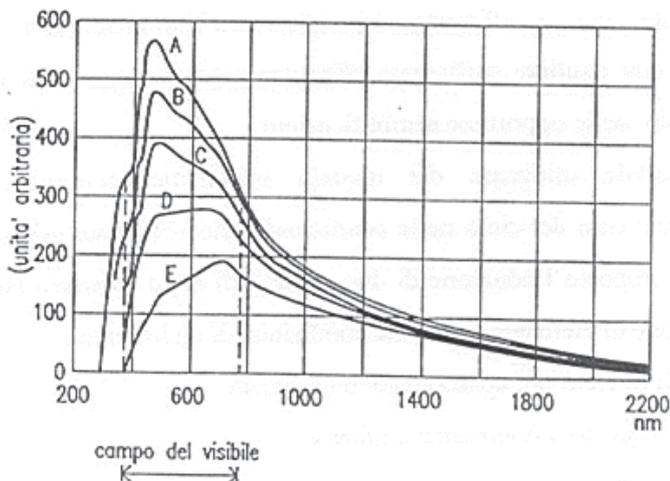


ILLUMINAZIONE NATURALE

LUCE NATURALE: IL SOLE



Spettro di emissione del sole a diverse quote e per diverse posizioni del sole sull'orizzonte.

Tabella 1.3. Variazioni di θ nel corso dell'anno astronomico

| Data | Radiazione solare [W/m ²] | Data | Radiazione solare [W/m ²] |
|------------|---------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 1 Gennaio | 1399 | 1 Luglio | 1309 |
| 4 Gennaio | 1399 | 3 Luglio | 1309 |
| 1 Febbraio | 1393 | 1 Agosto | 1313 |
| 1 Marzo | 1378 | 1 Settembre | 1329 |
| 1 Aprile | 1355 | 1 Ottobre | 1350 |
| 4 Aprile | 1353 | 5 Ottobre | 1353 |
| 1 Maggio | 1332 | 1 Novembre | 1374 |
| 1 Giugno | 1316 | 1 Dicembre | 1392 |

Tabella 1.2. Emissione al suolo per diversi valori di m .

| $\lambda(\mu)$ | $\alpha(\lambda)$ [W/m ² μ] | | | | |
|----------------|---|---------|---------|---------|----------|
| | $m = 0$ | $m = 1$ | $m = 4$ | $m = 7$ | $m = 10$ |
| 0.35 | 1093 | 481 | 40.8 | 3.5 | 0.3 |
| 0.40 | 1429 | 850 | 179 | 37.6 | 7.9 |
| 0.45 | 2006 | 1388 | 460 | 153 | 50.6 |
| 0.50 | 1942 | 1451 | 606 | 253 | 106 |
| 0.55 | 1725 | 1337 | 622 | 289 | 135 |
| 0.60 | 1666 | 1320 | 656 | 326 | 162 |
| 0.65 | 1511 | 1257 | 724 | 417 | 240 |
| 0.70 | 1369 | 1175 | 744 | 471 | 298 |
| 0.75 | 1235 | 1077 | 713 | 473 | 313 |
| 0.80 | 1109 | 981 | 679 | 470 | 326 |
| 0.90 | 891 | 449 | 184 | 92.3 | 50.0 |

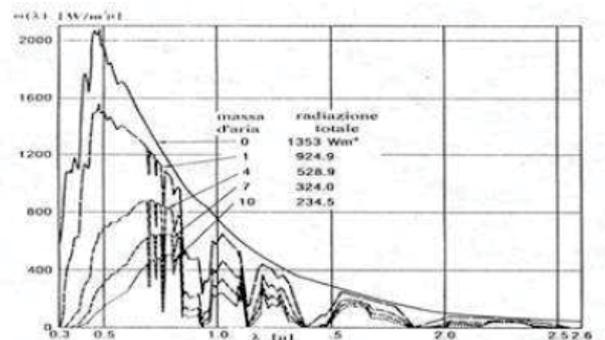
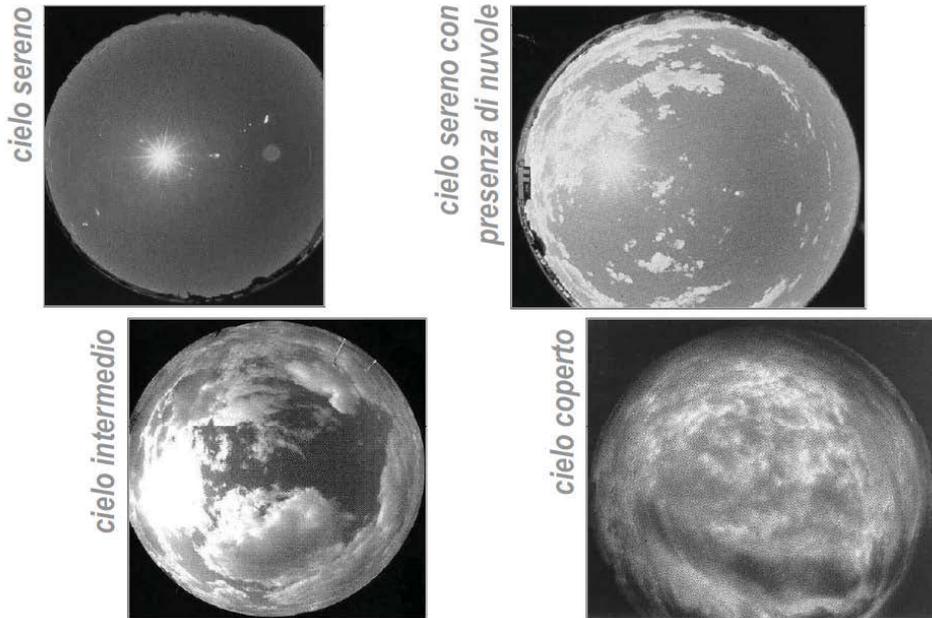


Figura 1.2. Distribuzione spettrale dell'energia raggiante solare sulla superficie terrestre, per diversi valori della massa d'aria

II CIELO COME SORGENTE DI LUCE



La luminanza del cielo è funzione delle condizioni meteorologiche e dell'altezza del sole sull'orizzonte.

MODELLI SEMPLICI PER IL CIELO

1) Cielo coperto a luminanza uniforme

Il cielo è una sorgente estesa e uniformemente diffondente (Lambert)

$$L=L_p=cost.$$

2) Cielo coperto CIE standard

La luminanza del punto P sulla volta celeste è funzione dell'angolo zenitale θ ed è massima allo zenit per $\theta=90^\circ$

$$L_p = L_z \frac{(1 + 2\text{sen}\theta)}{3}$$

con

$$L_z = 123 + 8600\text{sen}\gamma$$

luminanza del sole allo zenit è per $\gamma=90^\circ$

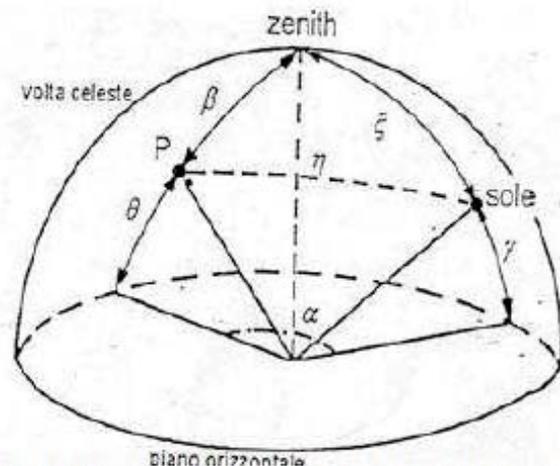
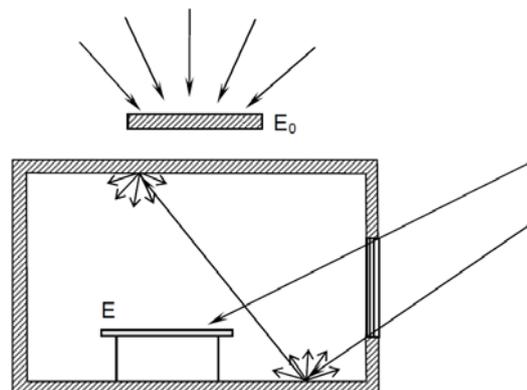


Figura 1.6. Volta celeste e angoli per definire la luminanza di un punto P.

DAYLIGHT FACTOR (Fattore di luce diurna)

E' il rapporto tra l'illuminamento che si ha in un punto di un ambiente per effetto di finestre etc.. ($E_{P,int}$) e l'illuminamento che nel medesimo istante si ha su una superficie piana e posta sulla copertura in modo da vedere tutta la volta celeste ma senza irraggiamento solare diretto ($E_{P,ext}$)



$$D(P) = \frac{E_{P,int}}{E_{P,ext}}$$

Il denominatore è facilmente calcolabile per un cielo a radianza costante:

$$E_{P,ext} = M_{cielo}$$

La stima del numeratore necessita di uno schema di calcolo apposito che tenga in considerazione sia la geometria che i materiali interni e che si può sviluppare secondo diverse procedure.

