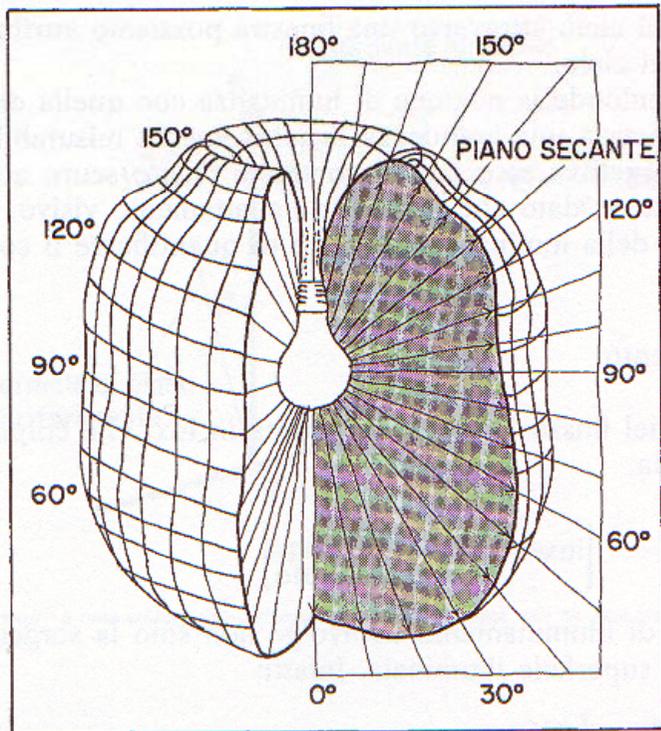
da 0.1 lux
a 0.01 lux



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/m²)

Abbagliamento

INDICE DI RESA CROMATICA

(IRC 0-100)

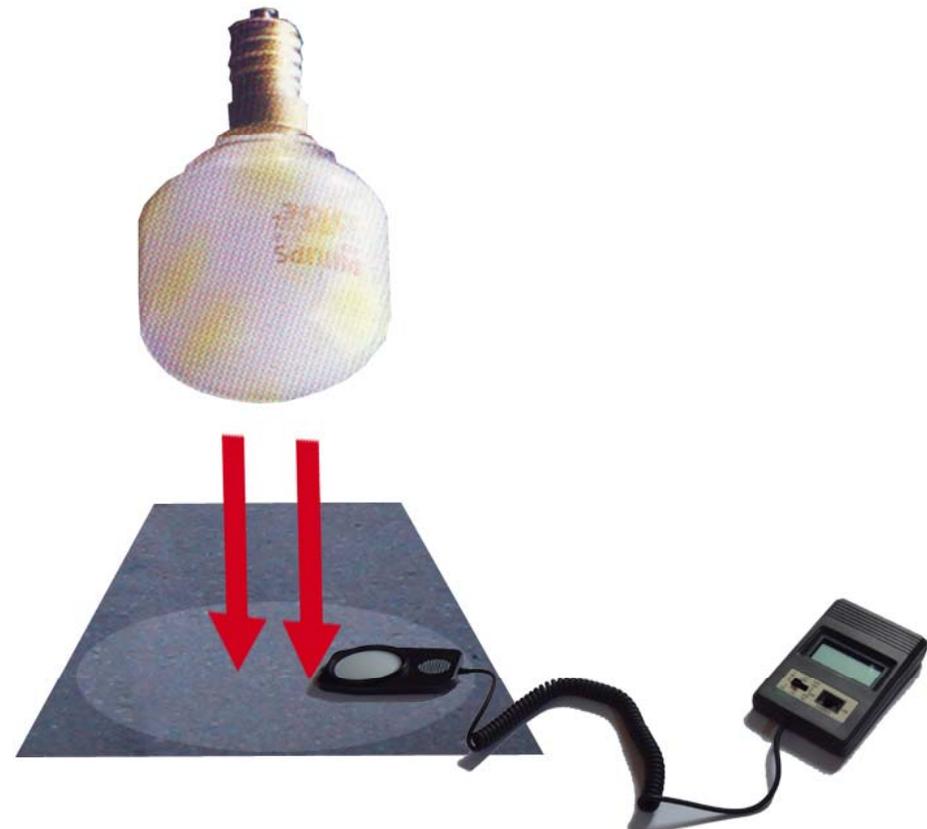
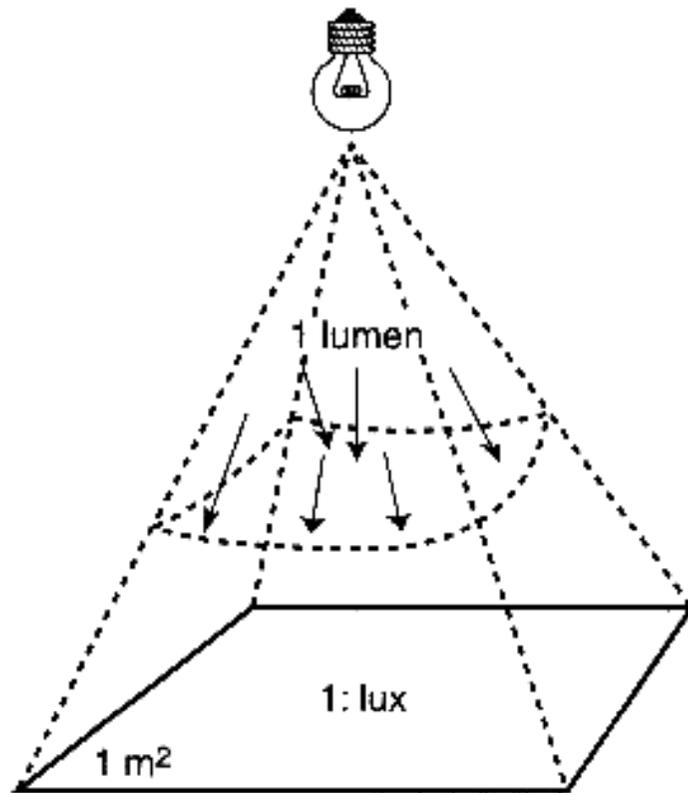
Qualità della luce

TEMPERATURA DI COLORE

kelvin (k)

ILLUMINAMENTO

$$E = d\phi / dA$$



LUMINANZA - GRANDEZZA FONDAMENTALE UTILIZZATA PER LA PROGETTAZIONE OUTDOOR

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

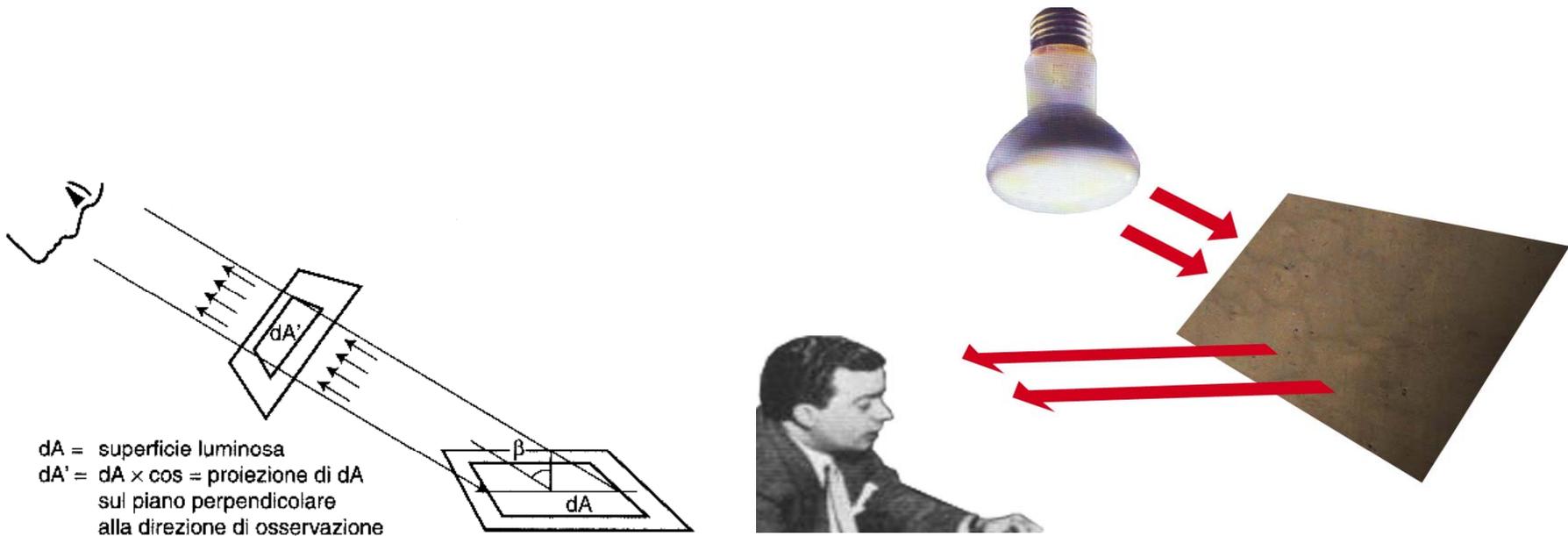
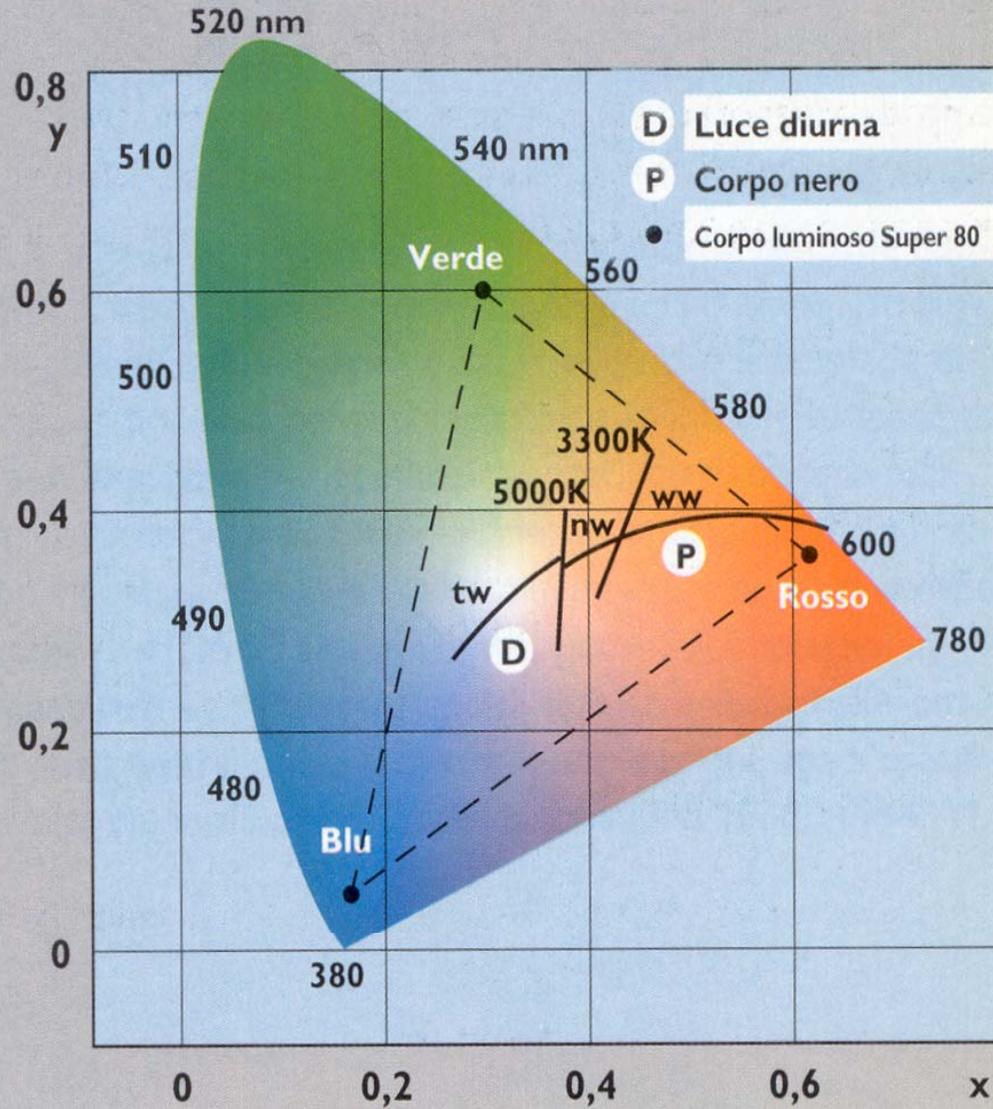
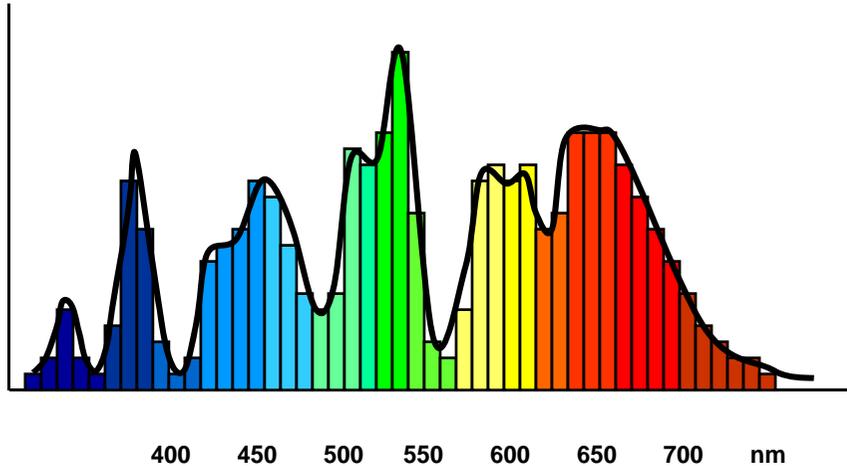


