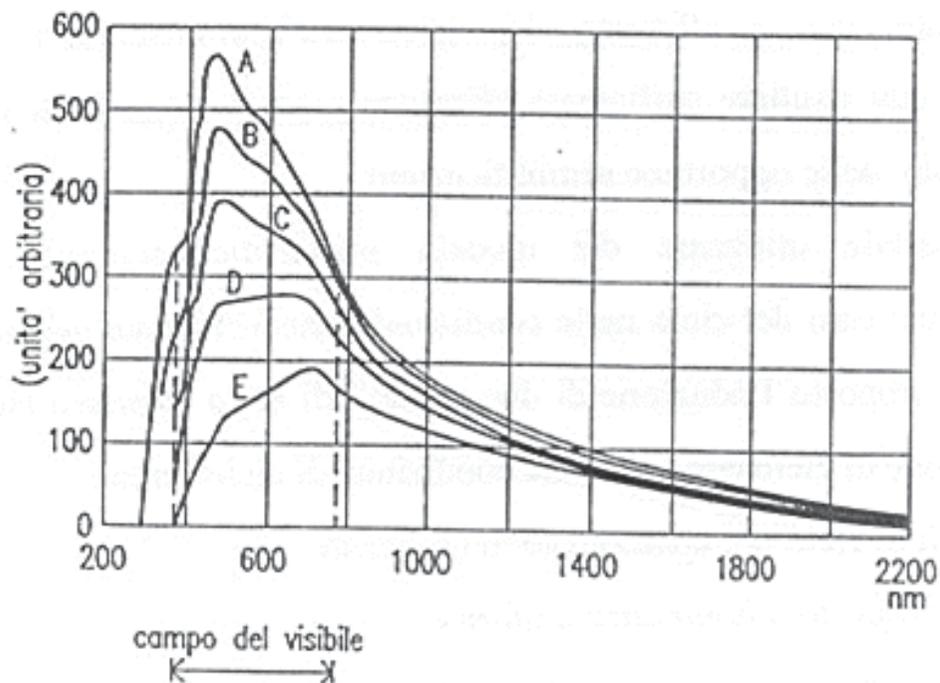


# **ILLUMINAZIONE NATURALE**

# LUCE NATURALE: IL SOLE



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

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

| $\lambda(\mu)$ | $\omega(\lambda) [W/m^2 \mu]$ |       |       |       |        |
|----------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
|                | $m=0$                         | $m=1$ | $m=4$ | $m=7$ | $m=10$ |
| 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   |

Tabella 1.3. Variazioni di  $\omega$  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                        |

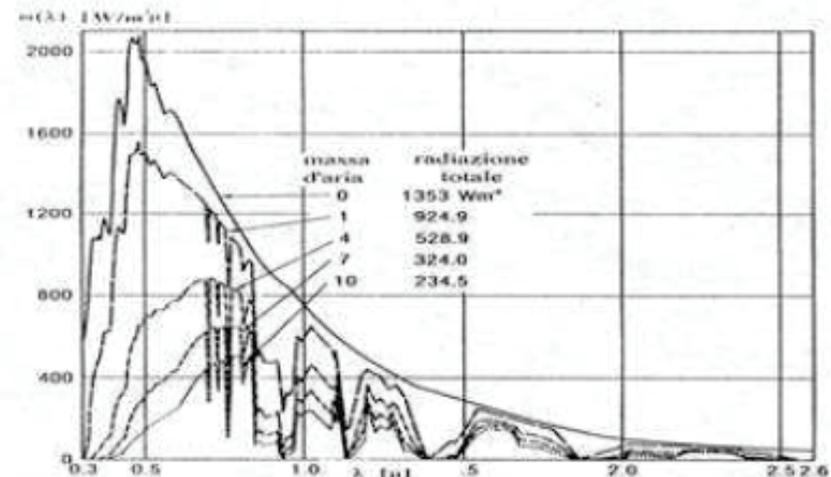
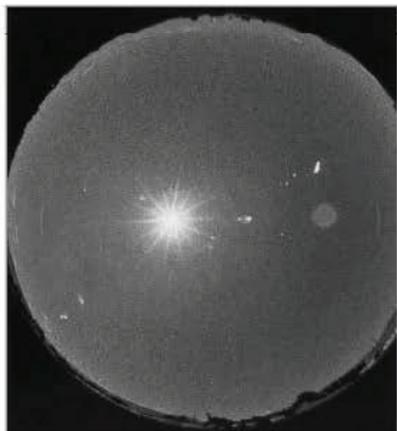


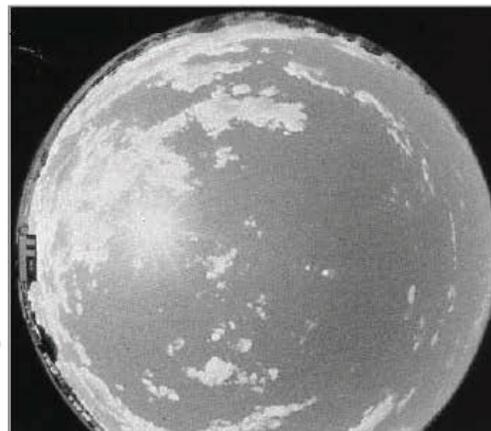
Figura 1.2. Distribuzione spettrale dell'energia raggiante solare sulla superficie terrestre, per diversi valori della massa d'aria