Valori indicativi: $D(P) = \frac{E_{P,int}}{E_{P,ext}} = \frac{200}{5000} \times 100 = 4\%$

VALORI DI RIFERIMENTO DEL FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA

| Destinazione d'uso | Valore minimo del fattore medio di luce diurna | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------------|--|------------------------|
| | $FLD_m \geq 1\%$ | $FLD_m \geq 2\%$ | $FLD_m \geq 3\%$ | $FLD_m \geq 5\%$ |
| edilizia residenziale [DM1975] | / | tutti i locali di abitazione | / | |
| edilizia scolastica [UNI2007] | uffici, spazi di distribuzione, scale, servizi igienici | palestre, refettori e aule comuni | ambienti ad uso didattico, laboratori | aule giochi, aule nido |
| edilizia ospedaliera [Circ1974] | uffici, spazi di distribuzione, scale, servizi igienici | palestre e riflettori | ambienti di degenza, diagnostica, laboratori | |

DM 1975

DM 5 luglio 1975, Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione

UNI 2007

Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Norma **UNI 10840/2007**, Locali scolastici – Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale

CIRC 1974

CM LLPP 22 novembre 1974 n° 13011, Requisiti fisico-tecnici per le costruzioni edilizie ospedaliere. Proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione

FATTORE di UNIFORMITA'

introdotto dalla norma UNI10380 del 1994

$$U = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{FLD_{\min}}{FLD_m}$$

dove:

U = fattore di uniformità di luce naturale all'interno dell'ambiente [-]

η_{\min} = fattore di luce diurna minimo all'interno dell'ambiente [-]

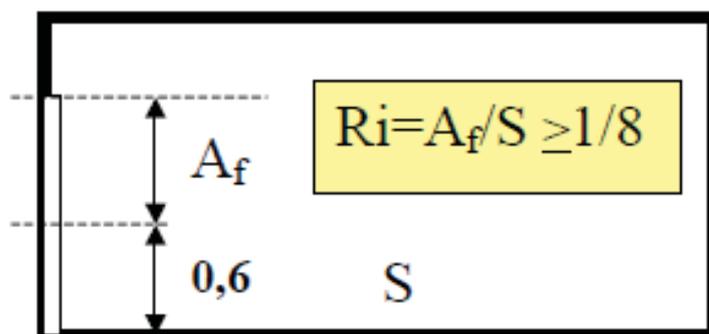
η_m = fattore di luce diurna medio all'interno dell'ambiente [-]

Linee guida e Calcolo del FLD

SOLUZIONE CONFORME

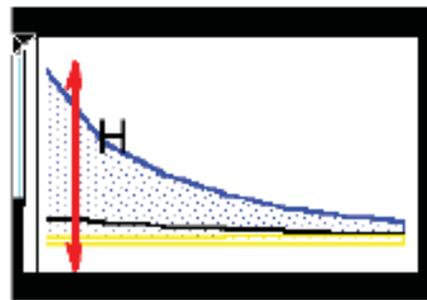
Il requisito è convenzionalmente soddisfatto se sono rispettate le seguenti condizioni:

- rapporto di illuminazione $R_i \geq 1/8$ (R_i = rapporto fra superficie dell'apertura A_f al netto di velette, elementi architettonici verticali del medesimo organismo edilizio che riducano l'effettiva superficie illuminante (es. pilastri, colonne, velette esterne, ecc.) e la superficie del pavimento;



- superfici vetrate con coefficienti di trasparenza $t > 0,7$ (vedi anche Tabella I);

- profondità dello spazio (ambiente), misurata perpendicolarmente al piano della parete finestrata, minore od uguale a 2,5 volte l'altezza dal pavimento all'architrave dell'apertura illuminante;

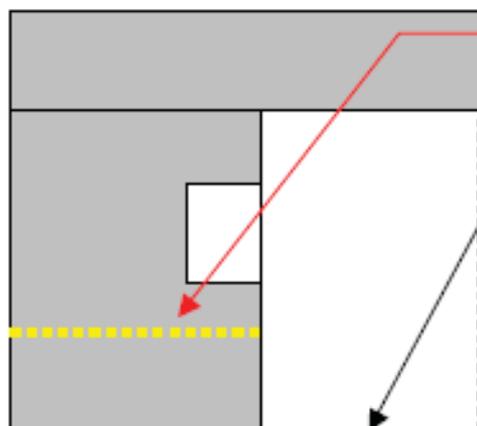


$$D \leq 2,5 H$$

D



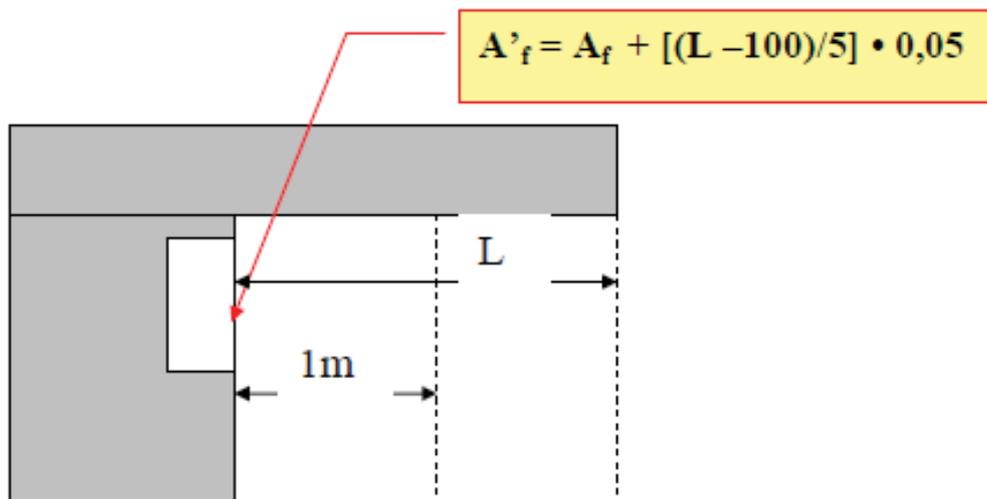
- per finestre che si affacciano sotto porticati, il rapporto di illuminazione R_i va calcolato con riferimento alla superficie del pavimento S dello spazio interessato, aumentata della quota di superficie S' del porticato prospiciente l'ambiente stesso;



$$R_i = (S + S') / 8$$

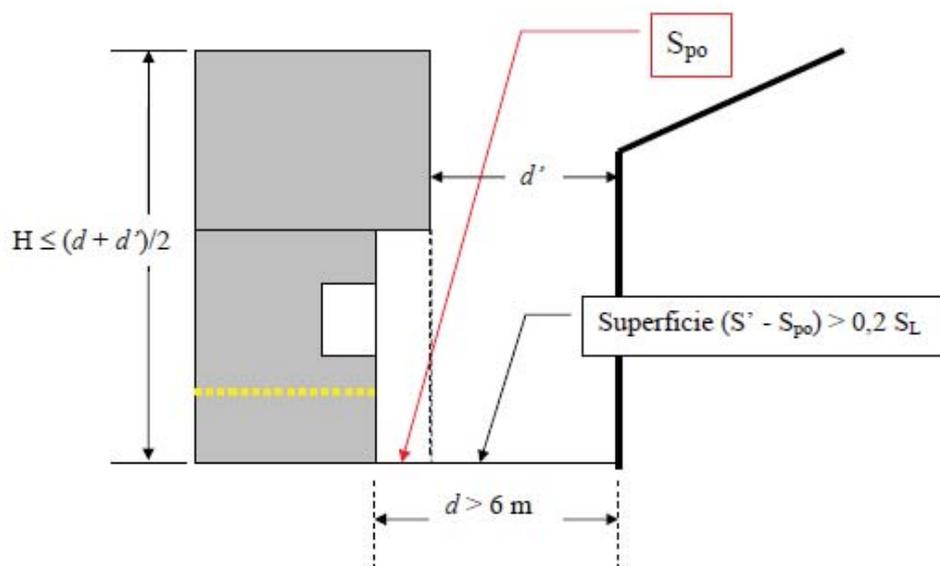
Superficie S'
prospiciente la finestra
sotto il porticato

- per finestre con superficie trasparente ostruita da balconi o aggetti di profondità superiore a 1m (A'_f), la dimensione della superficie illuminante A_f dovrà essere aumentata di 0,05 m² ogni 5 cm di ulteriore aggetto oltre 1 m.



Qualora le finestre si affaccino esclusivamente su cortili debbono essere rispettate le seguenti ulteriori condizioni:

- l'area S' dei cortili, detratta la proiezione orizzontale di ballatoi o altri aggetti S_{po} , deve risultare $>$ a 1/5 della somma delle superfici delle pareti S_L delimitanti il cortile;
- l'altezza massima H delle pareti che delimitano il cortile deve risultare inferiore od uguale a 1,5 volte la media delle distanze fra le pareti opposte;
- la distanza normale d minima da ciascuna finestra al muro opposto $>$ 6 m.



CALCOLO FATTORE DI LUCE MEDIO (UNI 10840:2007)

$$\Phi_e = E_f S_v t \psi$$

Flusso luminoso entrante
 E_f illuminamento esterno sulla vetrata
 S_v superficie vetrata
 t coefficiente di trasmissione delle finestre
 ψ fattore di riduzione della finestra

$$\Phi_e = E_m (1 - r_m) S_t$$

Flusso luminoso assorbito
 E_m illuminamento medio nel locale
 r_m coefficiente medio pesato di riflessione nel locale
 S_t superficie totale delle pareti interne

Quindi:

$$E_m = \frac{E_f S_v t}{(1 - r_m) S_t} \psi \qquad \varepsilon = \frac{E_f}{M_{cielo}} \quad \text{Fattore finestra}$$

Il fattore di luce medio vale perciò:

$$D_m = \frac{E_m}{E_{P,ext}} = \frac{t S_v}{S_t (1 - r_m)} \frac{E_f}{M_{cielo}} \psi = \frac{t S_v}{S_t (1 - r_m)} \psi \varepsilon$$

Tabella I. Valori indicativi dei coefficienti di trasmissione per incidenza normale nel visibile di alcuni sistemi trasparenti.

| Sistema trasparenti | τ_v |
|--|-----------|
| vetro float singolo chiaro 4-6 mm | 0,80-0,90 |
| vetro float singolo assorbente | 0,70-0,80 |
| vetro singolo retinato | 0,85 |
| vetro float singolo colorato in massa a seconda del colore | 0,30-0,60 |
| vetro float singolo riflettente | 0,35-0,60 |
| vetro float singolo bassoemissivo | 0,50-0,75 |
| doppio vetro 6-12-6 – lastre float chiare | 0,65-0,75 |
| doppio vetro 6-12-6 – lastre float chiare con ricoprimento bassoemissivo | 0,60 |
| policarbonato chiaro | 0,80-0,90 |
| lastre traslucide in materiale plastico | 0,10-0,80 |

Tabella II. Valori indicativi dei coefficienti di riflessione, r , per differenti colori delle superfici.