DIAGRAMMA CROMATICO

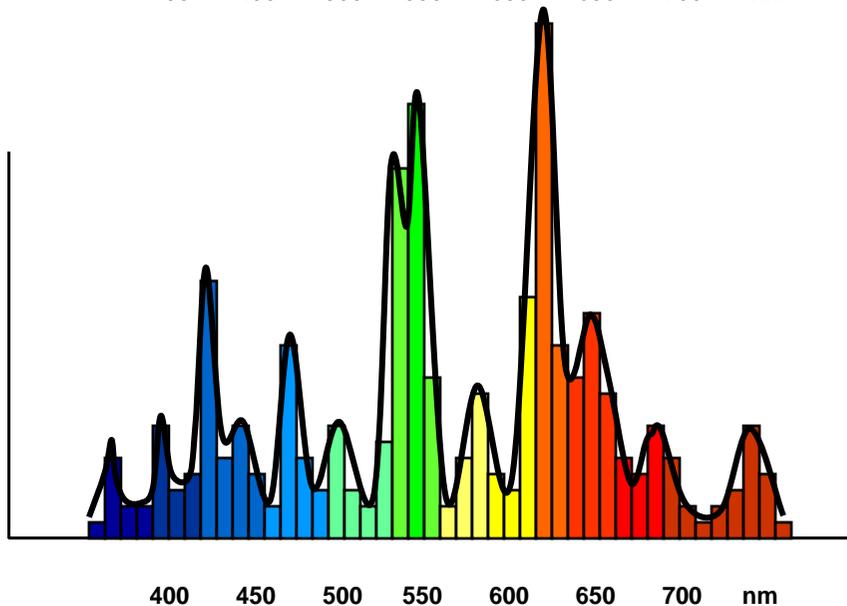


Temperatura di colore e distribuzione spettrale



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

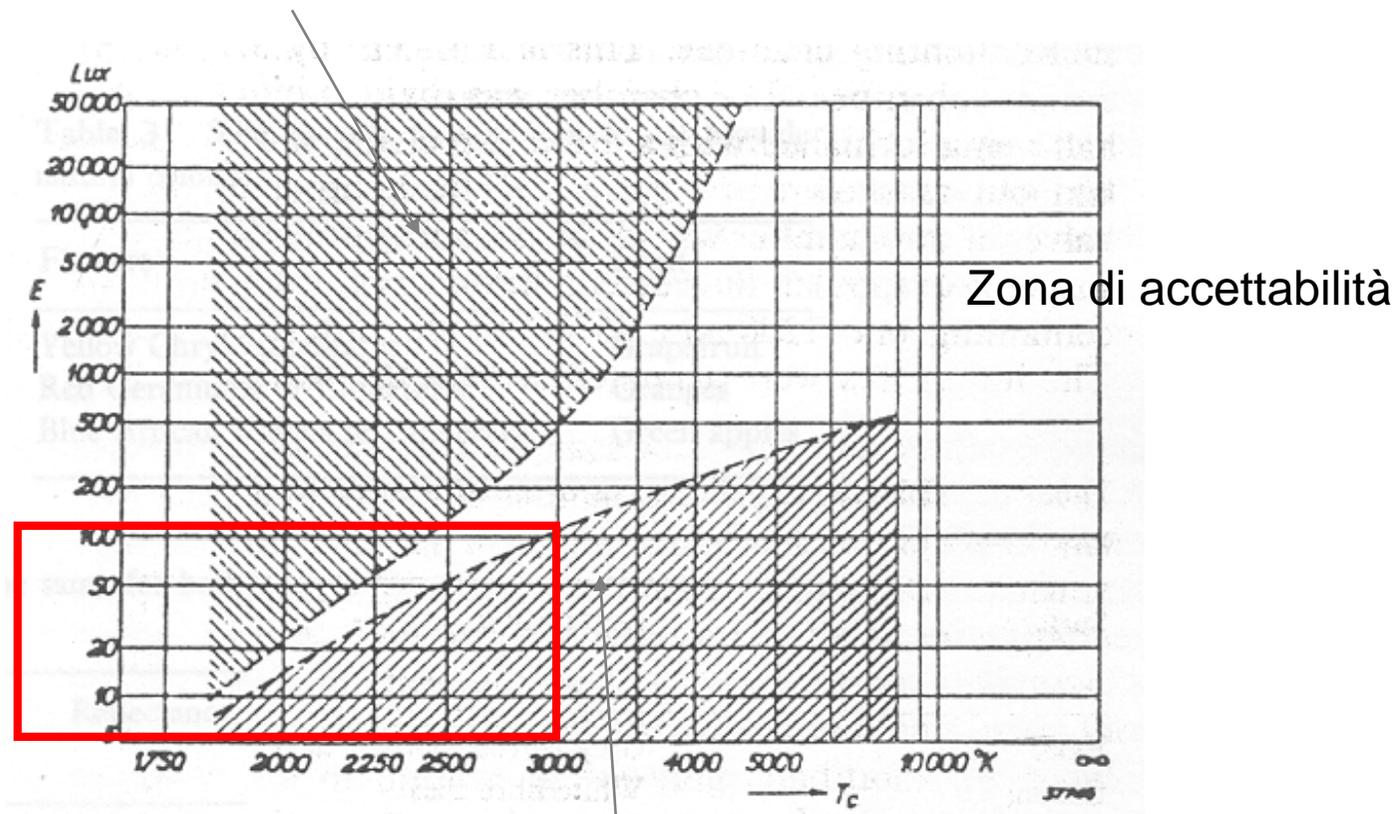
LAMPADA FLUORESCENTE
LUCE BIANCHISSIMA

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

N.rif.	Tipo di interno, compito o attività	E_m lx	UGR_L	R_a	Note
3.0	Uffici				
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

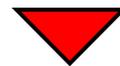
ILLUMINAZIONE NATURALE RISULTA FONDAMENTALE PER:

*condizioni ambientali confortevoli
(comfort visivo e termico)*



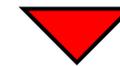
vantaggi psico-fisiologici
legati alla luce solare

- 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

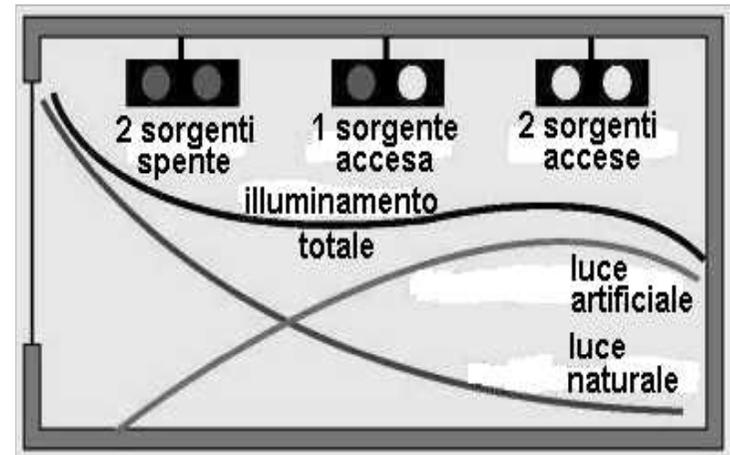
*NON E' VERO CHE MASSIMIZZARE LA DISPONIBILITA' DI DAYLIGHT
VOGLIA DIRE MASSIMIZZARE I BENEFICI*

↳ 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/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 ($1.6 \cdot 10^9$ 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: $1.6 \cdot 10^9$ cd/m²
- CIELO SERENO: $8.3 \cdot 10^3$ cd/m²
- CIELO COPERTO: $2 \cdot 10^3$ cd/m²
- SORGENTE ALOGENA: $1.3 \cdot 10^7$ 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

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

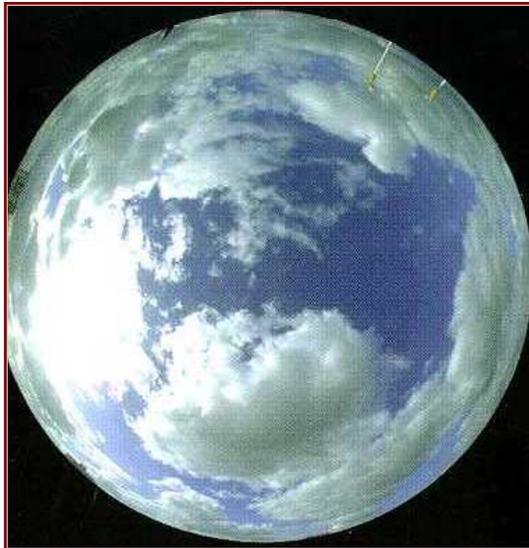
cielo sereno



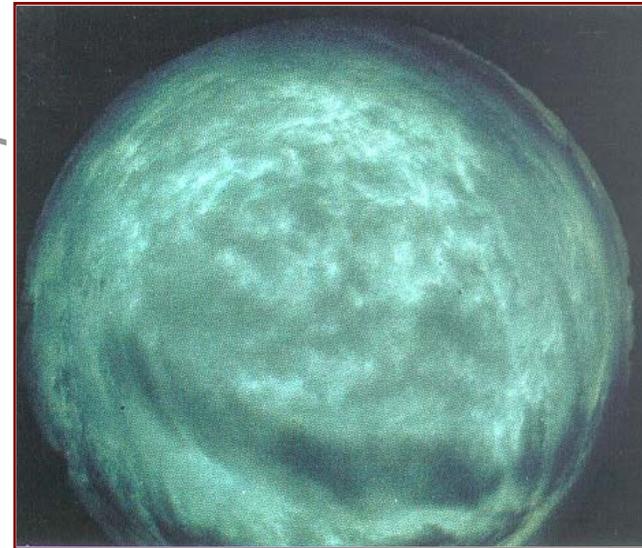
*cielo sereno con
presenza di nuvole*



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 [m²]

τ_l = fattore di trasmissione luminosa del vetro

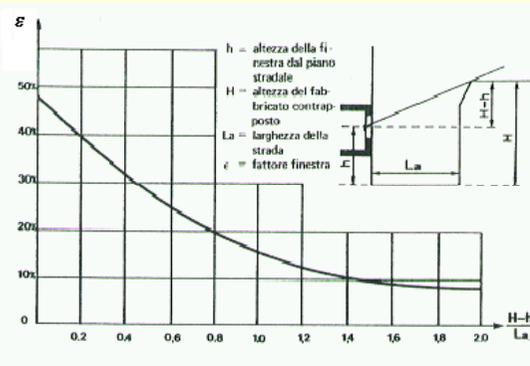
$\rho_{l,m}$ = fattore di riflessione luminosa medio ponderato
delle superfici interne dell'ambiente

ε = fattore finestra

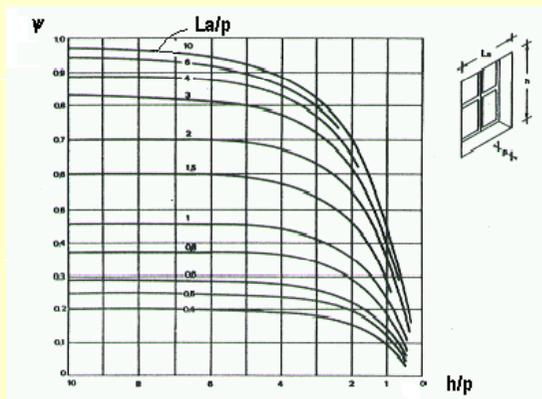
$\varepsilon = 1$ per superfici orizzontali
prive di ostruzioni