## II CIELO COME SORGENTE DI LUCE

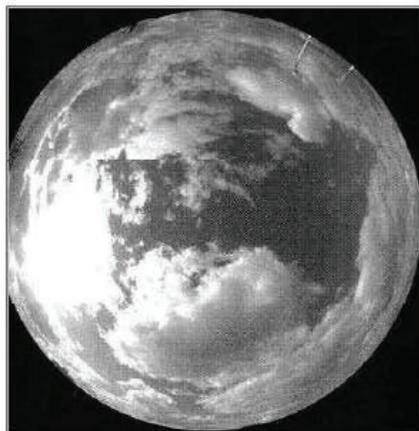
*cielo sereno*



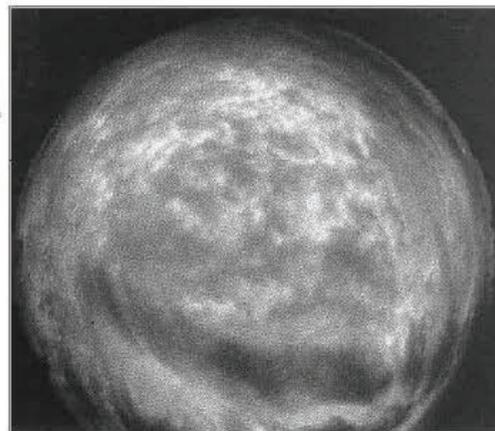
*cielo sereno con  
presenza di nuvole*



*cielo intermedio*



*cielo coperto*



La luminanza del cielo è funzione delle condizioni metereologiche 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)

$$L=L_p=const.$$

## 2) Cielo coperto CIE standard

La luminanza del punto P sulla volta celeste è funzione dell'angolo zenitale  $\theta$  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  $\gamma=90^\circ$

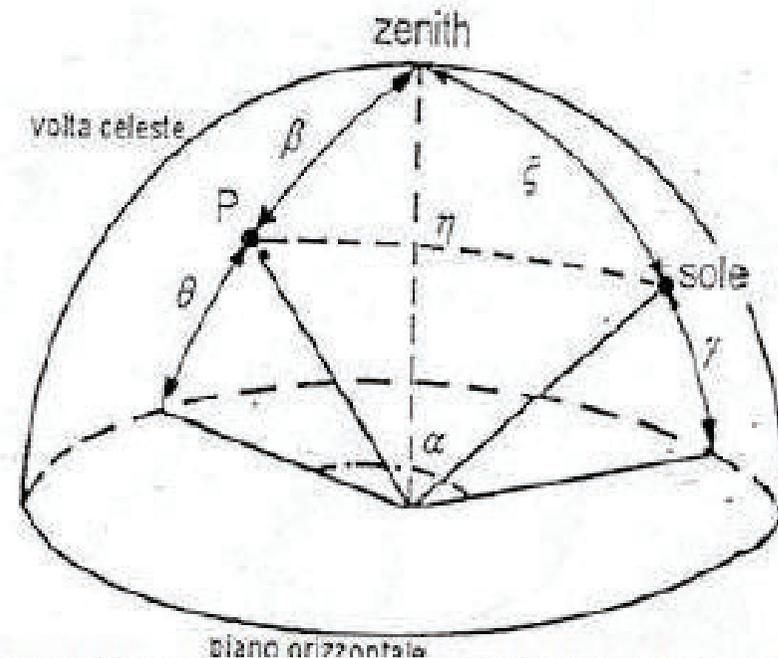


Figura 1.6. Volta celeste e angoli per definire la luminanza di un punto P.

# 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 ( $E_{P,ext}$ )

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

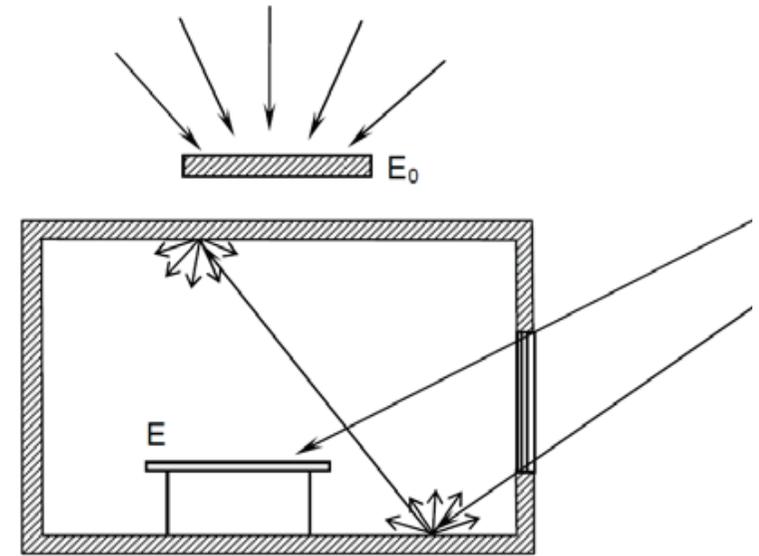
Il denominatore è facilmente calcolabile per un cielo a radianza costante:

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

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

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

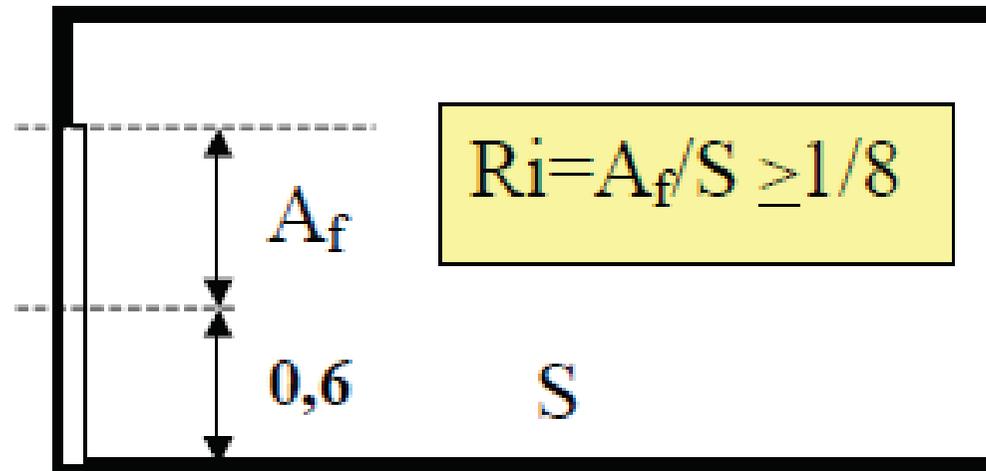
- U = fattore di uniformità di luce naturale  
all'interno dell'ambiente [-]
- $\eta_{\min}$  = fattore di luce diurna minimo  
all'interno dell'ambiente [-]
- $\eta_m$  = fattore di luce diurna medio  
all'interno dell'ambiente [-]

# Linee guida e Calcolo del FLD

## SOLUZIONE CONFORME

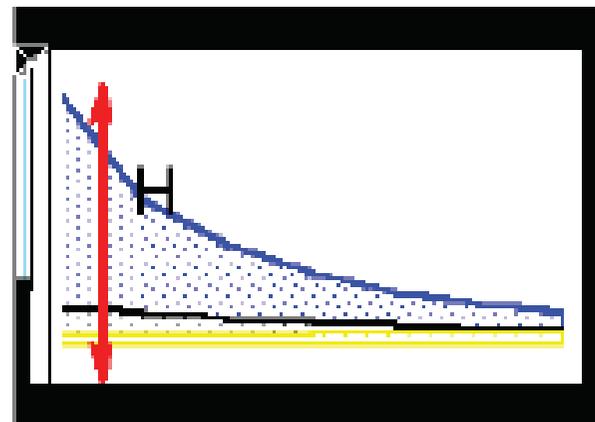
Il requisito è convenzionalmente soddisfatto se sono rispettate le seguenti condizioni:

- 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;