| colore | r | colore | r |
|----------------|-------------|---------------|-------------|
| bianco | 0.90 ÷ 0.75 | blu scuro | 0.10 ÷ 0.05 |
| avorio | 0.85 ÷ 0.80 | verde scuro | 0.10 ÷ 0.05 |
| crema | 0.80 ÷ 0.70 | marrone | 0.15 ÷ 0.05 |
| giallo chiaro | 0.70 ÷ 0.60 | rosso scuro | 0.10 ÷ 0.05 |
| rosa | 0.60 ÷ 0.45 | grigio chiaro | 0.40 ÷ 0.15 |
| arancio | 0.60 ÷ 0.40 | grigio scuro | 0.15 ÷ 0.05 |
| verde chiaro | 0.50 ÷ 0.40 | nero | 0.04 ÷ 0.01 |
| azzurro chiaro | 0.45 ÷ 0.40 | | |

$$r_m = \frac{\sum_i S_i r_i}{\sum_i S_i}$$

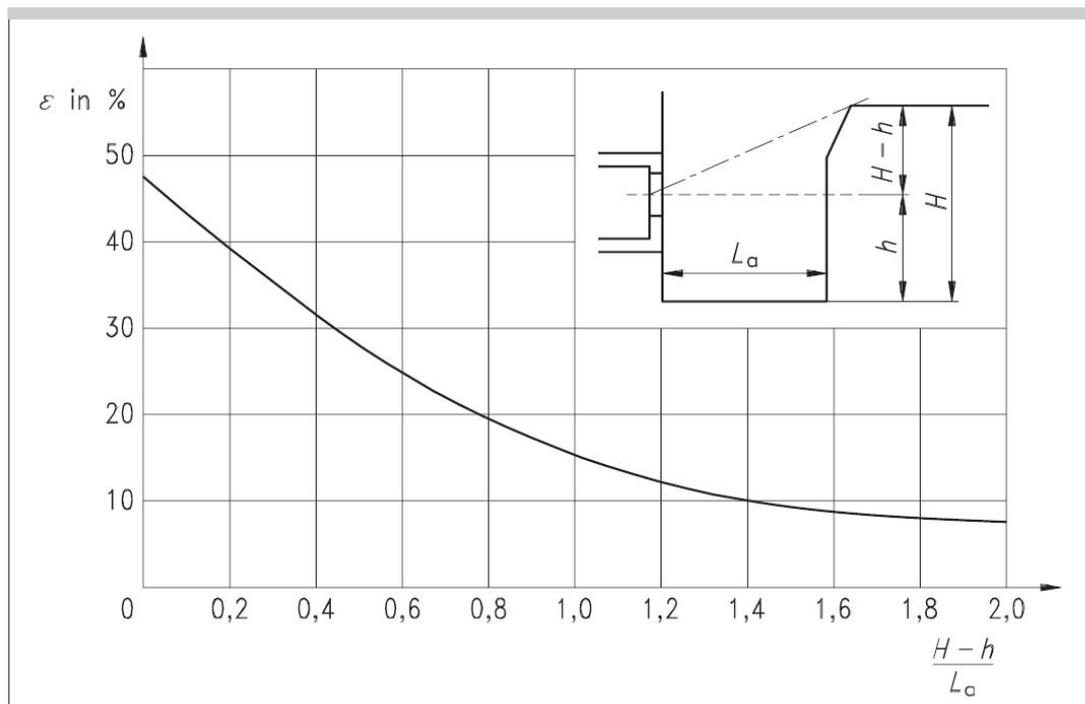
Determinazione del fattore finestra ε

Legenda

h Altezza della finestra dal piano stradale

H Altezza del fabbricato contrapposto

L_a Larghezza della strada



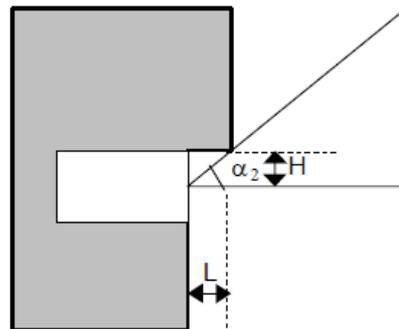
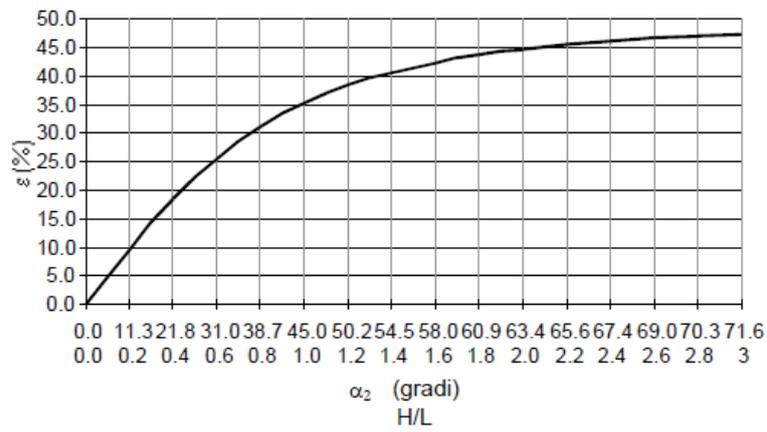


Figura 2 Valore del fattore finestra ε per ostruzioni superiori

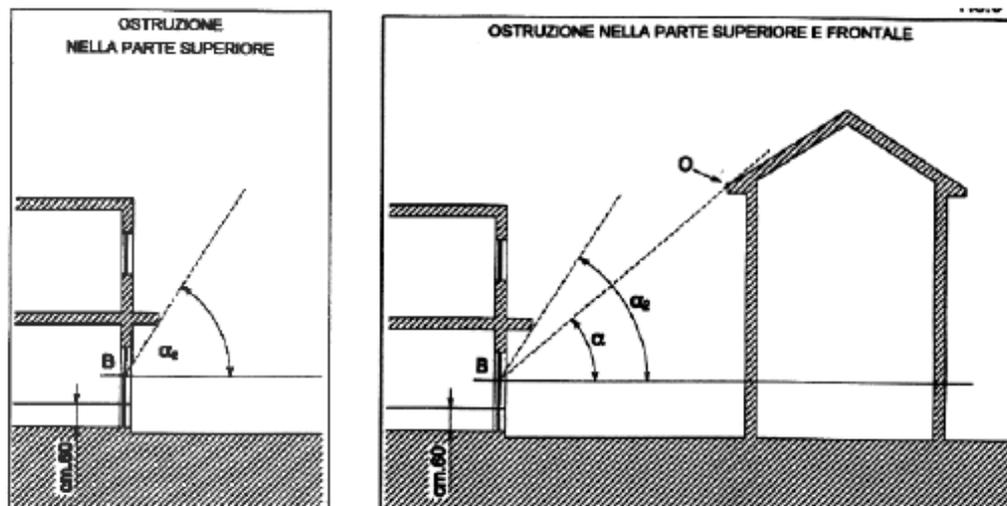


Figura 3 Parametri geometrici per ostruzione frontale e superiore

Con ostruzione frontale e superiore

$$\varepsilon = \frac{\text{sen } \alpha_2 - \text{sen } \alpha}{2}$$

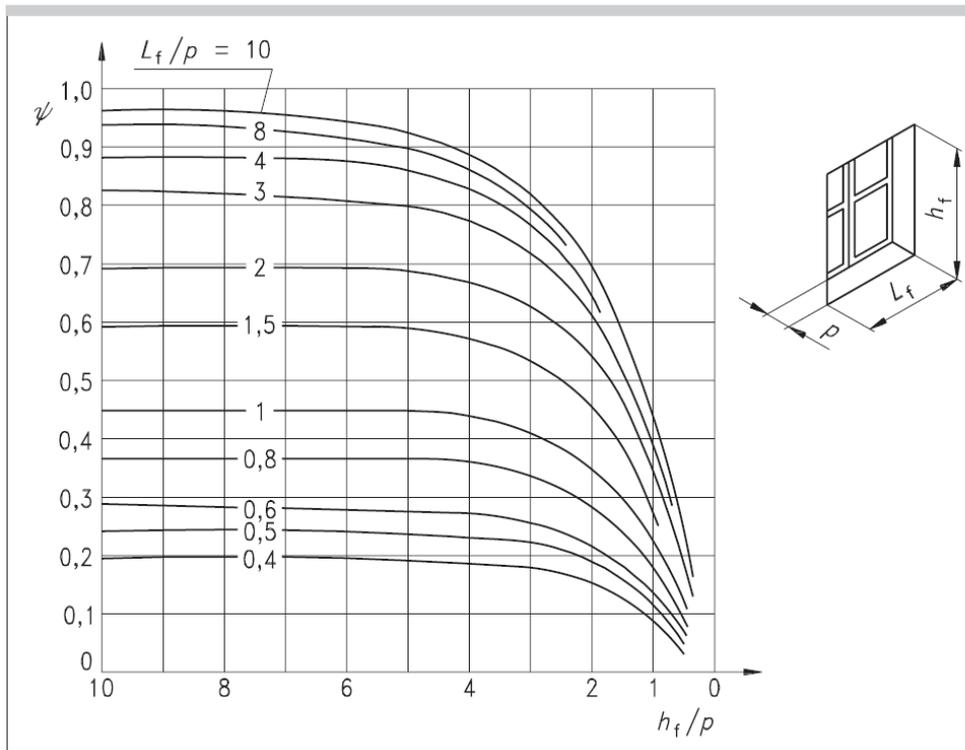
Determinazione del fattore di riduzione ψ