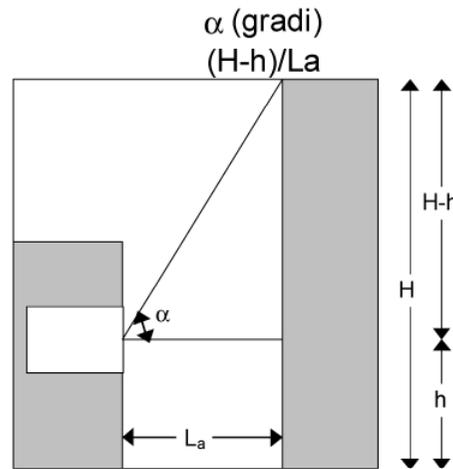
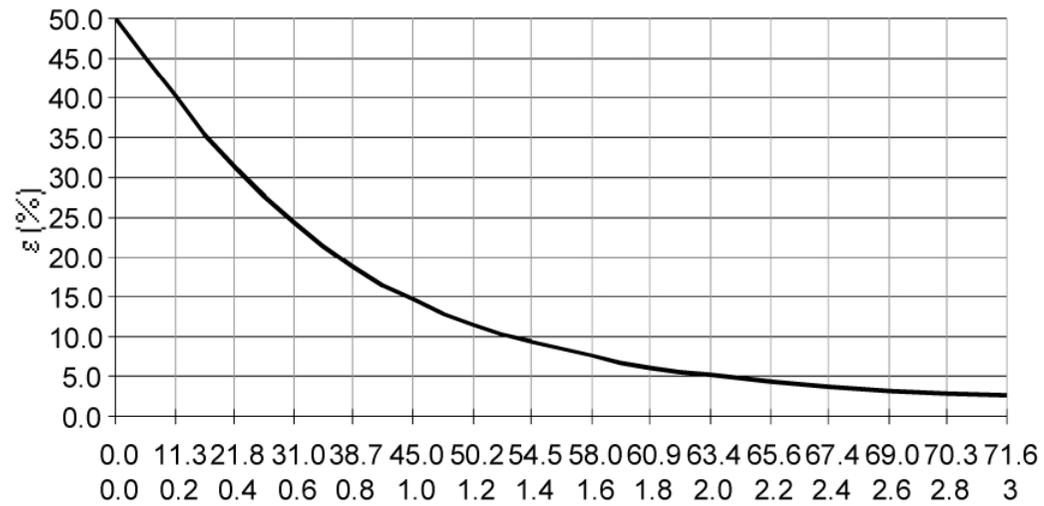
$\varepsilon = 0,5$ per superfici verticali
prive di ostruzioni

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

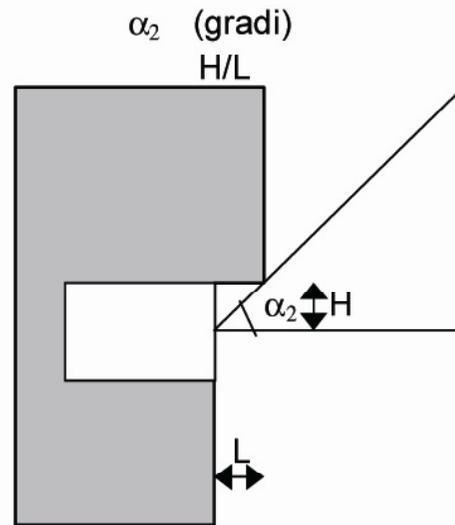
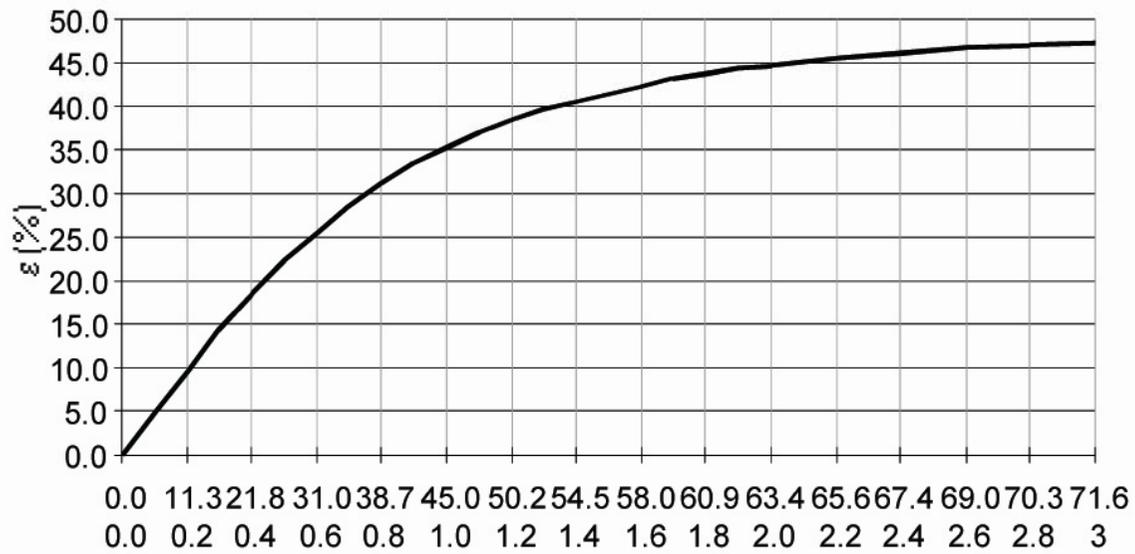


ψ = fattore di riduzione del fattore finestra





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_i	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	0,61	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	
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	0,18-0,48
		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]	τ_s	τ_i	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
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

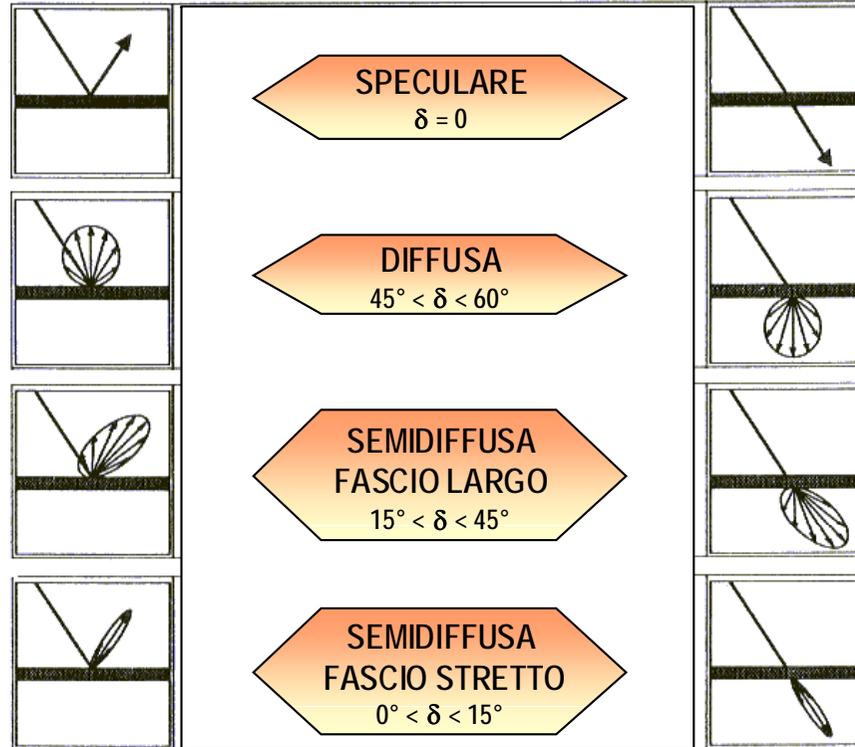
<i>tipologia di vetro (a lastra singola o in vetrocamera)</i>	τ_l [-]
vetro chiaro singolo	0.87 – 0.91
vetro singolo colorato:	
bronzo	0,39 – 0,67
grigio	0,30 – 0,60
verde	0,66 – 0,81
vetro riflettente	
chiaro	0,63 – 0,64
argento	0,14 – 0,49
bronzo	0,18 – 0,33
vetrocamera (chiaro + chiaro)	0.78 – 0.86
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



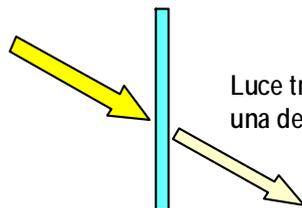
TEMPERATURA DI COLORE E RESA DEL COLORE

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

Sorgente campione:

$T_c = 6000 \text{ K}$

$R_a = 100$



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>	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

Daylighting
Modulo di Fisica Tecnica
prof. Marco Frascarolo

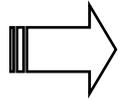
Coefficiente di riflessione dei materiali più comuni

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	Controp. lontanass. 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

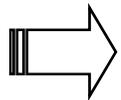
LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 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

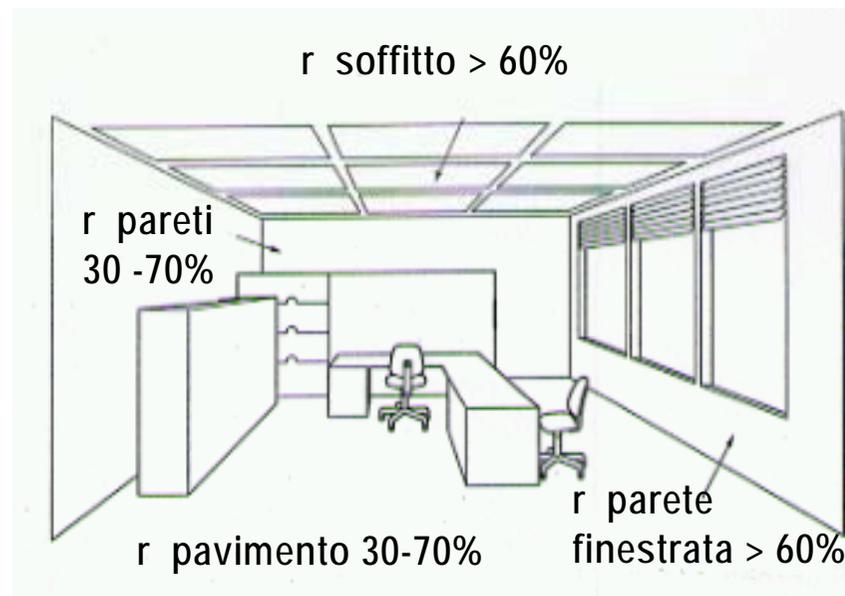
L'occhio percepisce l'ambiente e gli oggetti in ragione della loro luminanza

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



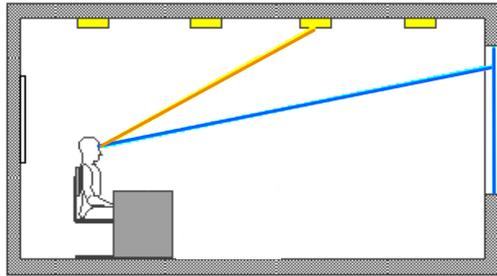
La distribuzione delle luminanze dipende
anche dai
FATTORI DI RIFLESSIONE delle superfici

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



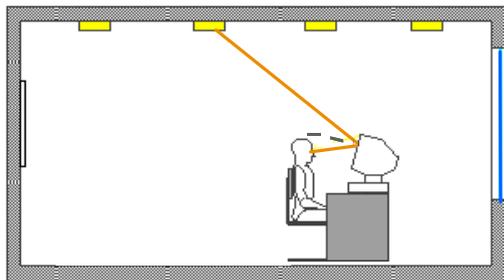
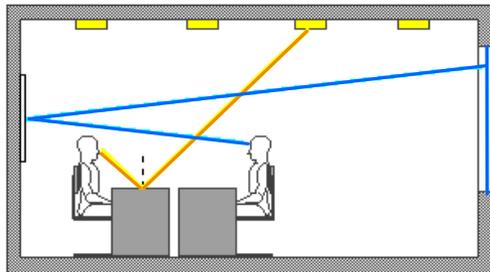
Generalmente l'occhio umano predilige una
distribuzione
delle luminanze in ambiente decrescente
dall'alto verso il basso