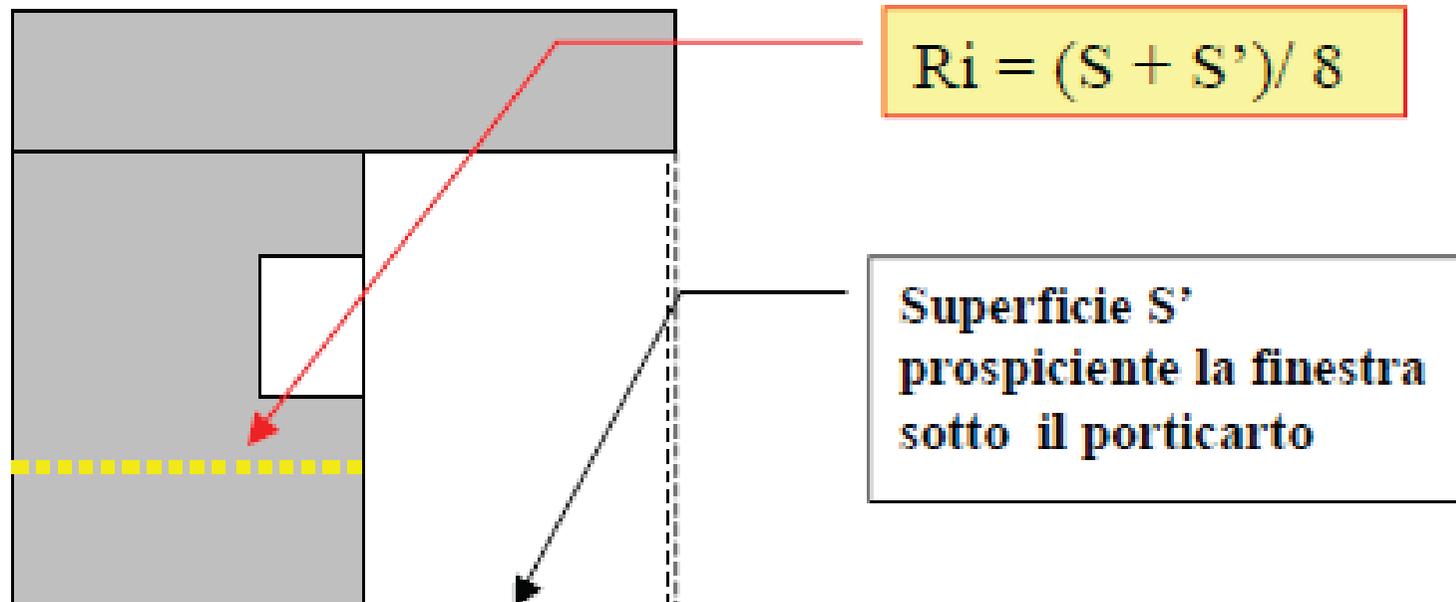


D



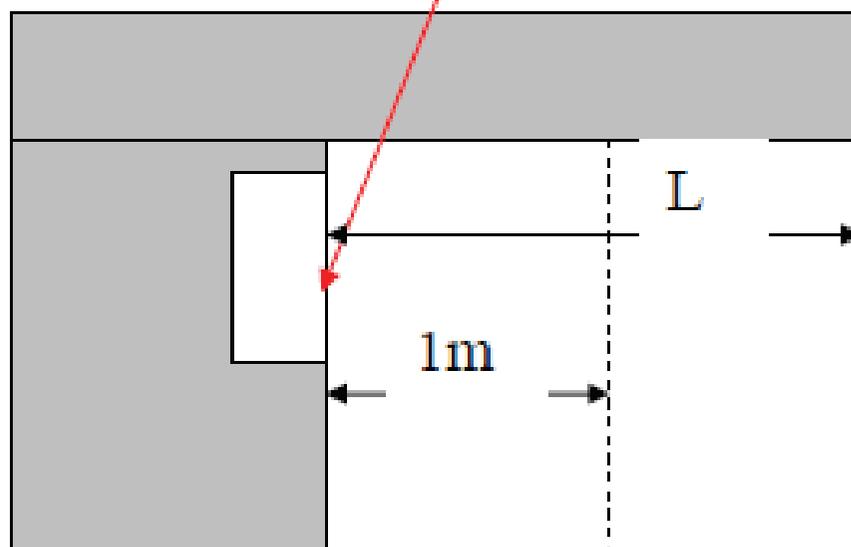
$$D \leq 2,5 H$$

- 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;



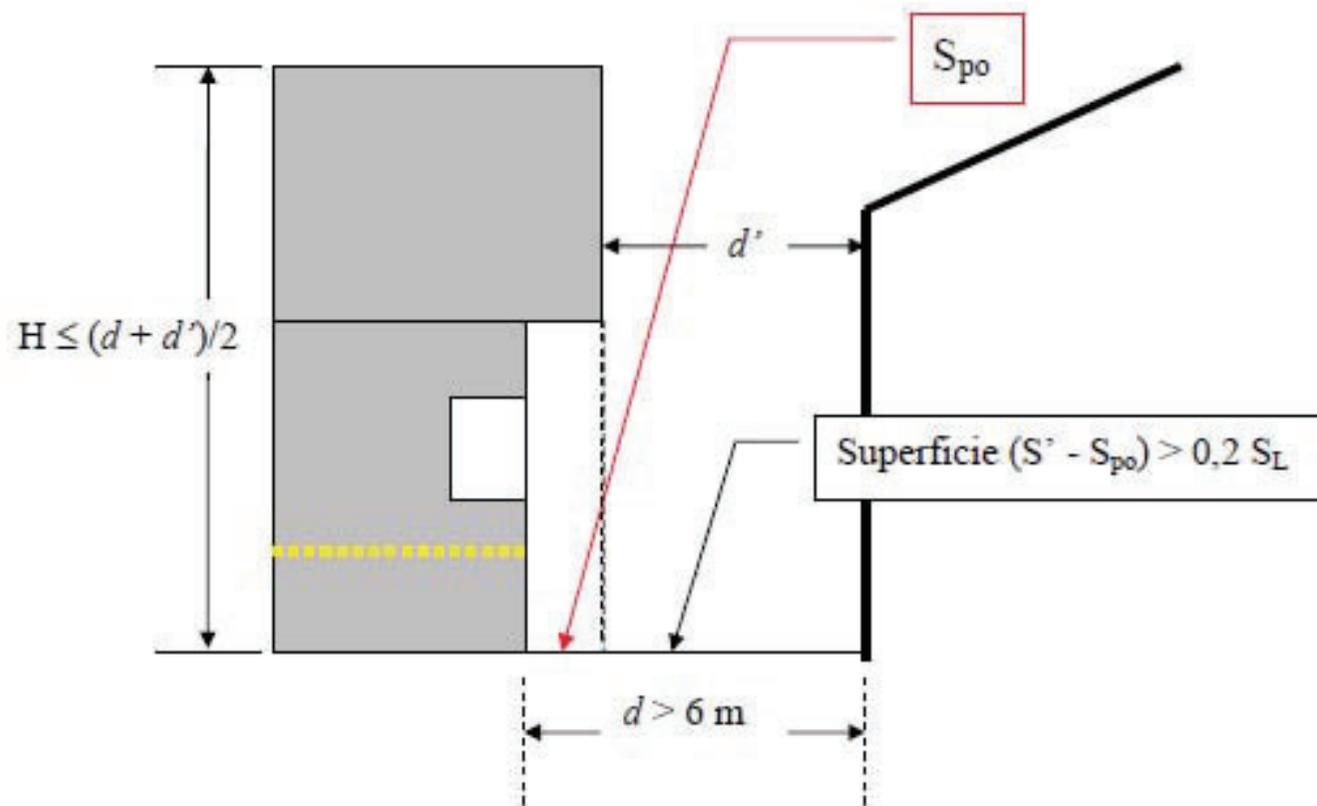
- per finestre con superficie trasparente ostruita da balconi o aggetti di profondità superiore a 1m ( $A'_f$ ), la dimensione della superficie illuminante  $A_f$  dovrà essere aumentata di 0,05 m<sup>2</sup> ogni 5 cm di ulteriore aggetto oltre 1 m.

$$A'_f = A_f + [(L - 100)/5] \cdot 0,05$$



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

$\psi$  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:

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

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.

| <b>Sistema trasparenti</b>   | $\tau_v$  |
|--|-----------|
| 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 |               |             |