Legenda

L_f Larghezza della finestra

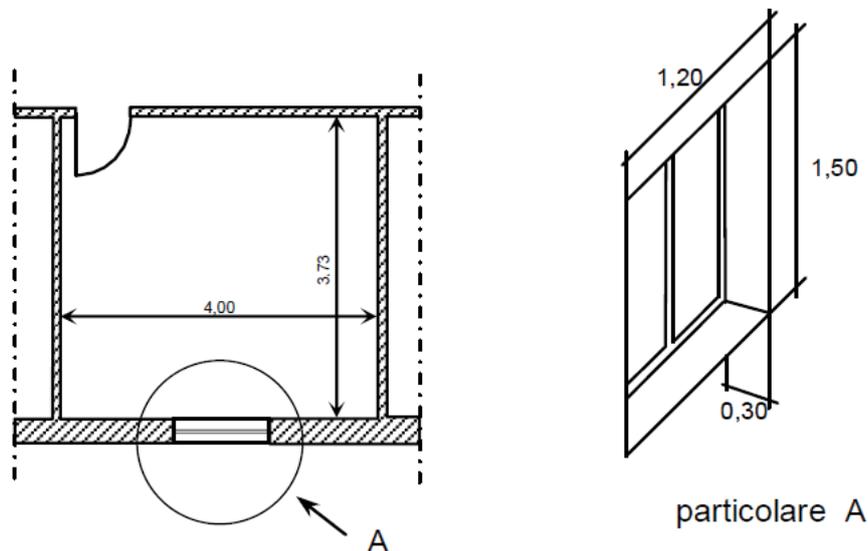
h_f Altezza della finestra

ρ Distanza tra finestra ed il bordo esterno della parete

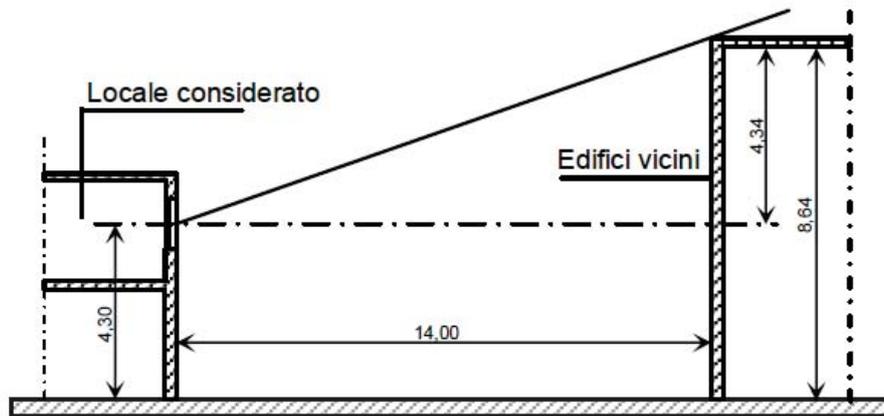


Esempio di calcolo del fattore di luce diurna

Si calcoli il fattore di luce diurna all'interno di una stanza di forma rettangolare di dimensioni in pianta 4,00 m x 3,73 m e altezza 2,70 m. Il locale è dotato di una sola finestra di superficie 1,8 m² e provvista di doppio vetro il cui coefficiente di trasparenza t_1 è uguale a 0,85. Le caratteristiche geometriche della finestra sono riportate sotto. Le pareti sono finite con intonaco comune, $r_m = 0,7$.



Presenza di edifici schermanti



Calcolo del fattore finestra

$$\frac{H - h}{L_a} = \frac{8,64 - 4,30}{14} = 0,31 \quad \longrightarrow \quad \varepsilon = 36\%$$

Calcolo del fattore di riduzione

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h_f}{P} = \frac{1,5}{0,3} = 5 \\ \frac{l_f}{P} = \frac{1,2}{0,3} = 4 \end{array} \right\} \quad \longrightarrow \quad \psi = 36\%$$

$$D_m = \frac{tS_v}{S_t(1 - r_m)} \psi \varepsilon = \frac{(0,85 \cdot 1,8 \cdot 0,36 \cdot 0,86)}{70,15 \cdot (1 - 0,7)} = 0,022 \Rightarrow 2,2\%$$

METODO BRS

Scomposizione della *daylight factor* in tre componenti:

1) Componente cielo (D_s)

È la quantità di luce che in percentuale arriva direttamente al punto considerato

2) Componente di riflessione esterna (D_e)

È la quantità di luce in percentuale che arriva al punto considerato dopo aver subito riflessioni causate da superfici e oggetti esterni al locale in questione

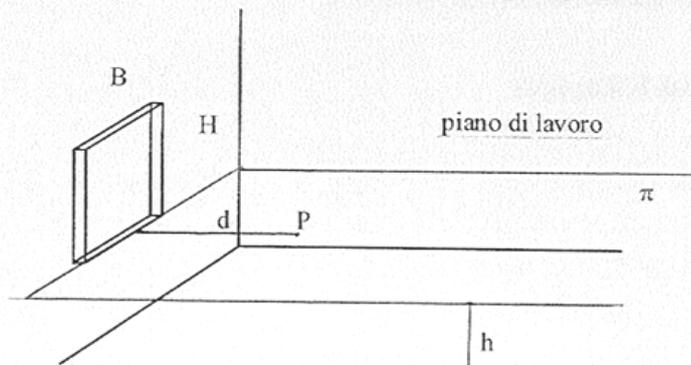
3) Componente di riflessione interna (D_i)

È la quantità di luce in percentuale che arriva al punto considerato dopo aver subito riflessioni causate da superfici e oggetti interni al locale

$$D(P) = D_s + D_e + D_i$$

CALCOLO DELLA COMPONENTE CIELO

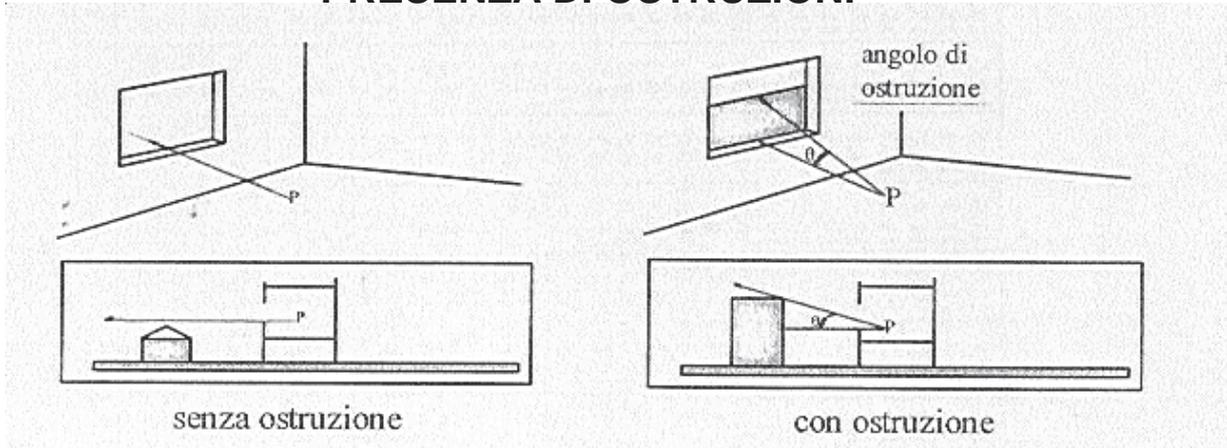
- 1) Definizione del piano di lavoro e del punto di calcolo P
- 2) Definizione della geometria della o delle finestre quanto a larghezza e altezza
- 3) Calcolo dei rapporti B/d e H/d
- 4) Utilizzo di idonea tabella per assegnate condizioni di cielo
- 5) Si ottiene D_s