ABBAGLIAMENTO DIRETTO



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

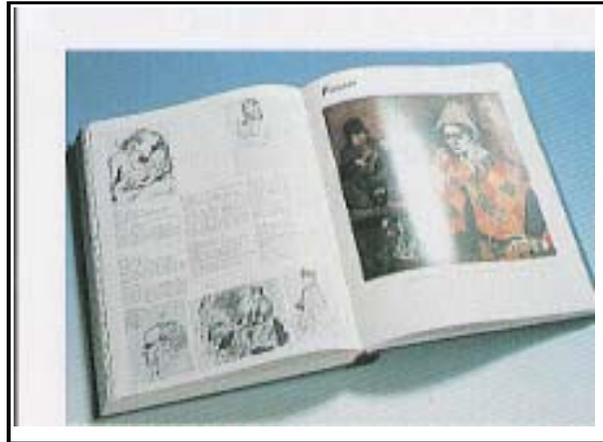
ABBAGLIAMENTO RIFLESSO



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

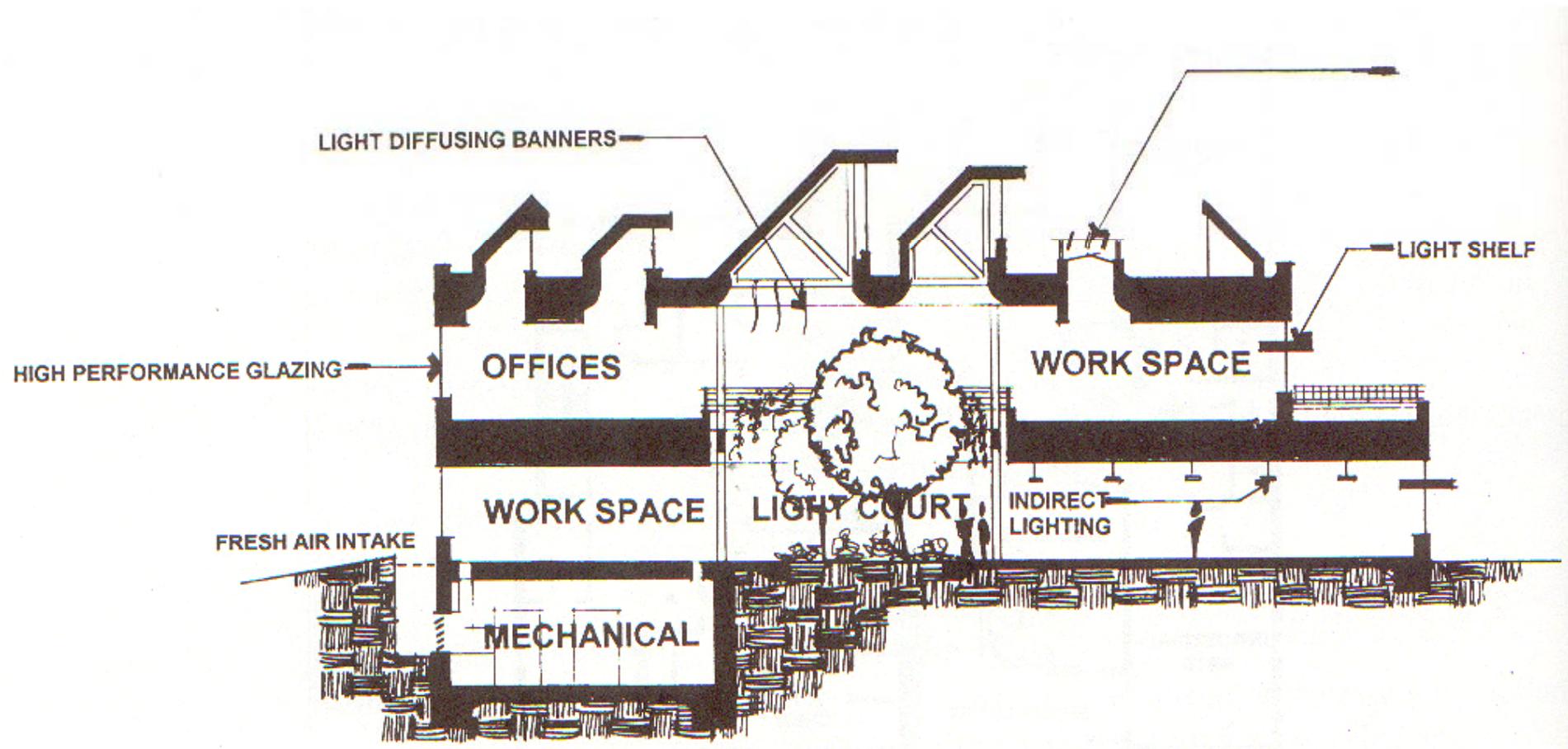
<i>profondità del locale [m]</i>	<i>percentuale minima dell'area della finestra rispetto all'area della parete in cui si trova [%]</i>
< 8	20
$8 \div 11$	25
$11 \div 14$	30
> 14	35

Fornite dalla norma UNI 10530

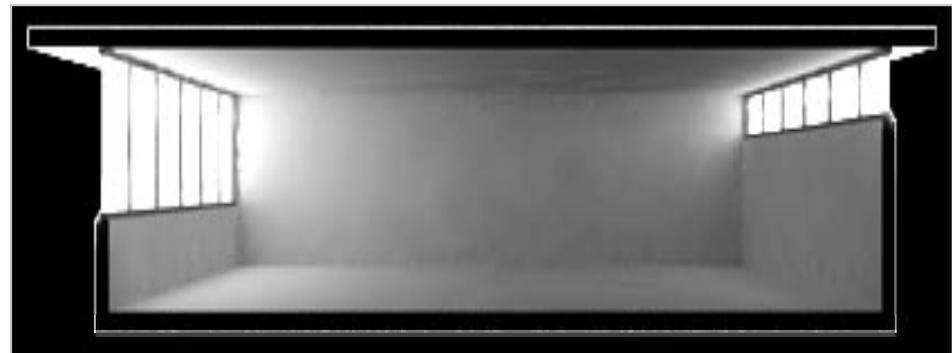
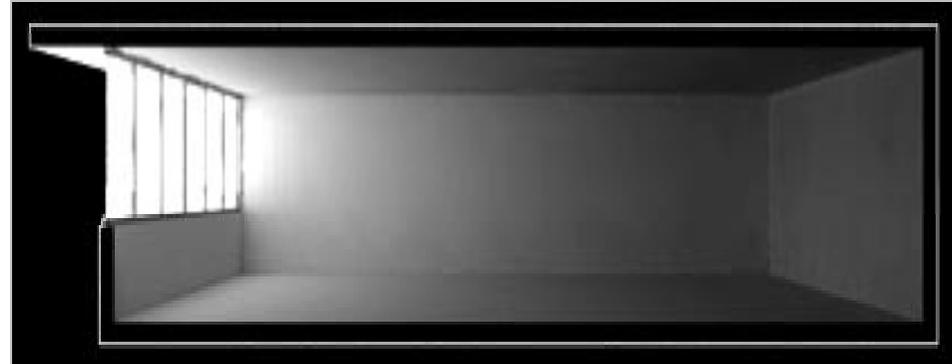
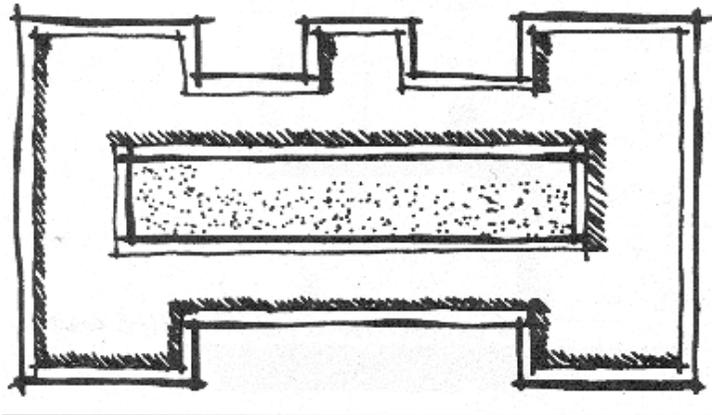
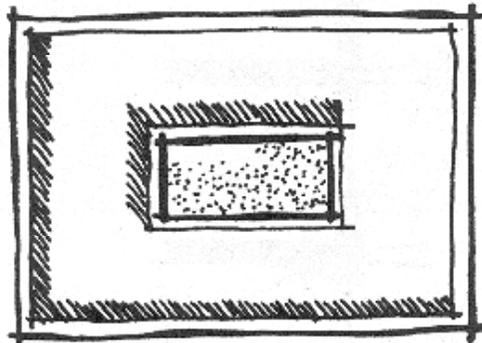
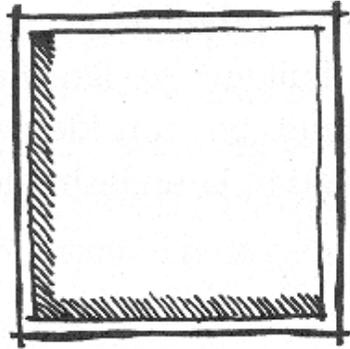
"Principi ed ergonomia della visione"

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

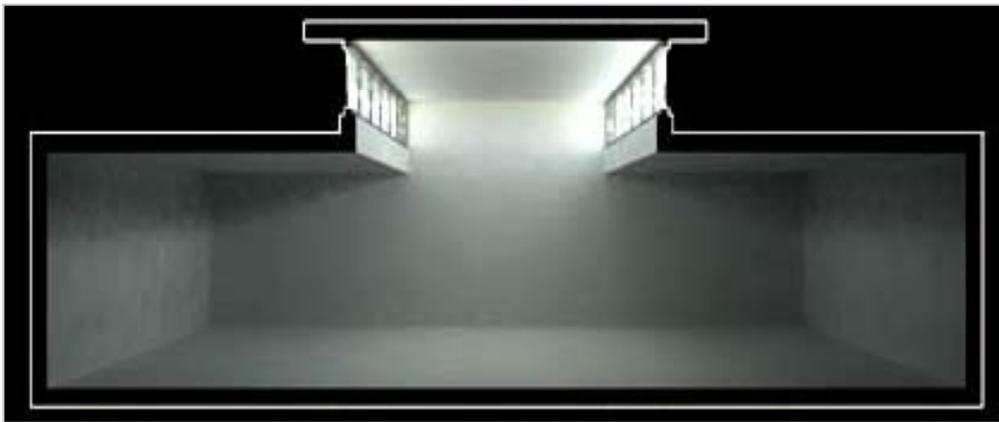
Diversi metodi di utilizzo della luce naturale per l'illuminazione degli ambienti interni



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

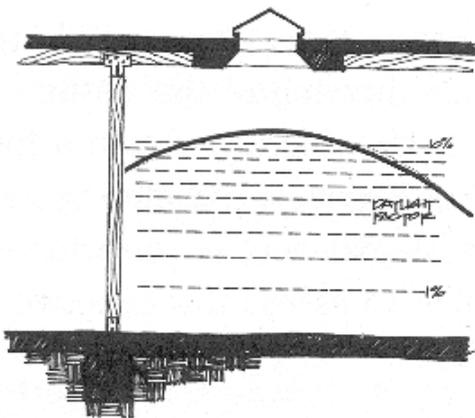
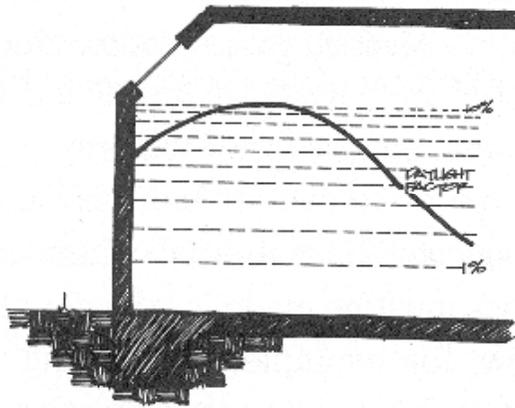
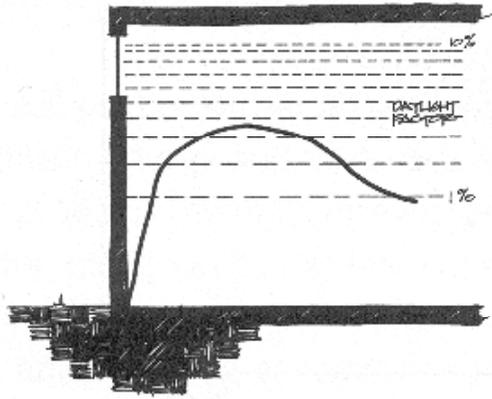


illuminazione zenitale

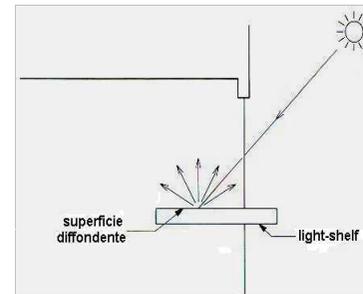
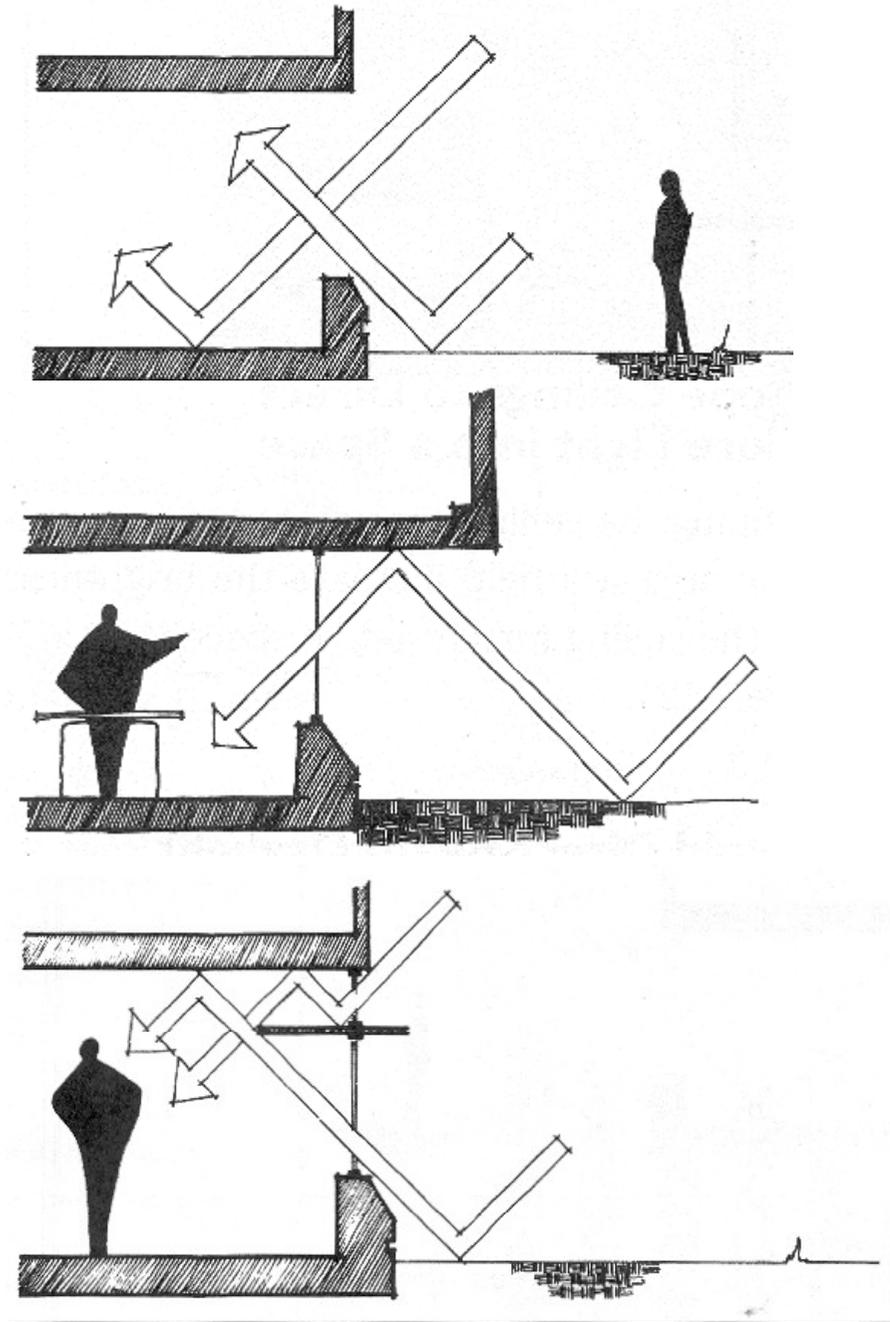