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

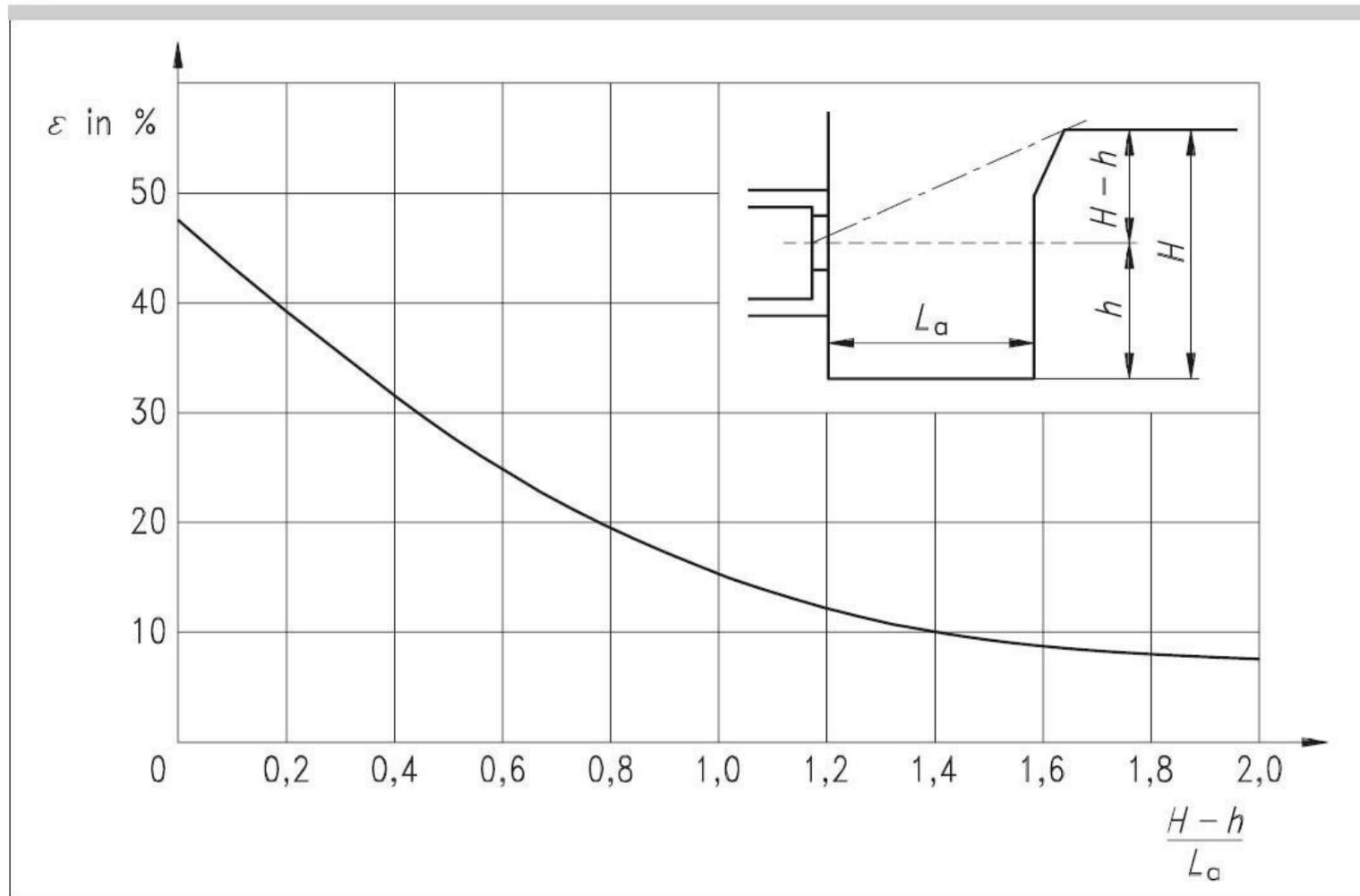
## Determinazione del fattore finestra $\varepsilon$

Legenda

$h$  Altezza della finestra dal piano stradale

$H$  Altezza del fabbricato contrapposto

$L_a$  Larghezza della strada



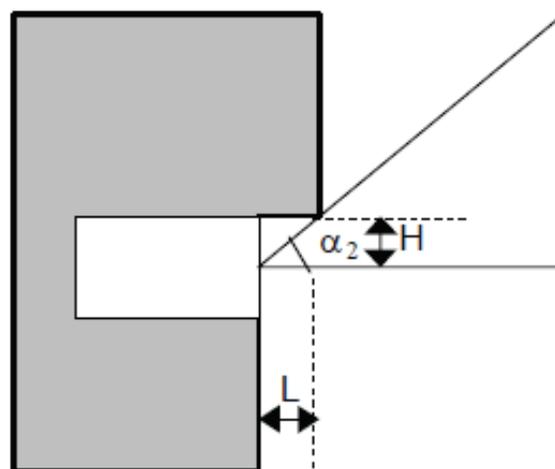
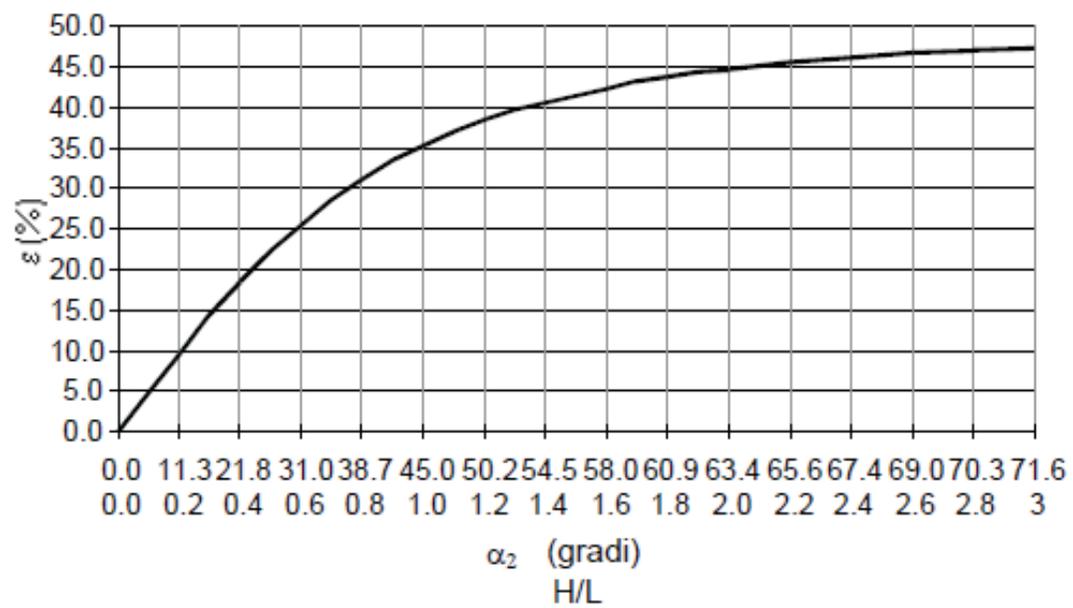