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | ... | 1,3 | 2,5 | 3,7 | 4,9 | 5,9 | 6,9 | 7,7 | 8,4 | 9,0 | 9,6 | 10,7 | 11,6 | 12,2 | 12,6 | 13,0 | 13,7 | 14,2 | 14,6 | 14,9 | 15,0 | 90° |
| | 5,0 | 1,2 | 2,4 | 3,7 | 4,8 | 5,9 | 6,8 | 7,6 | 8,3 | 8,8 | 9,4 | 10,5 | 11,1 | 11,7 | 12,3 | 12,7 | 13,3 | 13,7 | 14,0 | 14,1 | 14,2 | 79° |
| | 4,0 | 1,2 | 2,4 | 3,6 | 4,7 | 5,8 | 6,7 | 7,4 | 8,2 | 8,7 | 9,2 | 10,3 | 10,9 | 11,4 | 12,0 | 12,4 | 12,9 | 13,3 | 13,5 | 13,6 | 13,7 | 76° |
| | 3,5 | 1,2 | 2,4 | 3,6 | 4,6 | 5,7 | 6,6 | 7,3 | 8,0 | 8,5 | 9,0 | 10,1 | 10,6 | 11,1 | 11,8 | 12,2 | 12,6 | 12,9 | 13,2 | 13,2 | 13,3 | 74° |
| | 3,0 | 1,2 | 2,3 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 6,4 | 7,1 | 7,8 | 8,2 | 8,7 | 9,6 | 10,2 | 10,7 | 11,3 | 11,7 | 12,0 | 12,4 | 12,5 | 12,6 | 12,7 | 72° |
| | 2,3 | 1,1 | 2,3 | 3,4 | 4,5 | 5,4 | 6,3 | 7,0 | 7,6 | 8,1 | 8,6 | 9,8 | 10,0 | 10,5 | 11,1 | 11,4 | 11,7 | 12,0 | 12,2 | 12,3 | 12,3 | 70° |
| | 2,6 | 1,1 | 2,2 | 3,4 | 4,4 | 5,3 | 6,2 | 6,8 | 7,5 | 7,9 | 8,4 | 9,3 | 9,8 | 10,2 | 10,8 | 11,1 | 11,4 | 11,7 | 11,8 | 11,9 | 11,9 | 69° |
| | 2,4 | 1,1 | 2,2 | 3,3 | 4,3 | 5,2 | 6,0 | 6,6 | 7,3 | 7,7 | 8,1 | 9,1 | 9,5 | 10,0 | 10,4 | 10,7 | 11,0 | 11,2 | 11,3 | 11,4 | 11,5 | 67° |
| | 2,2 | 1,1 | 2,1 | 3,2 | 4,1 | 5,0 | 5,8 | 6,4 | 7,0 | 7,4 | 7,9 | 8,7 | 9,1 | 9,6 | 10,0 | 10,2 | 10,5 | 10,7 | 10,8 | 10,9 | 10,9 | 66° |
| | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 3,1 | 4,0 | 4,8 | 5,6 | 6,2 | 6,7 | 7,1 | 7,5 | 8,3 | 8,7 | 9,1 | 9,5 | 9,7 | 9,9 | 10,0 | 10,1 | 10,2 | 10,3 | 63° |
| | 1,9 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 3,9 | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,5 | 6,9 | 7,3 | 8,1 | 8,5 | 8,8 | 9,2 | 9,4 | 9,6 | 9,7 | 9,8 | 9,9 | 9,9 | 62° |
| | 1,8 | 0,97 | 1,9 | 2,9 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 5,8 | 6,3 | 6,7 | 7,1 | 7,8 | 8,2 | 8,5 | 8,8 | 9,0 | 9,2 | 9,3 | 9,4 | 9,5 | 9,5 | 61° |
| | 1,7 | 0,94 | 1,9 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 5,1 | 5,6 | 6,1 | 6,5 | 6,8 | 7,5 | 7,8 | 8,2 | 8,5 | 8,6 | 8,8 | 8,9 | 9,0 | 9,1 | 9,1 | 60° |
| | 1,6 | 0,90 | 1,8 | 2,7 | 3,5 | 4,2 | 4,9 | 5,4 | 5,8 | 6,2 | 6,5 | 7,2 | 7,5 | 7,8 | 8,1 | 8,2 | 8,4 | 8,5 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 58° |
| | 1,5 | 0,86 | 1,7 | 2,6 | 3,3 | 4,0 | 4,6 | 5,1 | 5,6 | 5,9 | 6,2 | 6,8 | 7,1 | 7,4 | 7,6 | 7,8 | 7,9 | 8,0 | 8,0 | 8,1 | 8,1 | 56° |
| | 1,4 | 0,82 | 1,6 | 2,4 | 3,2 | 3,8 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,6 | 5,9 | 6,4 | 6,7 | 7,0 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 7,5 | 7,6 | 7,6 | 54° |
| | 1,3 | 0,77 | 1,5 | 2,3 | 2,9 | 3,6 | 4,1 | 4,5 | 4,9 | 5,2 | 5,5 | 5,9 | 6,2 | 6,4 | 6,6 | 6,7 | 6,8 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 52° |
| | 1,2 | 0,71 | 1,4 | 2,1 | 2,7 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,5 | 4,8 | 5,0 | 5,4 | 5,7 | 5,9 | 6,0 | 6,1 | 6,2 | 6,2 | 6,3 | 6,3 | 6,3 | 50° |
| | 1,1 | 0,65 | 1,3 | 1,9 | 2,5 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,6 | 4,9 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,6 | 5,7 | 5,7 | 48° |
| | 1,0 | 0,57 | 1,1 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,8 | 4,0 | 4,3 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 45° |
| | 0,9 | 0,50 | 0,99 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,1 | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 42° |
| | 0,8 | 0,42 | 0,83 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 39° |
| | 0,7 | 0,33 | 0,68 | 0,97 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 35° |
| | 0,6 | 0,24 | 0,53 | 0,74 | 0,98 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 31° |
| | 0,5 | 0,16 | 0,39 | 0,52 | 0,70 | 0,82 | 0,97 | 1,0 | 1,10 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 27° |
| | 0,4 | 0,10 | 0,25 | 0,34 | 0,45 | 0,54 | 0,62 | 0,70 | 0,75 | 0,82 | 0,89 | 0,92 | 0,95 | 0,95 | 0,96 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,98 | 0,98 | 22° |
| | 0,3 | 0,06 | 0,14 | 0,18 | 0,26 | 0,30 | 0,34 | 0,38 | 0,42 | 0,44 | 0,47 | 0,49 | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,51 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,53 | 0,53 | 17° |
| | 0,2 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,24 | 11° |
| | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 6° |
| | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | 6,0 | ... | 0° |

Tabella per un cielo coperto CIE standard

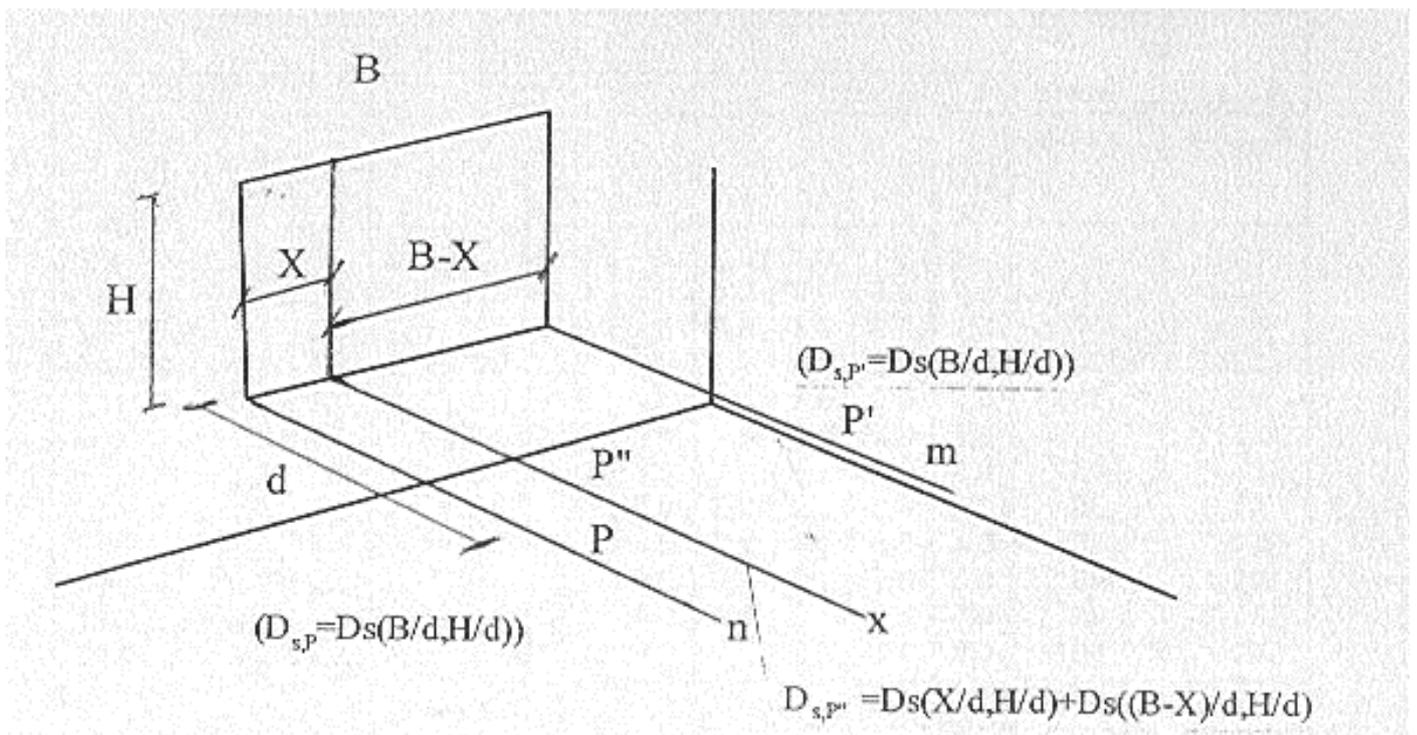
PRESENZA DI OSTRUZIONI



- 1) Calcolo dell'angolo di ostruzione
- 2) Dalla tabella si ricava il fattore di configurazione dell'ostruzione entrando con B/d e con θ
- 3) Si sottrae tale fattore al valore della componente cielo non ostruita

$$\begin{cases} D_s = D_s\left(\frac{B}{d}, \frac{H}{d}\right) \\ D_s = D_s\left(\frac{B}{d}, \frac{H}{d}\right) - D_s\left(\frac{B}{d}, \theta\right) \end{cases}$$

ESEMPIO DI COMPOSIZIONE DEGLI EFFETTI



CALCOLO DELLA COMPONENTE RIFLESSIONE ESTERNA

Si utilizza il risultato calcolato per l'ostruzione con opportuni fattori moltiplicativi:

$$D_e = \begin{cases} 0.1D_s \left(\frac{B}{d}, \vartheta \right) & \text{cielo a luminanza uniforme} \\ 0.2D_s \left(\frac{B}{d}, \vartheta \right) & \text{cielo coperto CIE} \end{cases}$$

CALCOLO DELLA COMPONENTE RIFLESSIONE INTERNA

- 1) Si determina il rapporto tra la superficie vetrata e l'area del pavimento
- 2) Si fissano i coefficienti di riflessione di pareti e pavimento
- 3) Si ottiene D_i al centro della stanza dalla tabella sotto

| $\frac{A_{\text{vetro}}}{A_{\text{pavim.}}}$ | % vetro pavim. | r% pavimento | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|
| | | 10 | | | | 20 | | | | 40 | | | |
| | | r% pareti | | | | | | | | | | | |
| | | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 1:50 | 2 | — | — | 0,1 | 0,2 | — | 0,1 | 0,1 | 0,2 | — | 0,1 | 0,2 | 0,2 |
| 1:20 | 5 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| 1:14 | 7 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,8 |
| 1:10 | 10 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 |
| 1:6,7 | 15 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,3 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 1,7 |
| 1:5 | 20 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,4 | 0,3 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 0,5 | 0,9 | 1,5 | 2,3 |
| 1:4 | 25 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,7 | 0,4 | 0,8 | 1,3 | 2,0 | 0,6 | 1,1 | 1,8 | 2,8 |
| 1:3,3 | 30 | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 2,0 | 0,5 | 0,9 | 1,5 | 2,4 | 0,8 | 1,3 | 2,1 | 3,3 |
| 1:2,9 | 35 | 0,4 | 0,8 | 1,4 | 2,3 | 0,5 | 1,0 | 1,8 | 2,8 | 0,9 | 1,5 | 2,4 | 3,8 |
| 1:2,5 | 40 | 0,5 | 0,9 | 1,6 | 2,6 | 0,6 | 1,2 | 2,0 | 3,1 | 1,0 | 1,7 | 2,7 | 4,2 |
| 1:2,2 | 45 | 0,5 | 1,0 | 1,8 | 2,9 | 0,7 | 1,3 | 2,2 | 3,4 | 1,2 | 1,9 | 3,0 | 4,6 |
| 1:2 | 50 | 0,6 | 1,1 | 1,9 | 3,1 | 0,8 | 1,4 | 2,3 | 3,7 | 1,3 | 2,1 | 3,2 | 4,9 |
| Fattore di correzione | | ×1,9 ×1,5 ×1,3 ×1,2 | | | | ×1,8 ×1,4 ×1,3 ×1,2 | | | | ×1,6 ×1,4 ×1,2 ×1,1 | | | |

Presenza di più finestre e loro disposizione: casi particolari.