Distribuzione della luce per diversi tipi di infissi

(curve di Illuminamento sul piano di calpestio)

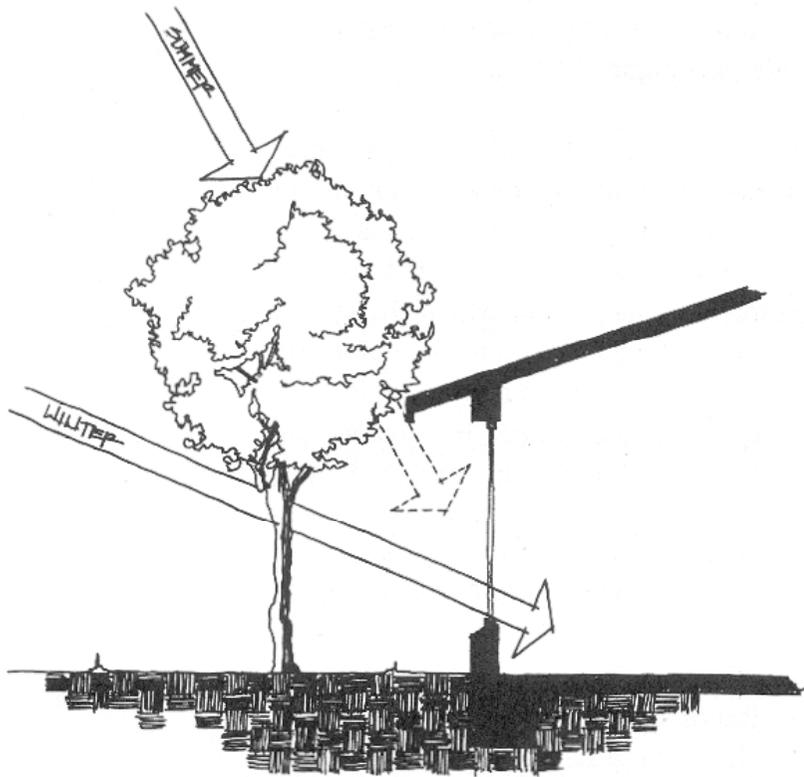
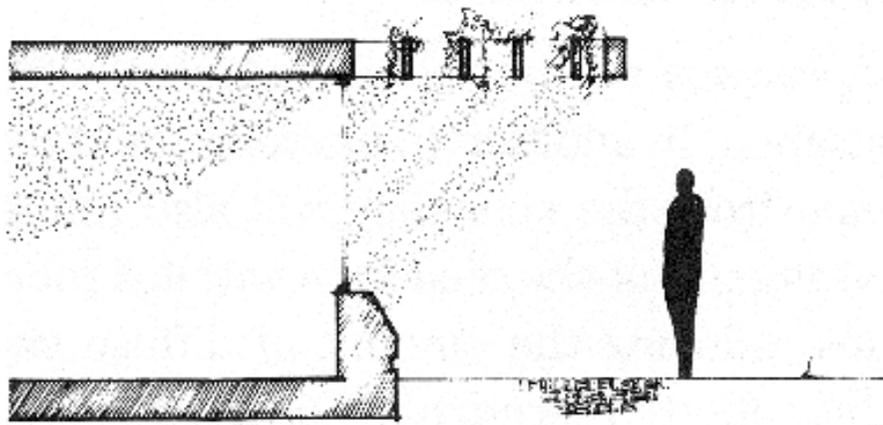


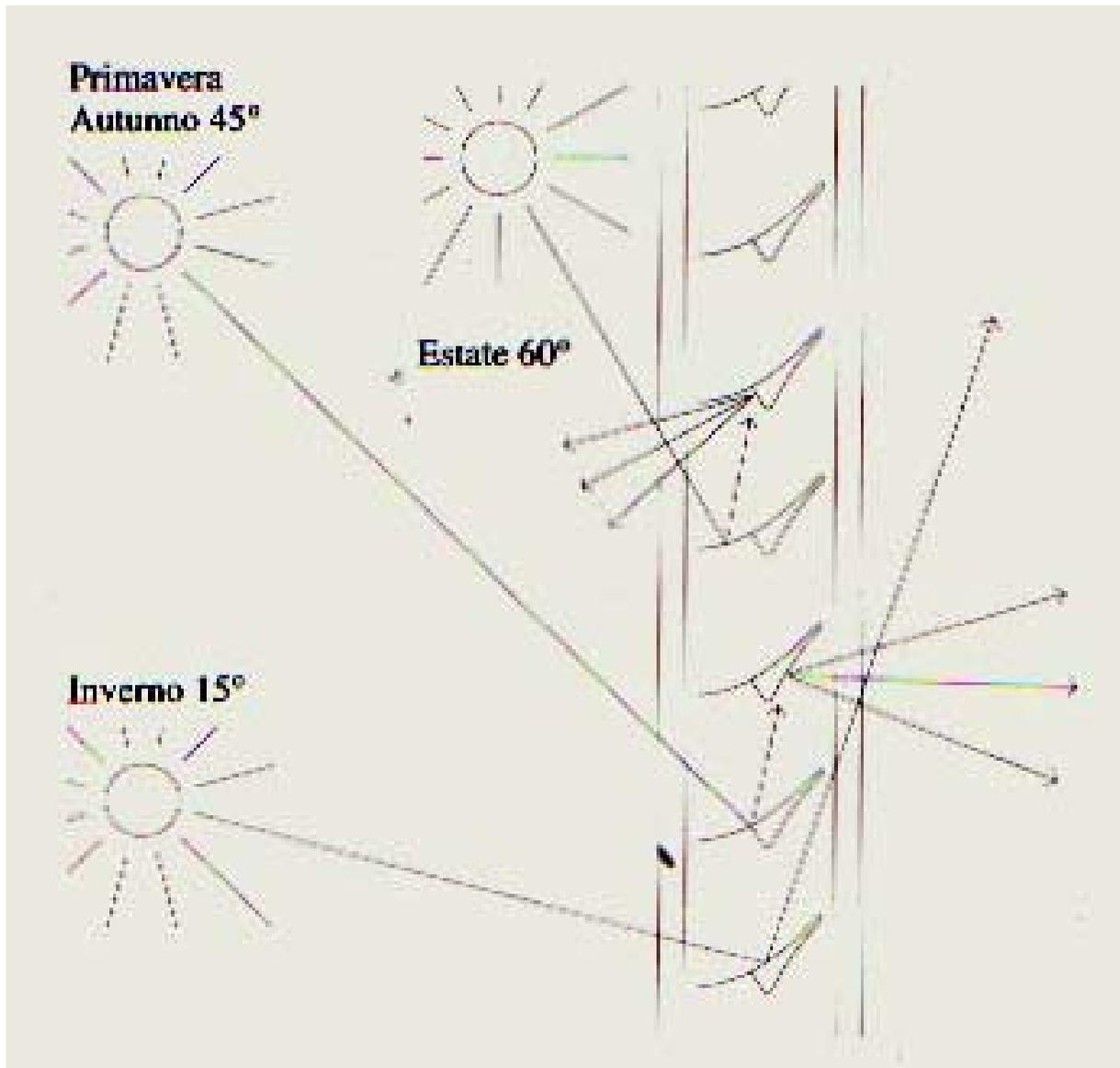
Diversi metodi di controllo della luce naturale in ingresso



Davanzali riflettenti

Diversi metodi di controllo della luce naturale in ingresso

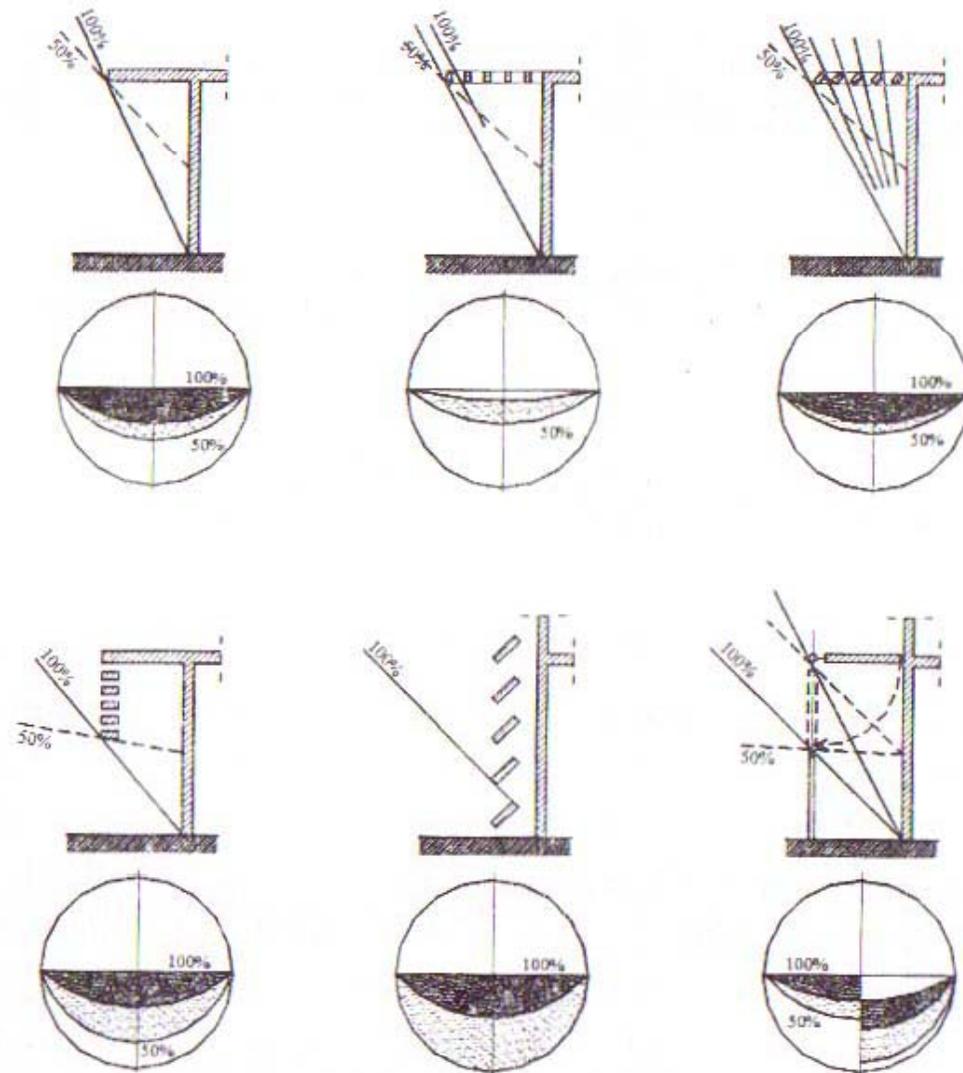




Sistema di controllo del flusso luminoso tramite lamelle fisse inserite in un vetrocamera