Figura 2 Valore del fattore finestra  $\varepsilon$  per ostruzioni superiori

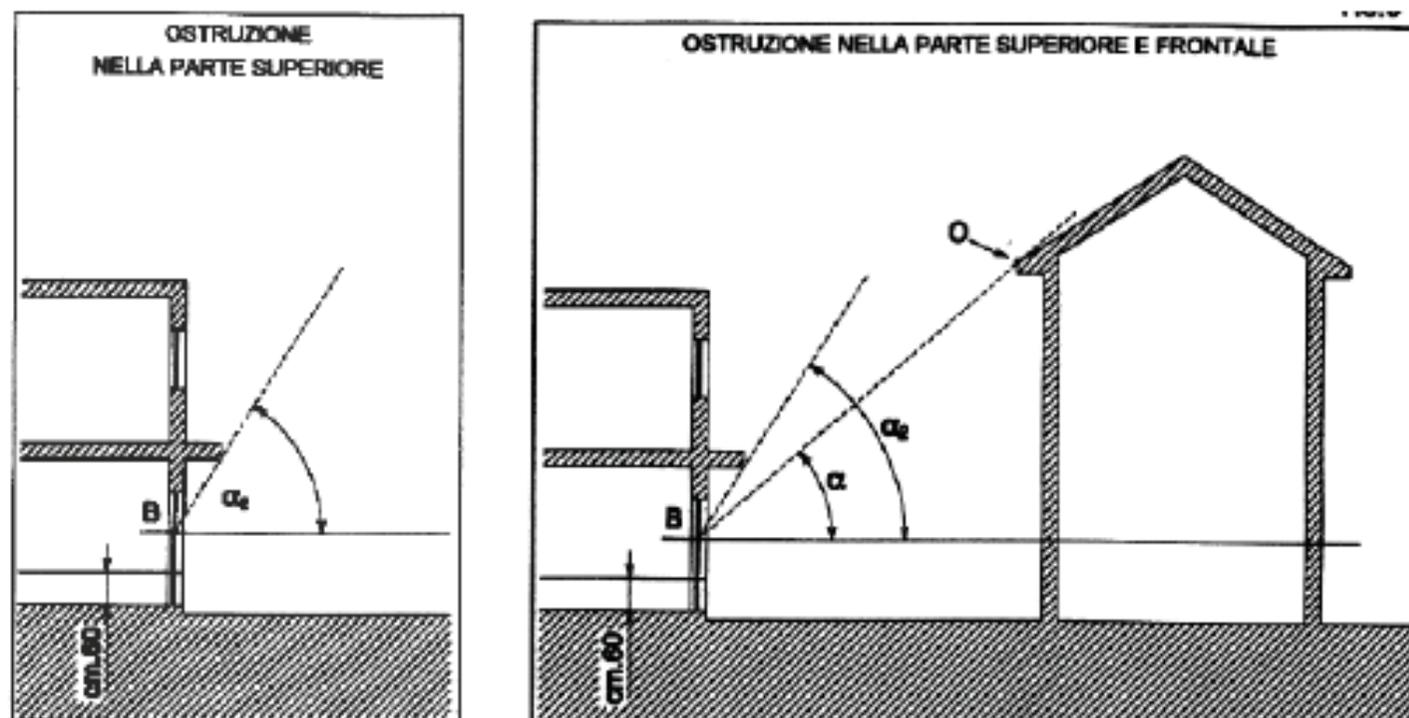


Figura 3 Parametri geometrici per ostruzione frontale e superiore

Con ostruzione frontale e superiore

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

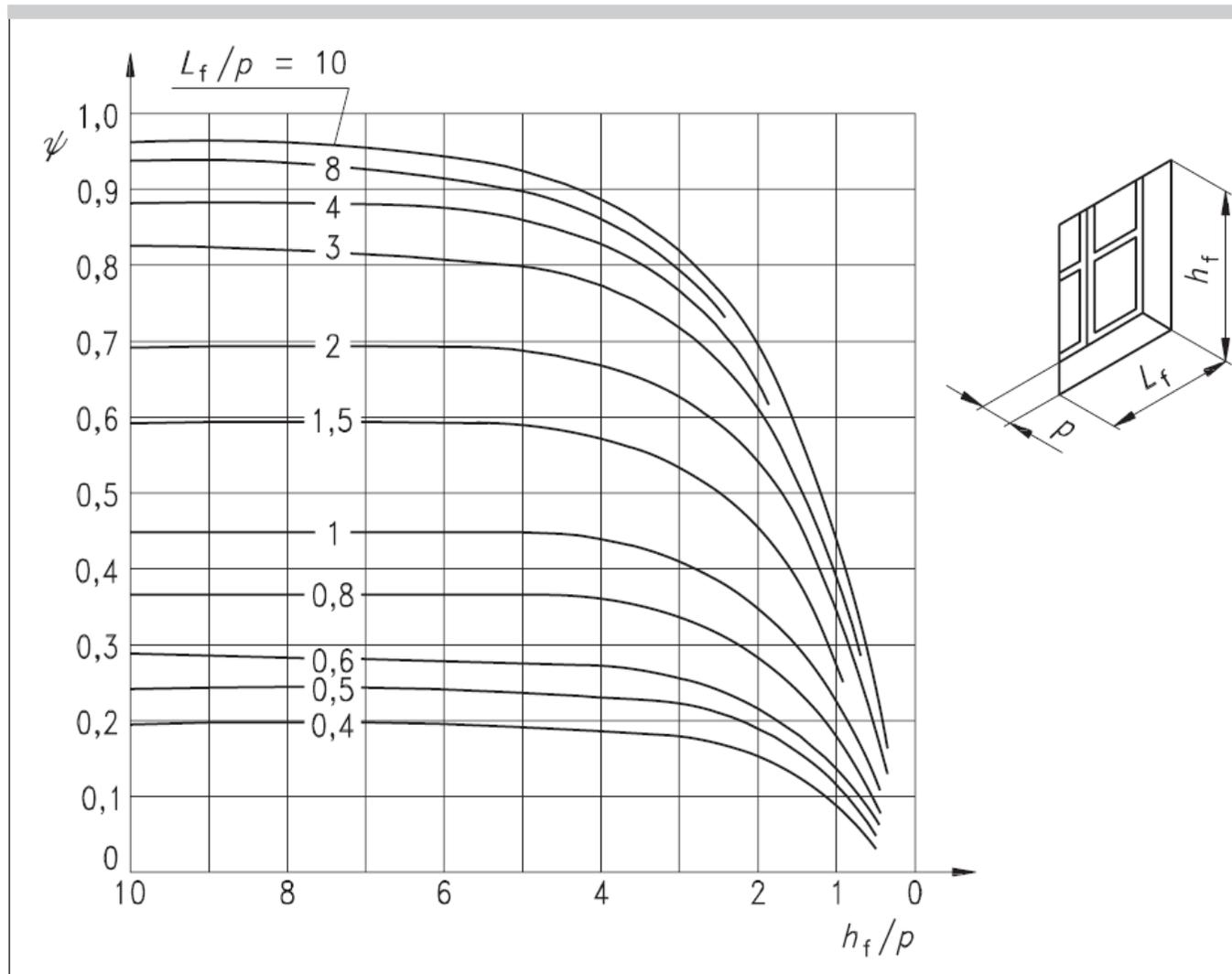
## Determinazione del fattore di riduzione $\psi$