IMPORTANZA del FLD_m :

1. valori limite di FLD_m vengono anche definiti normalmente nei regolamenti di igiene comunali, insieme al rapporto fra superficie vetrata apribile e superficie di pavimento
2. ai fini del contenimento dei consumi energetici, sono state recentemente adottate incentivazione all'incremento dei valori FLD_m :
 - Protocollo ITACA per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio, Roma, 15 gennaio 2004
 - LEED Italia 2009
 - Regolamenti Comunali

ULTERIORI PRESCRIZIONI

 **protocollo ITACA** per la valutazione energetica degli edifici, Roma, 15 gennaio 2004

ITACA = Istituto per la Trasparenza, l'Aggiornamento e la Certificazione degli Appalti - "Gruppo di lavoro interregionale in materia di bioedilizia"

REQUIREMENT 4.1.1 – DAYLIGHTING

 fattore medio di luce diurna

$$DF_m \geq 2\%$$

| | |
|-------------------|------------|
| $DF_m < 2\%$ | → -1 punti |
| $DF_m \geq 2\%$ | → 0 punti |
| $DF_m \geq 2.7\%$ | → 3 punti |
| $DF_m \geq 3.2\%$ | → 5 punti |

ULTERIORI PRESCRIZIONI

▶ REQUISITO 4.1.3 – UNIFORMITA' di LUCE NATURALE

↳ uniformità U

$$U = \frac{FLD_{\min}}{FLD_{\max}} \geq 0.2$$

| | |
|---------------|------------|
| 0 < U < 0.1 | → -2 punti |
| 0.1 < U < 0.2 | → -1 punti |
| 0.2 < U < 0.3 | → 0 punto |
| 0.3 < U < 0.4 | → 1 punti |
| 0.4 < U < 0.5 | → 2 punti |
| 0.5 < U < 0.6 | → 3 punti |
| 0.6 < U < 0.7 | → 4 punti |
| U > 0.7 | → 5 punti |

↳ La profondità dell'ambiente dovrebbe essere circa 2 volte l'altezza dell'architrave della finestra

PROTOCOLLO LEED Italia 2009 per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio

▶ REQUISITO 8.1 – ILLUMINAZIONE NATURALE

fattore medio di luce diurna

$FLD_m \geq 2\%$ in almeno il 75% dello spazio regolarmente occupato

Oppure:

garantire almeno 250 lux in cielo sereno alle ore 9 e 15 in un giorno di equinozio sul 75% dello spazio regolarmente occupato

▶ REQUISITO 8.2 – VISTA VERSO L'ESTERNO

Garantire una vista diretta verso l'esterno per il 90% degli spazi regolarmente occupati

PROTOCOLLO LEED Italia 2009 per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio

► REQUISITO 6.1 – CONTROLLABILITA' DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE

Prevedere un controllo dell'illuminazione manuale per almeno il 90% degli occupanti dell'edificio

E

Prevedere la possibilità di regolazione dell'illuminazione per tutti gli spazi condivisi nell'ottica di rispondere ai bisogni e alle preferenze degli utenti

► UTILITA' del FLD_m:

- parametro normato da leggi e protocolli di valutazione

► LIMITI INTRINSECI del FLD_m:

- non considera la **radiazione solare diretta**
- non considera la **latitudine** della località considerato
- non considera l'**orientamento** dell'ambiente
- non considera la condizione di cielo effettiva → valido soltanto per un'**unica condizione di Cielo Coperto CIE** → spesso non rappresentativo dei cieli coperti caratteristici di una località
 - valori FLD sottostimati rispetto a valori misurati in ambienti reali (oltre il 20%, in alcuni casi fino al 70%)
- indipendente dalla presenza di **sole diretto**
- non considera la **stagione**
- non considera la presenza di **schermature solari mobili**
- non consente un'analisi dinamica su scala annuale → parametro statico

Ricapitolando: i vantaggi della luce naturale

- gratuita
- abbondante (quando c'è)
- elevata efficienza luminosa
- ottima resa cromatica
- gradevole
- variabile nel tempo
- migliore per la salute
- migliora la produttività del lavoro

...e gli svantaggi

- intermittente
- imprevedibile
- limitata penetrazione negli edifici
- rischi di abbagliamento
- disuniformità dell'illuminamento
- non immagazzinabile
- per produrre risparmi di energia servono controlli sull'illuminazione artificiale

Impostazione del progetto della luce naturale

- Portare più luce a maggiore profondità dentro l'edificio, per aumentare il livello e l'uniformità dell'illuminazione.
- Prevenire o ridurre l'abbagliamento da finestre e lucernai non protetti.
- Prevenire eccessivi contrasti di luminanza, specie dovuti a radiazione solare diretta.
- Prevenire o ridurre le riflessioni velanti, specie dovute a luce zenitale (lucernai).
- Diffondere la luce per mezzo di riflessioni multiple da pareti e soffitto.
- Sfruttare al massimo le potenzialità estetiche ed espressive della luce naturale, diretta e diffusa.
- Ridurre il consumo di elettricità

Captazione della luce naturale: aperture e regolazione

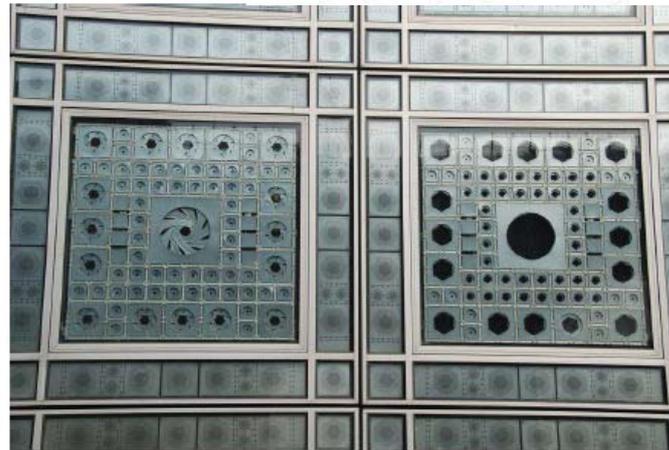
aperture laterali



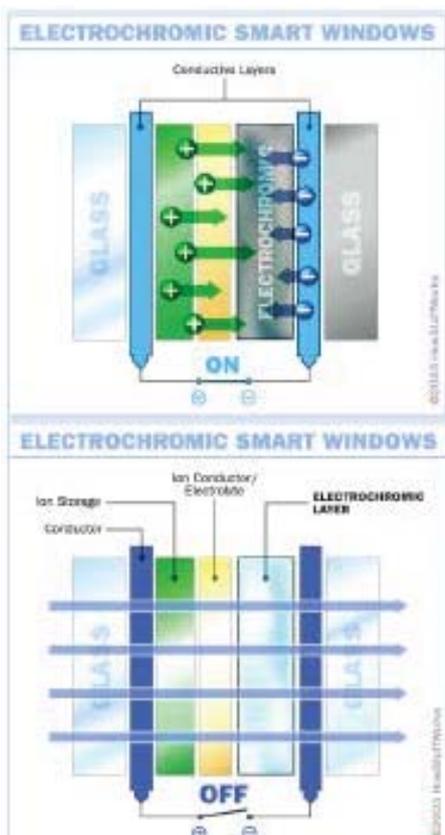
aperture zenitali



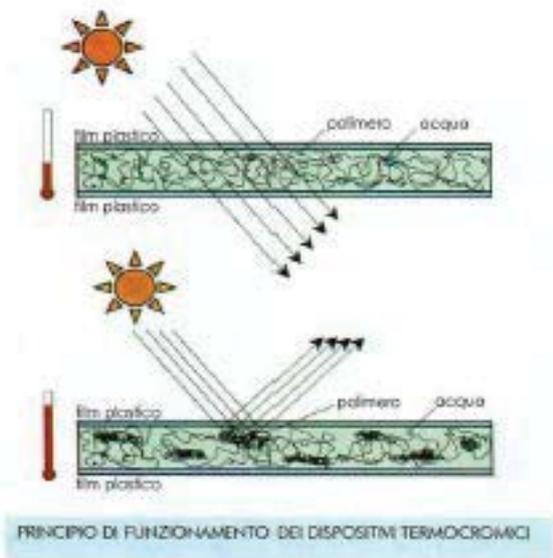
Sistemi di regolazione manuali o automatizzati per il controllo dell'abbagliamento visivo e anche dell'apporto termico



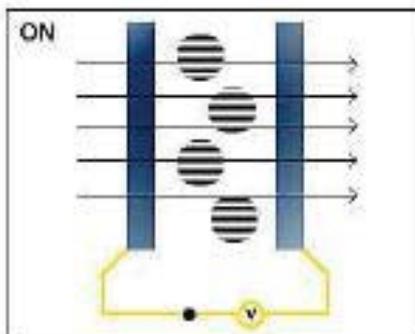
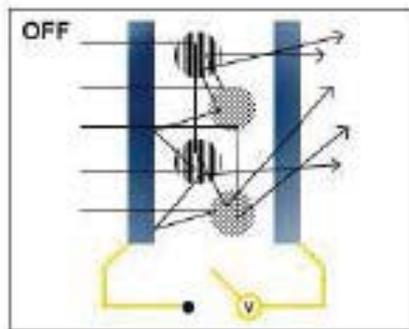
Materiali elettrocromici: smart windows