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

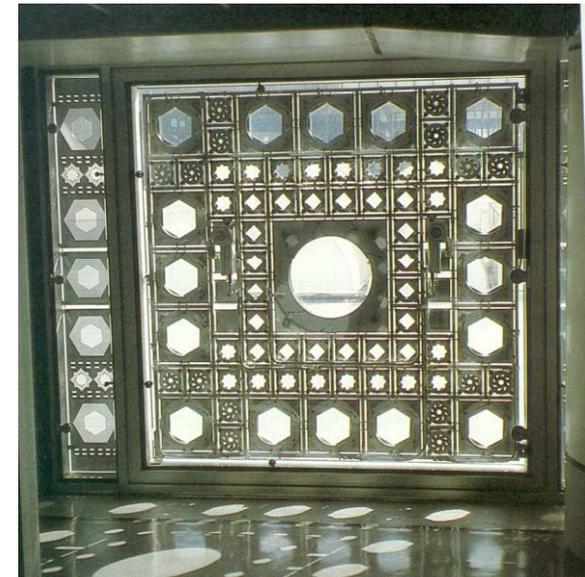
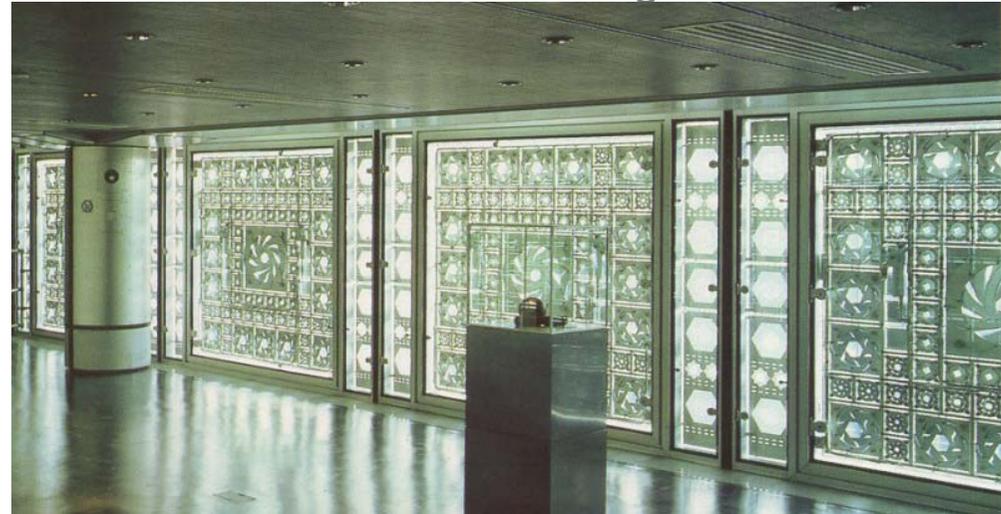
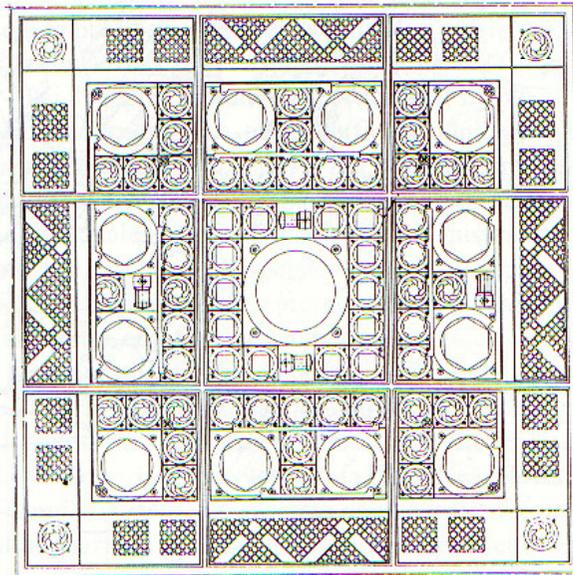
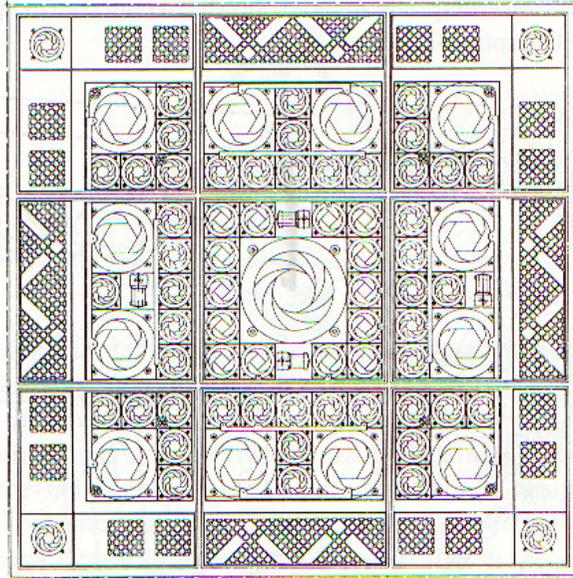
Zona grigia: rappresenta gli angoli di incidenza della radiazione solare per i quali l'effetto di schermatura è parziale



Frangisole ad elementi orizzontali e corrispondenti linee d'ombra

Sistema di serrande regolabili tipo “diaframma”

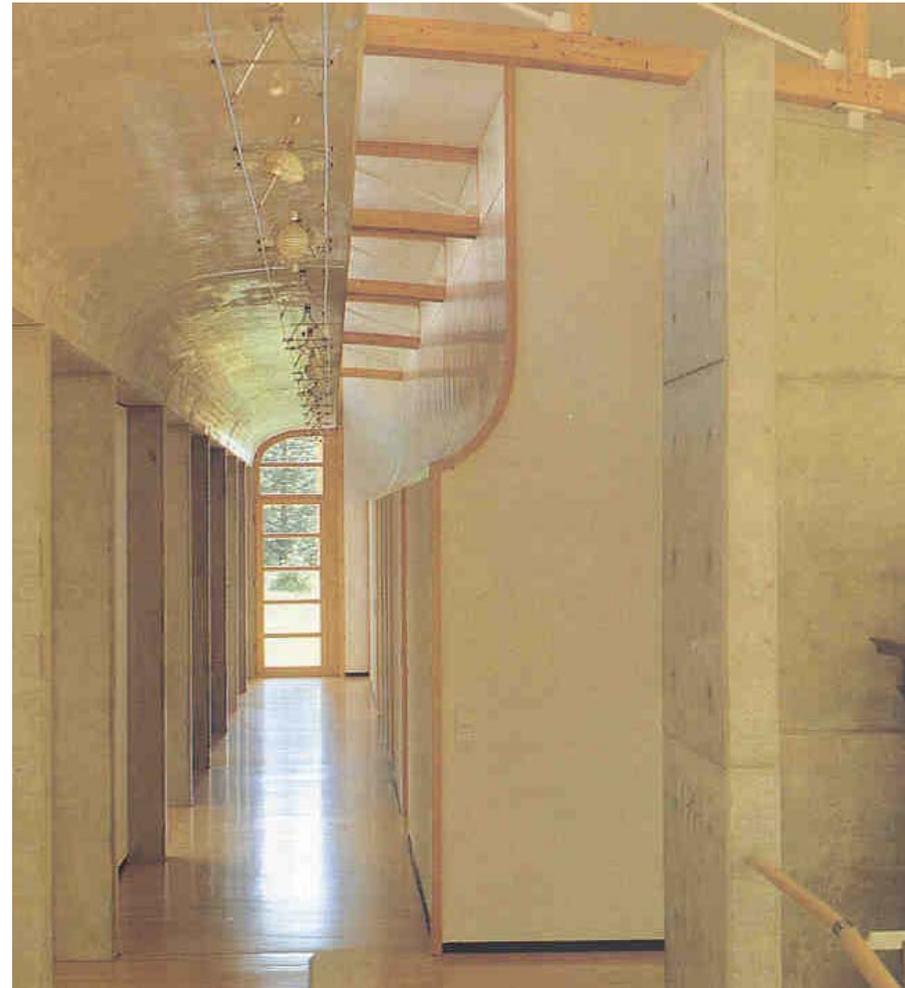
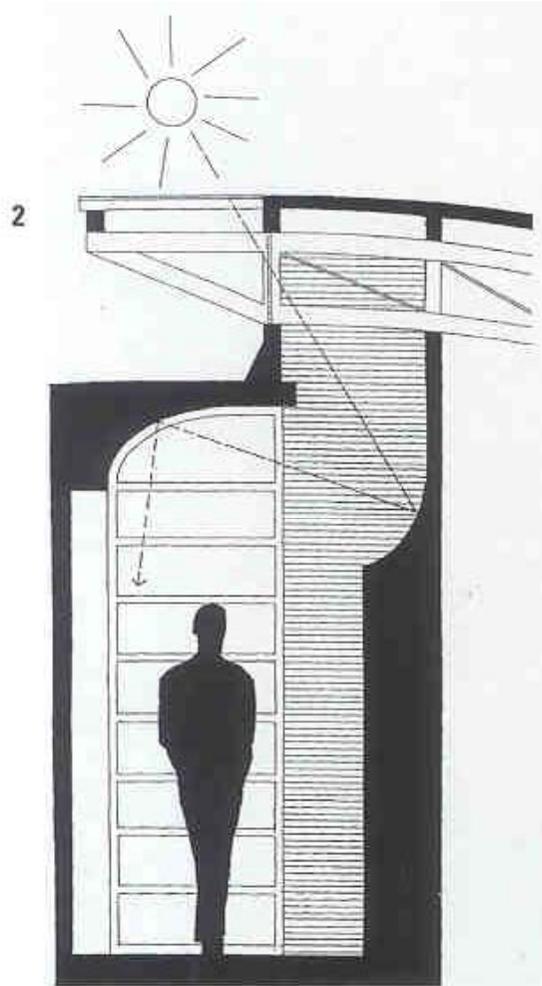
Istituto del mondo arabo. Parigi. Arch. J.Nouvel



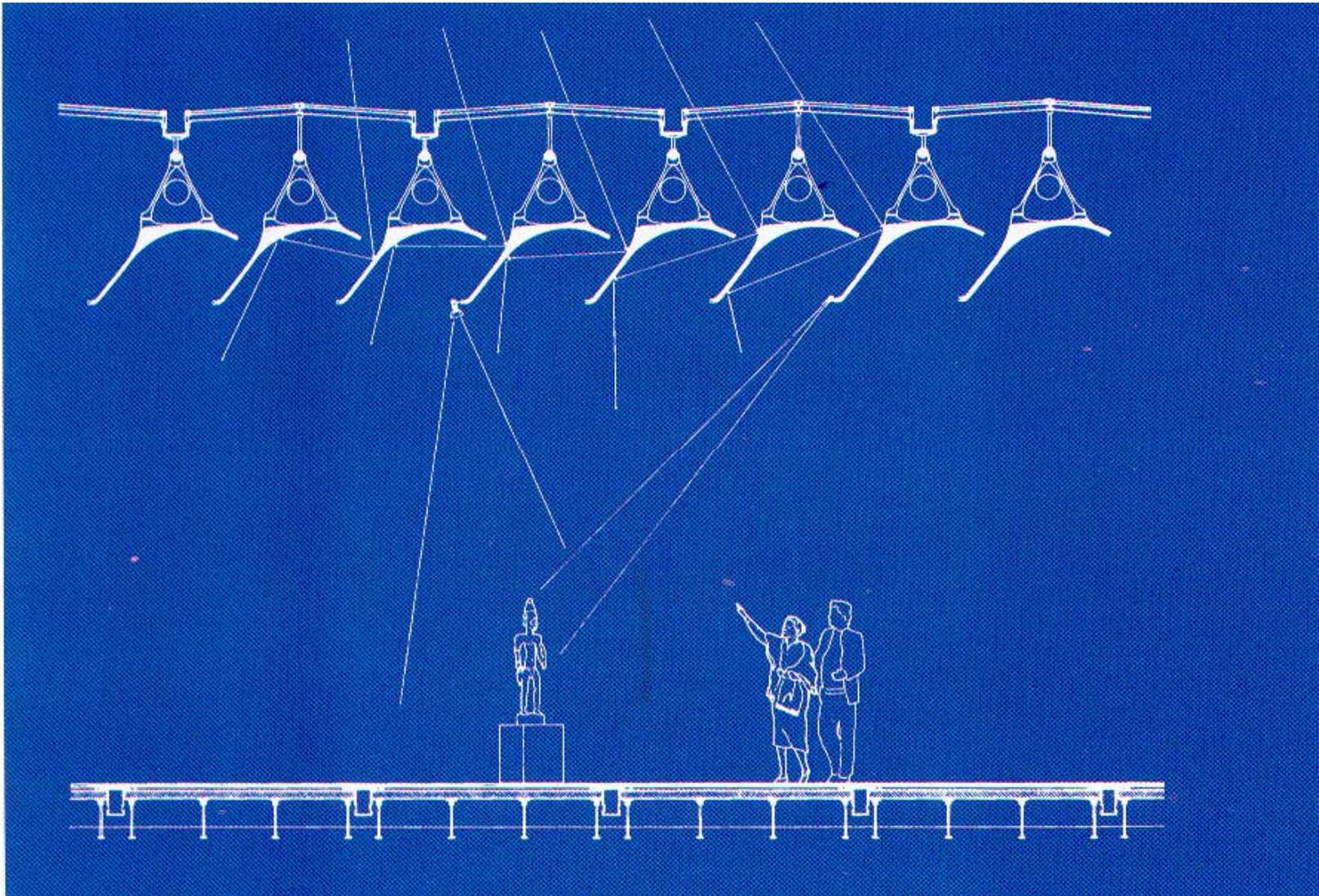
Daylighting
prof. Marco Frascarolo

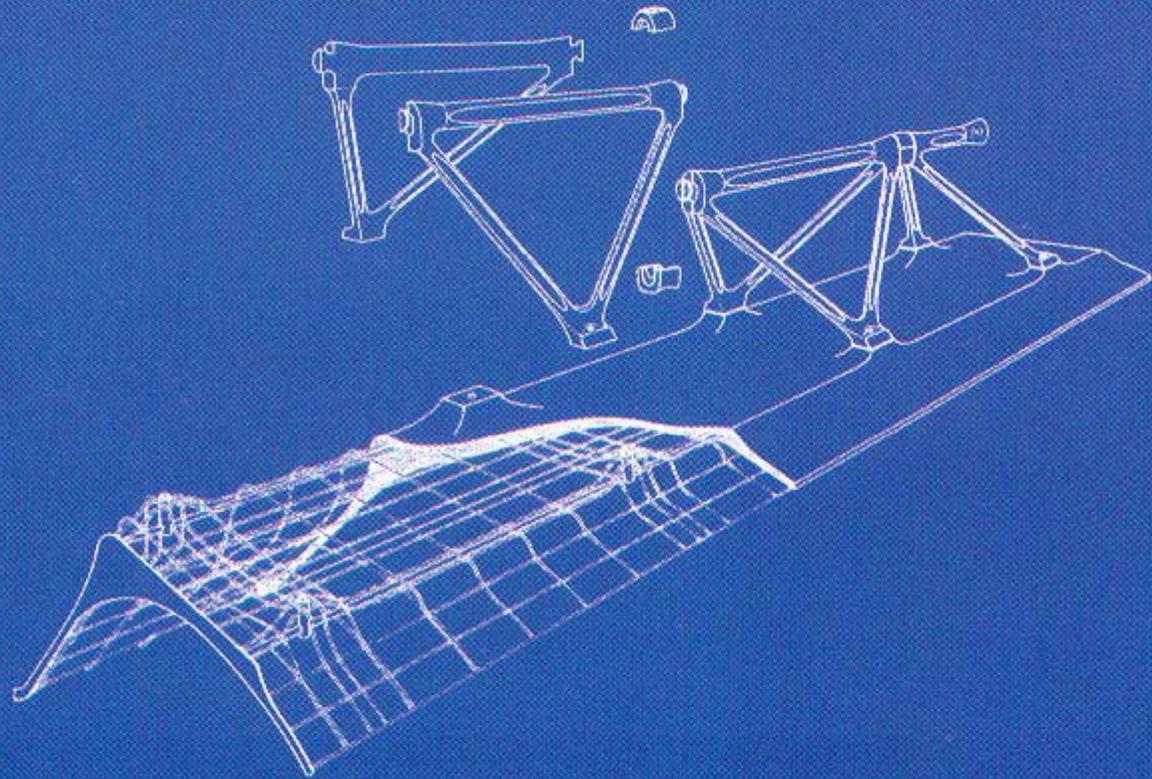
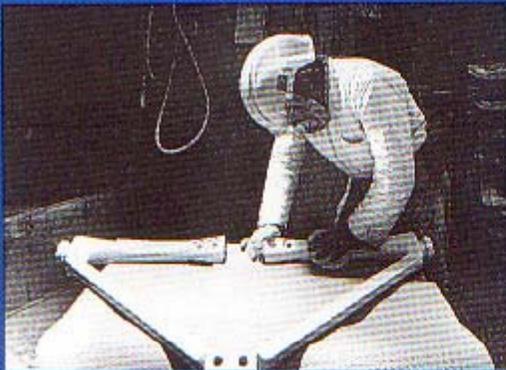
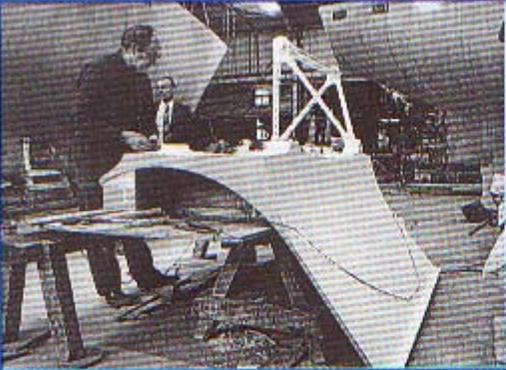
Laboratorio 3

Sistema di illuminazione naturale a luce riflessa



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

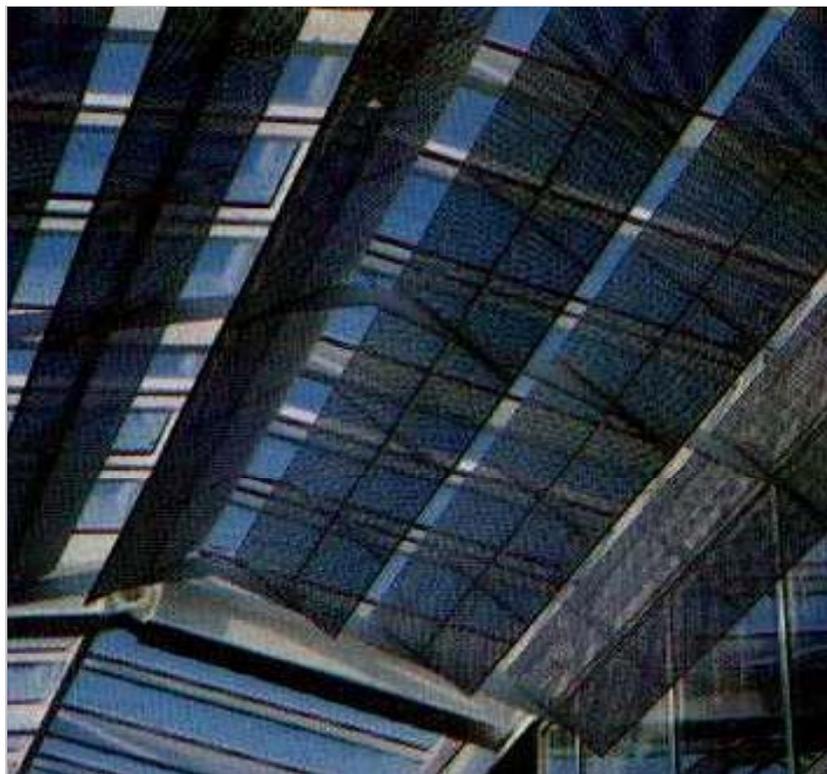






Daylighting
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3

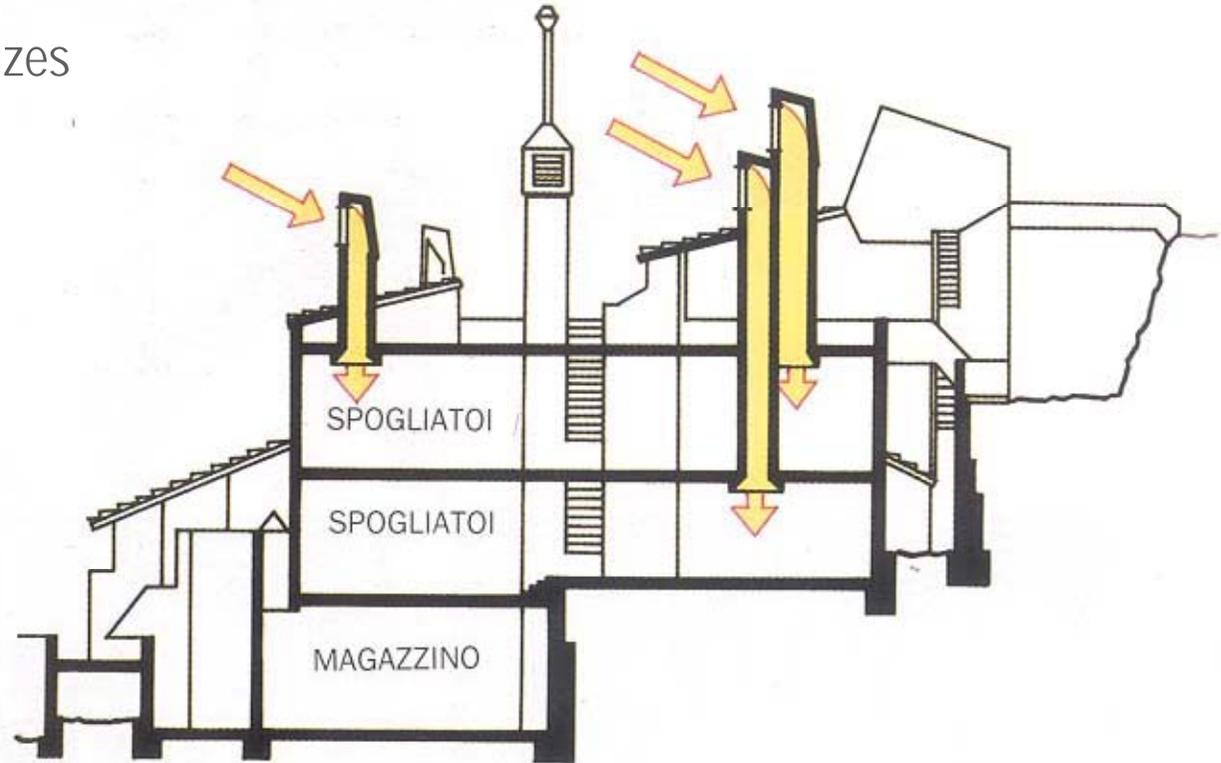
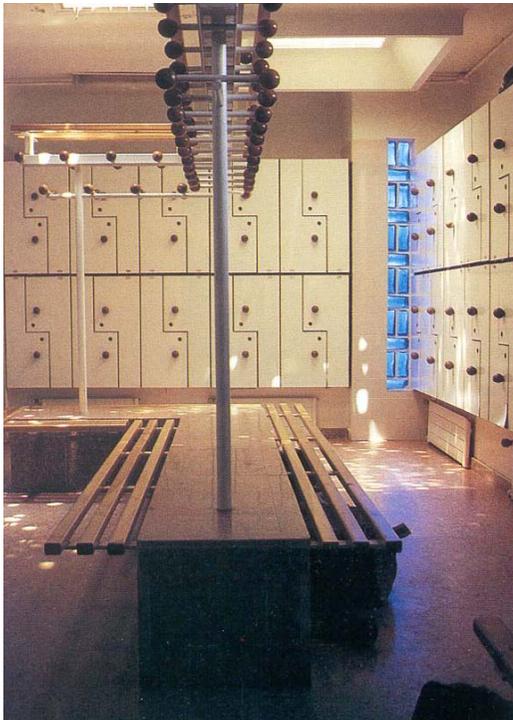


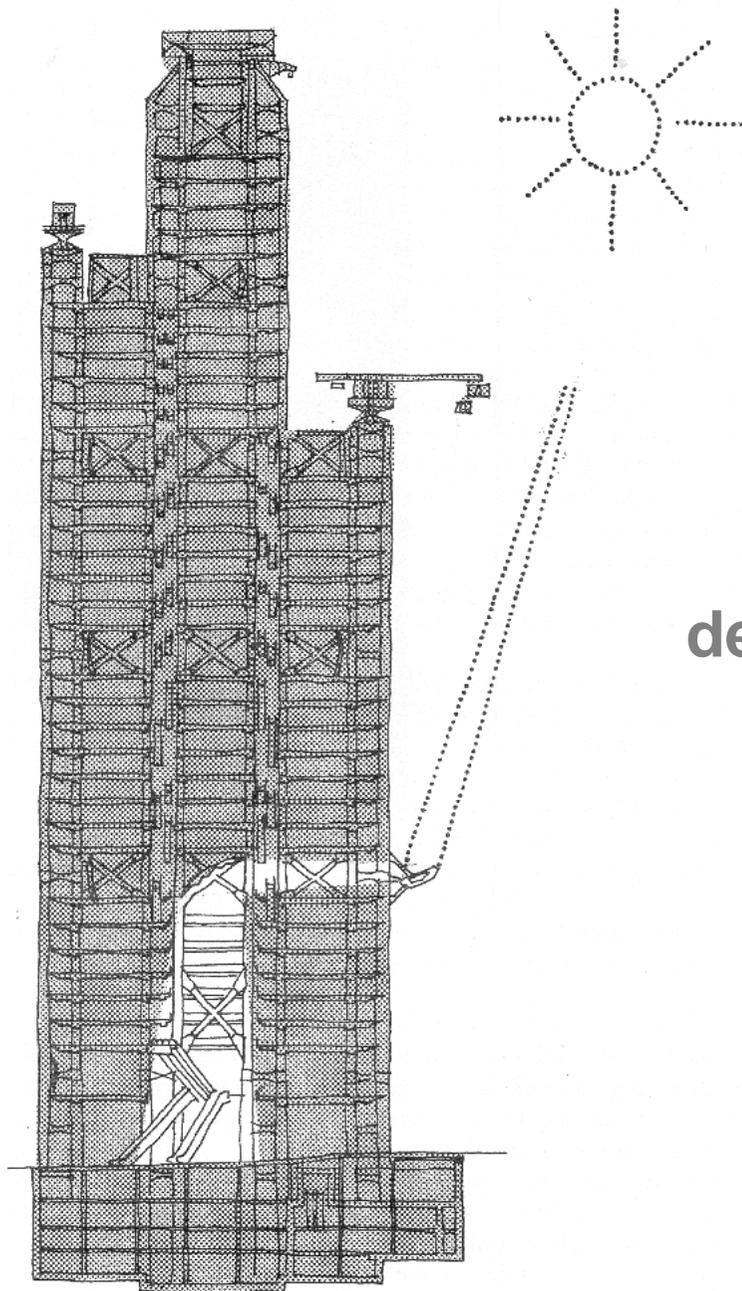
Illuminazione zenitale
Sistemi di schermatura