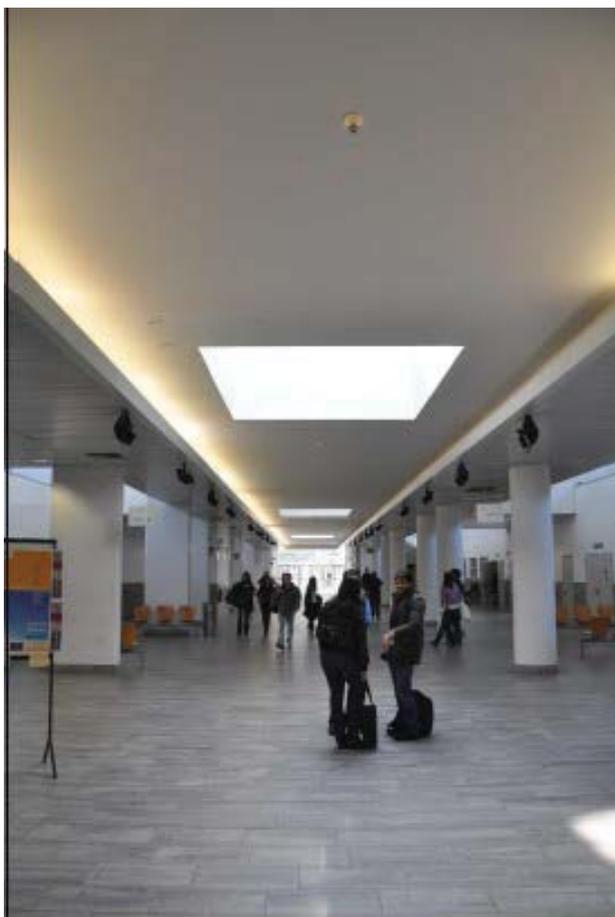
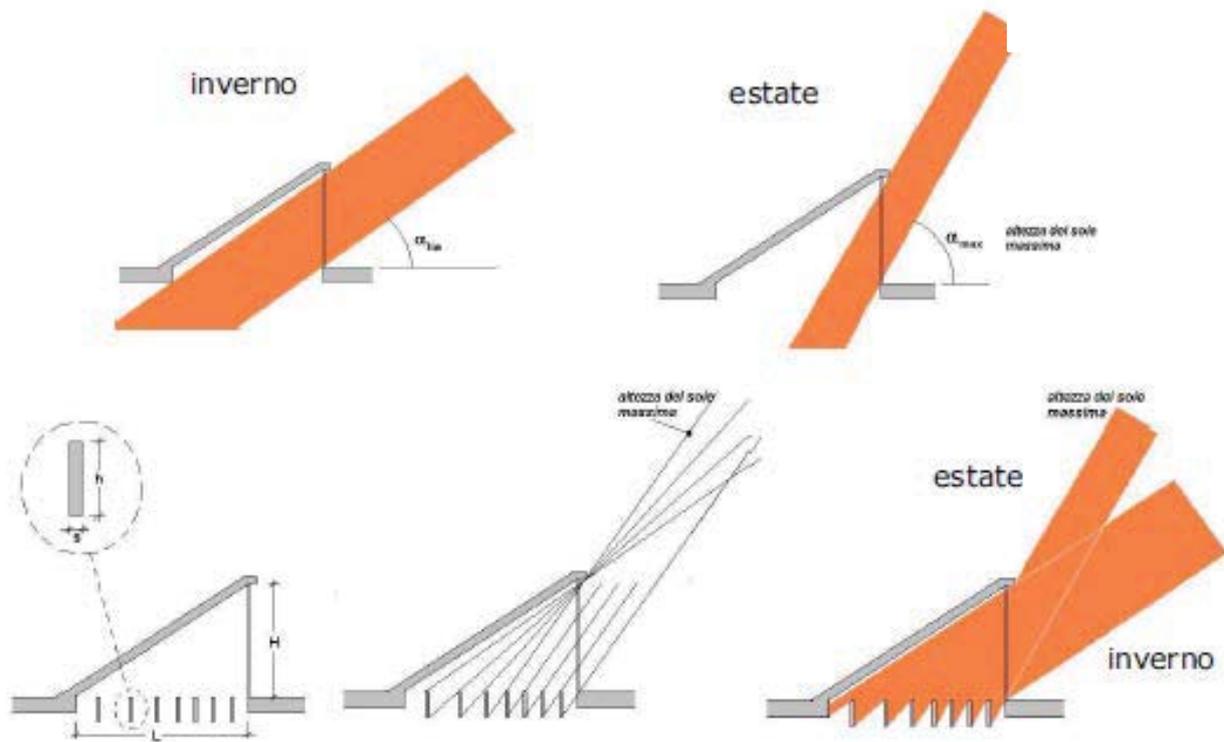
Materiali termocromici



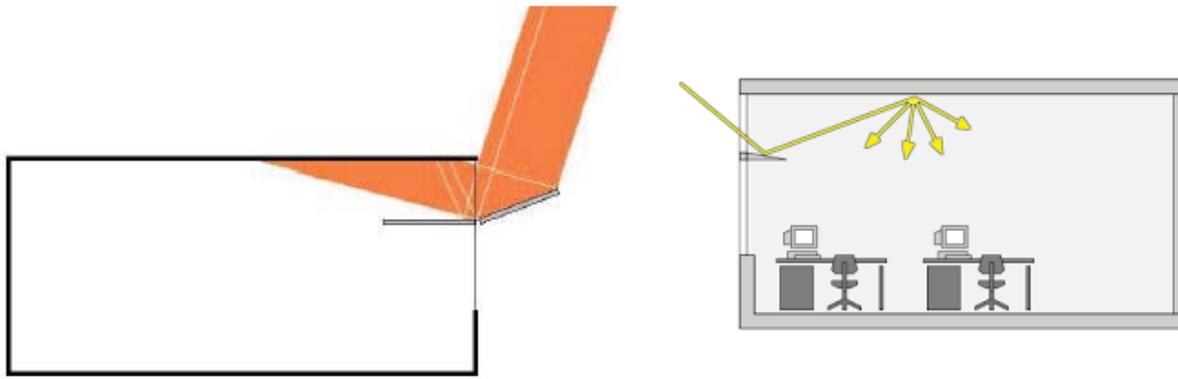
Cristalli liquidi



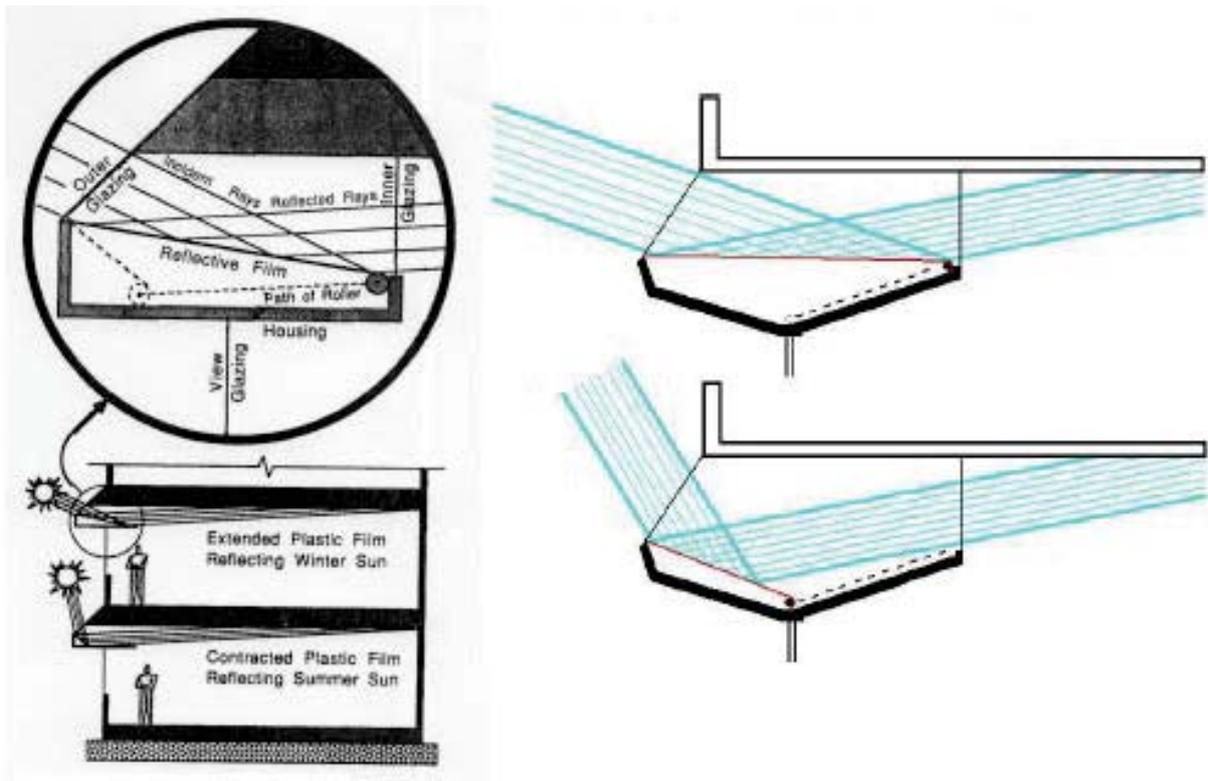
Controllo passivo della luce zenitale in ingresso