CAMINI DI LUCE

Club Desportes Hispano - Franzenes
arch. Rafael Serra
Barcelona

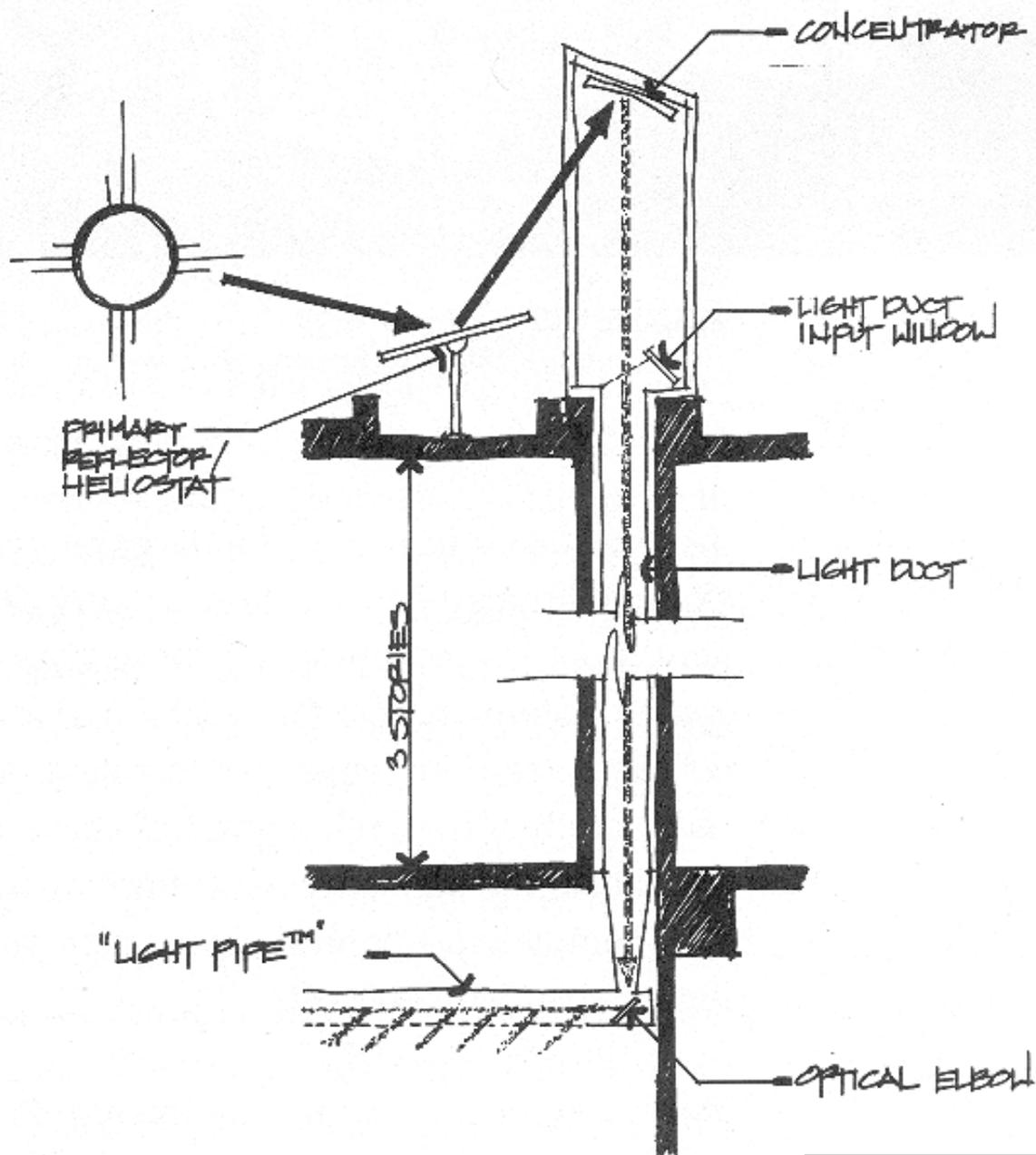




Sistema di convogliamento della luce naturale tramite specchi

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

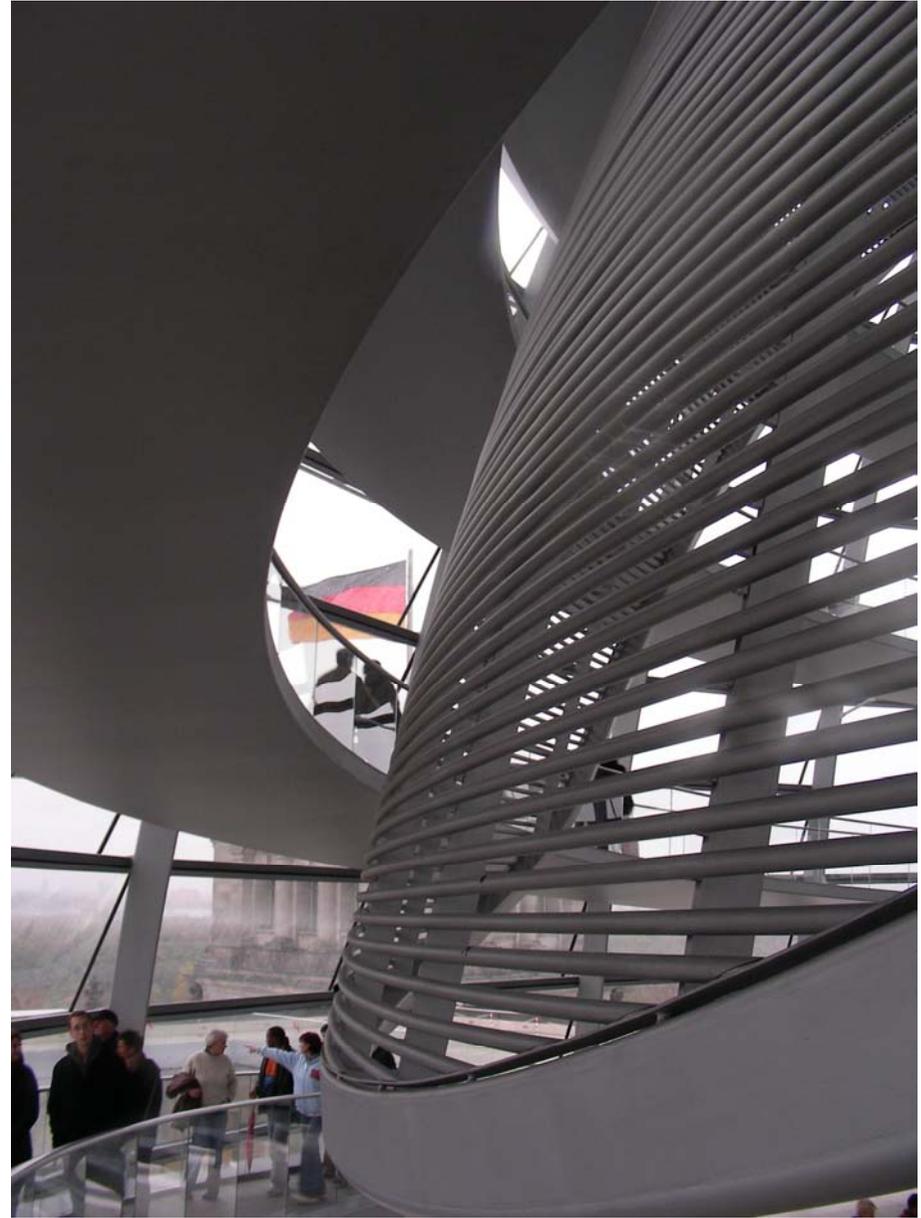


Daylighting
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting
prof. Marco Frascarolo



Laboratorio 3



Daylighting
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



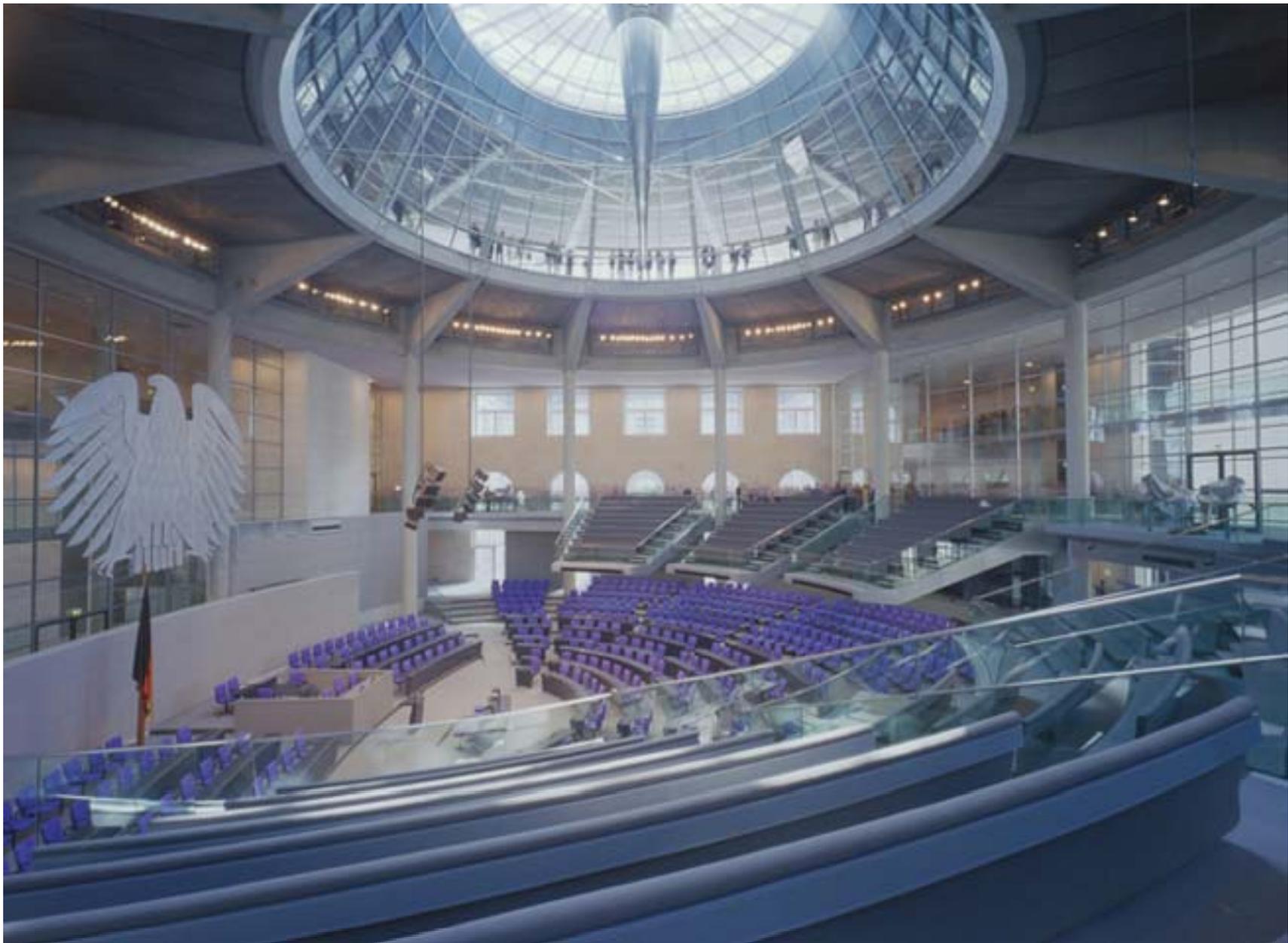
Daylighting
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting
prof. Marco Frascarolo

Laboratorio 3



Daylighting
prof. Marco Frascarolo

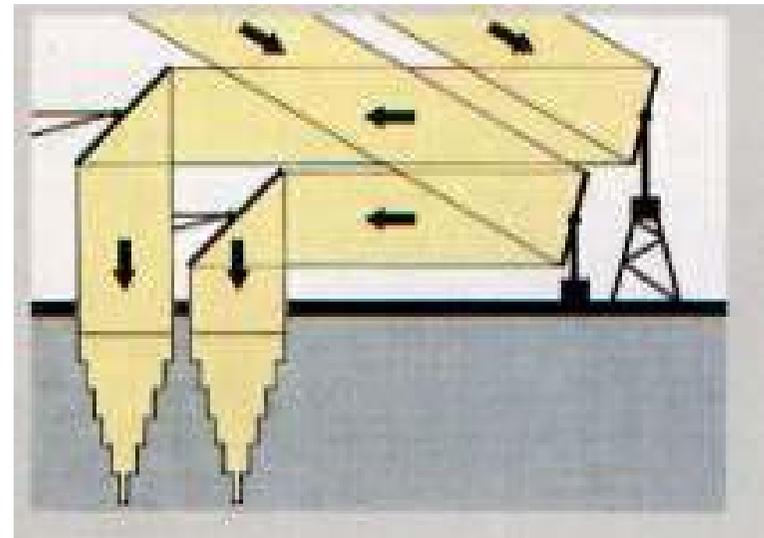
Laboratorio 3

Elementi per la diffusione della luce naturale





Elementi per la diffusione della luce naturale



Aeroporto di Manchester (arch. F. Wagner)