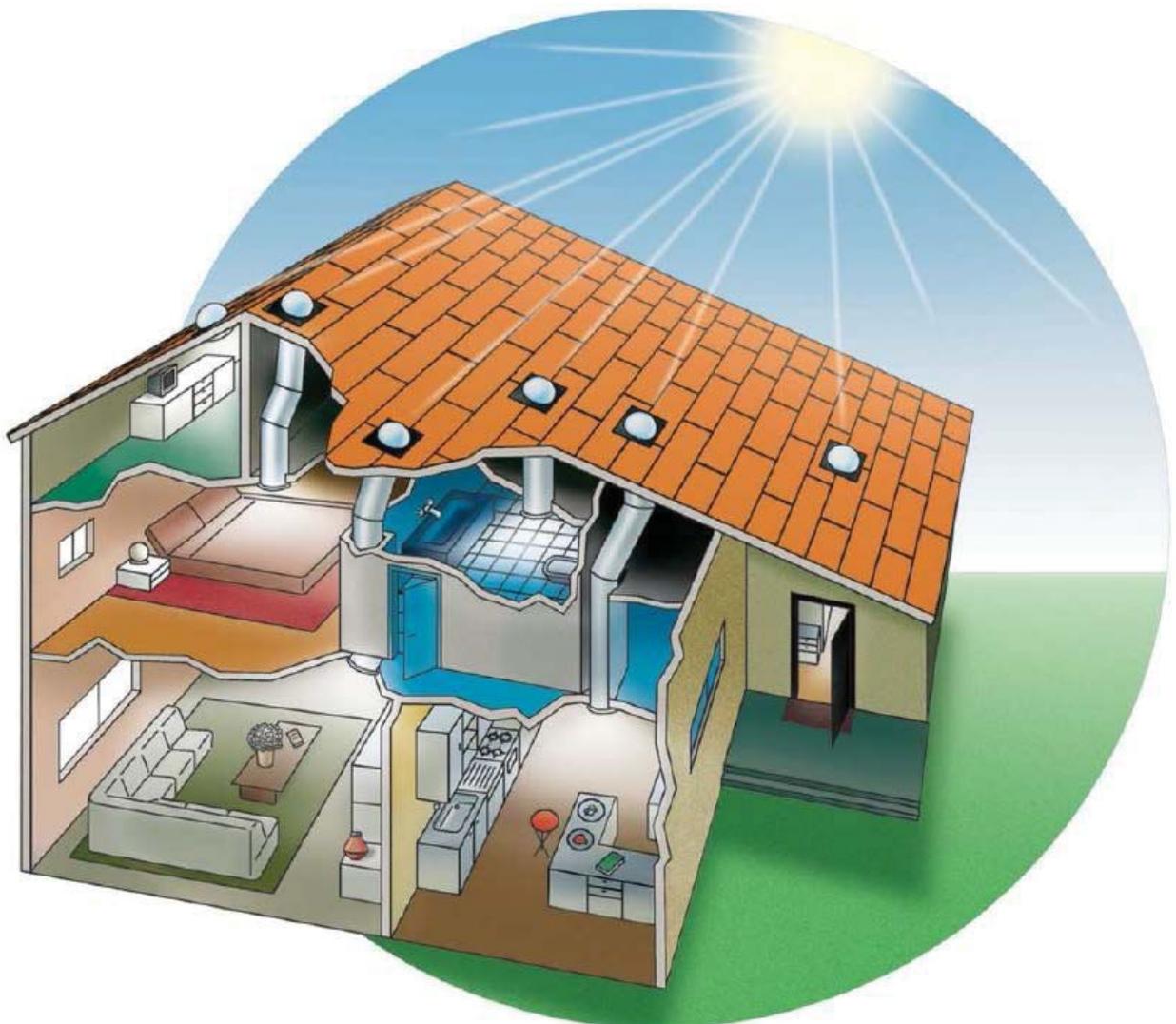
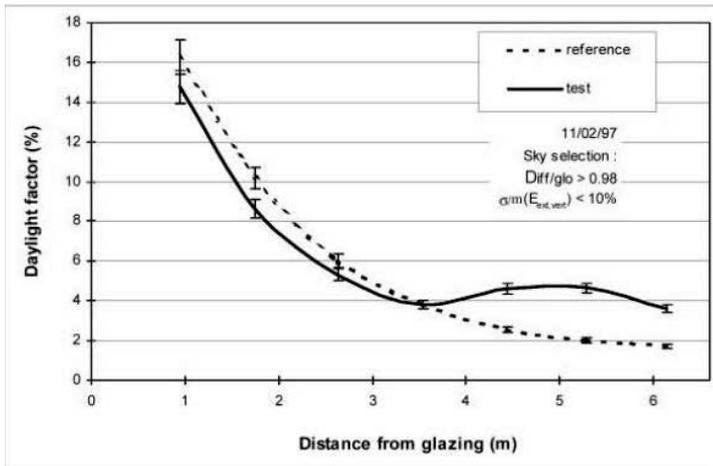
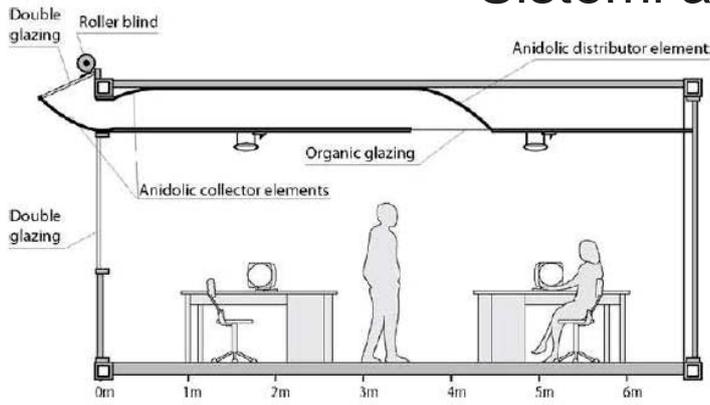
Lightshelf

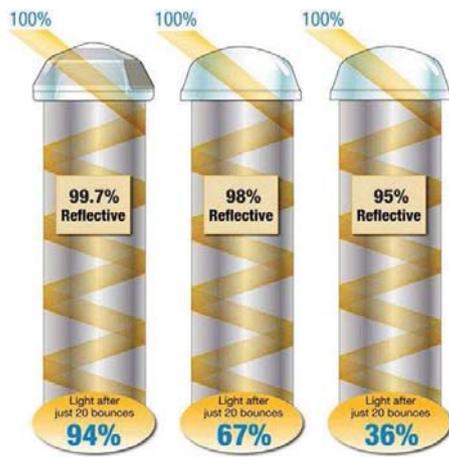


Lightshelf (Variable Area Light Reflecting Assembly)



Sistemi anidolici





Il rapporto tra la luce naturale e quella artificiale



INTEGRAZIONE DELLA LUCE NATURALE-ARTIFICIALE

L'impianto di illuminazione artificiale può integrare il sistema di illuminazione naturale:

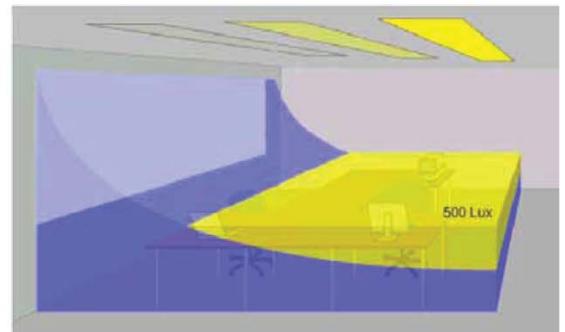
- in caso di luce naturale insufficiente (in funzione delle ore della giornata e delle condizioni meteorologiche)
- nelle aree più buie degli ambienti, dove la luce naturale è insufficiente o trascurabile (disuniformità di illuminazione)



Fig. 52: In the morning, no light is needed from the row of luminaires near the window.

Fig. 53: At midday, incident daylight is generally adequate.

Fig. 54: In the evening and at night, the lighting needs to operate at full power.



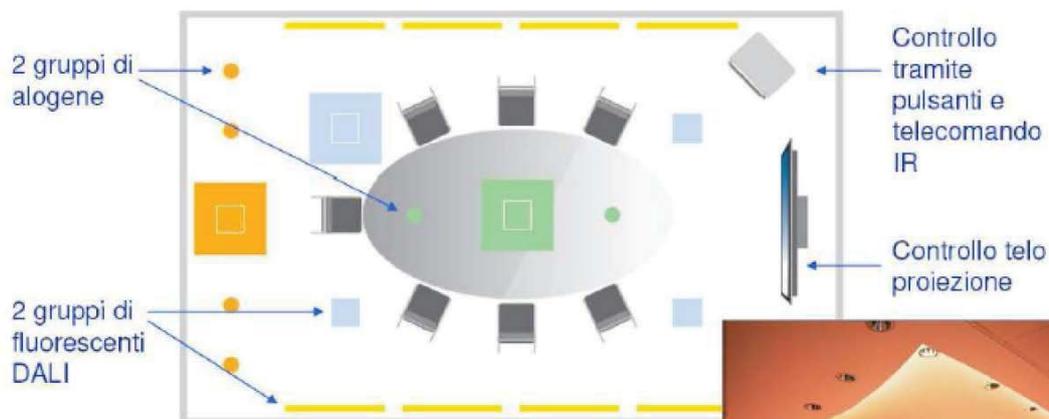
STRATEGIE DI INTERVENTO



- controllo della quantità di luce naturale (componente trasparente + schermante)
- controllo ON-OFF degli apparecchi
- dimmerazione degli apparecchi

SISTEMI DI CONTROLLO DELLA LUCE ARTIFICIALE

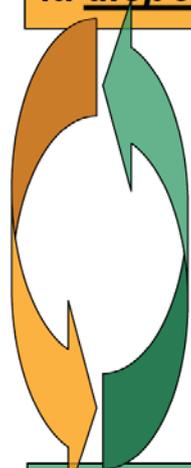
Soluzione realizzata con Philips MultiDim



Esempi di architetture di sistema

Approccio dinamico all'illuminazione naturale

studio e applicazione di nuovi indici dinamici per determinare la disponibilità di luce naturale in ambiente nel corso dell'anno



**Climate-Based Daylighting Modeling
CBDM**



Indice LENI (Lighting Energy Numerical Indicator)

analisi dei consumi energetici per illuminazione in funzione di:

- ✓ caratteristiche dell'edificio
- ✓ sistema di illuminazione
- ✓ comportamento degli utenti

► **disponibilità luce naturale all'esterno**

- latitudine
- condizioni climatiche
- condizioni di cielo
- torbidità dell'atmosfera

► **uso dell'edificio**

- illuminamento target
- comportamento dell'utente:
 - profilo di occupazione
 - gestione illuminazione
 - gestione schermature mobili

CBDM

► **caratteristiche architettoniche dell'edificio**

- orientamento
- dimensioni ambienti
- componente trasparente (dimensioni e tipologie)
- componente schermante
- ostruzioni

► **caratteristiche dell'impianto di illuminazione**

- potenza elettrica installata
- sistemi di controllo della luce artificiale

LENI