### Legenda

$L_f$  Larghezza della finestra

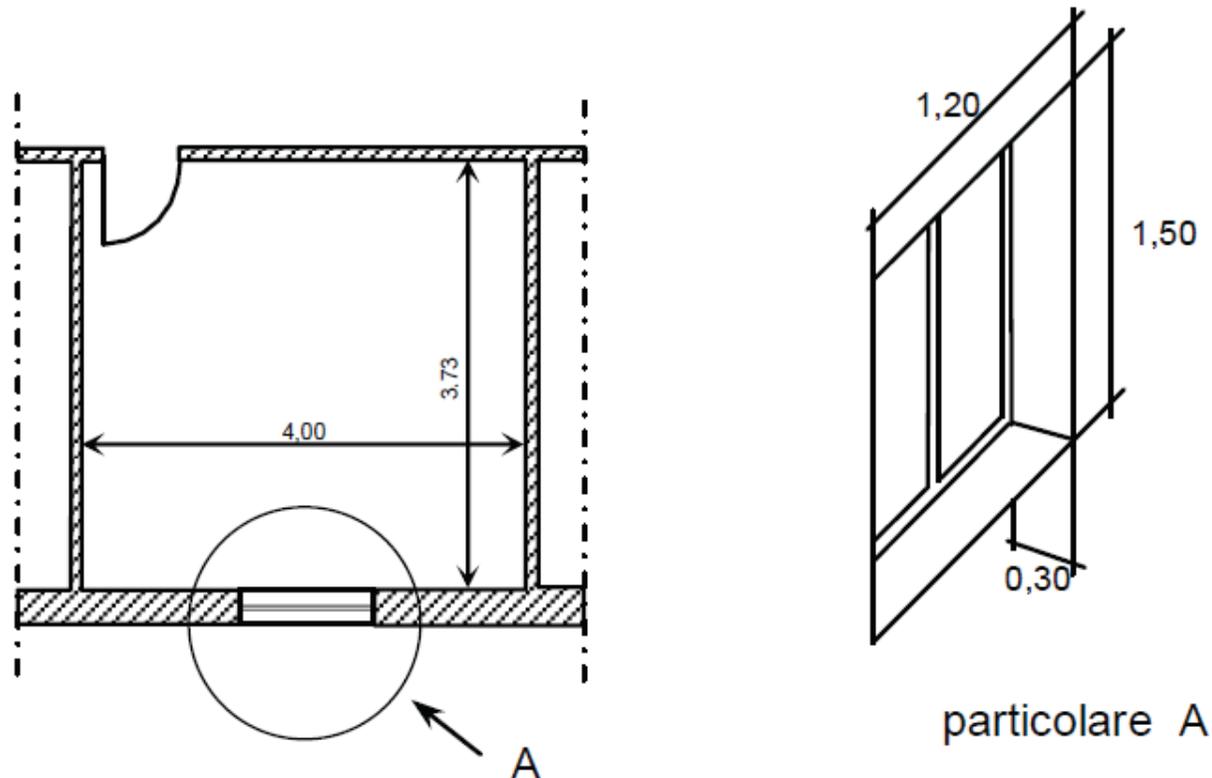
$h_f$  Altezza della finestra

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

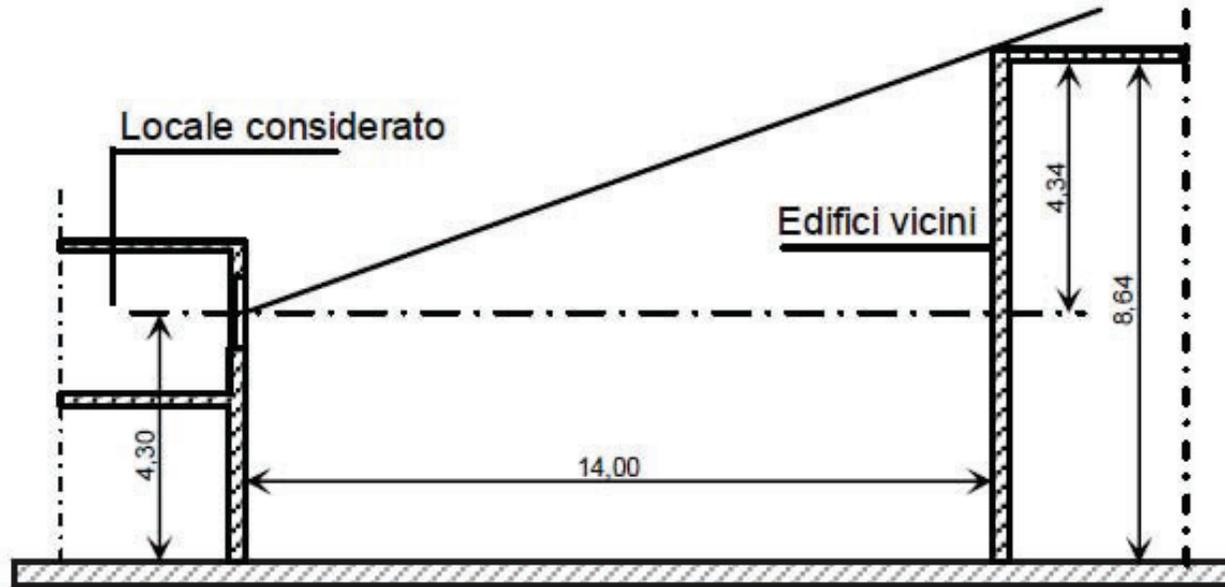


## Esempio di calcolo del fattore di luce diurna

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 m<sup>2</sup> 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 del *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

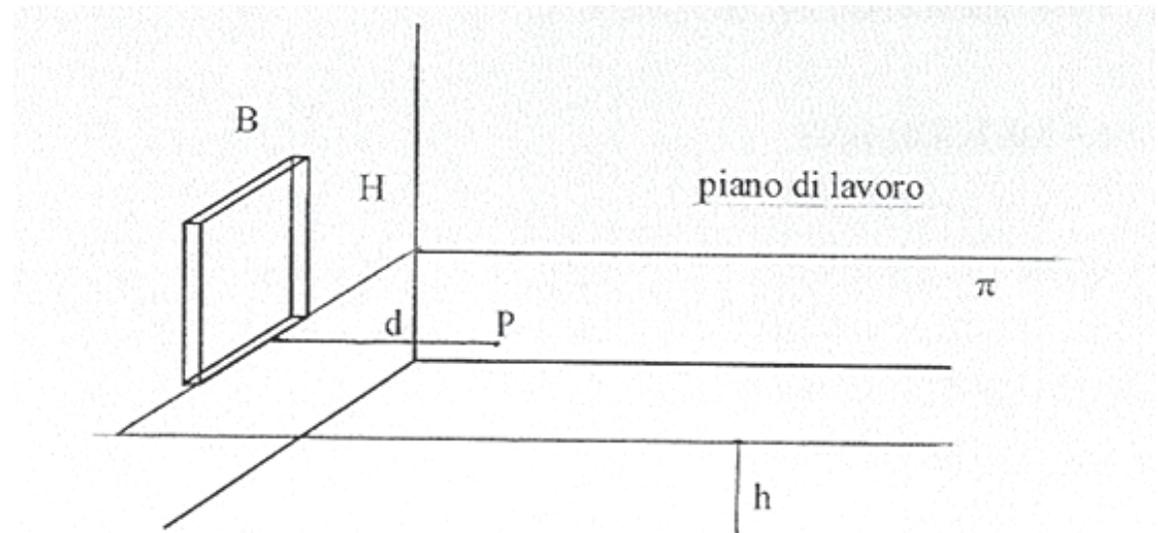
3) Componente di riflessione interna ( $D_i$ )

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  $D_s$



Rapporto  $H/d$ 

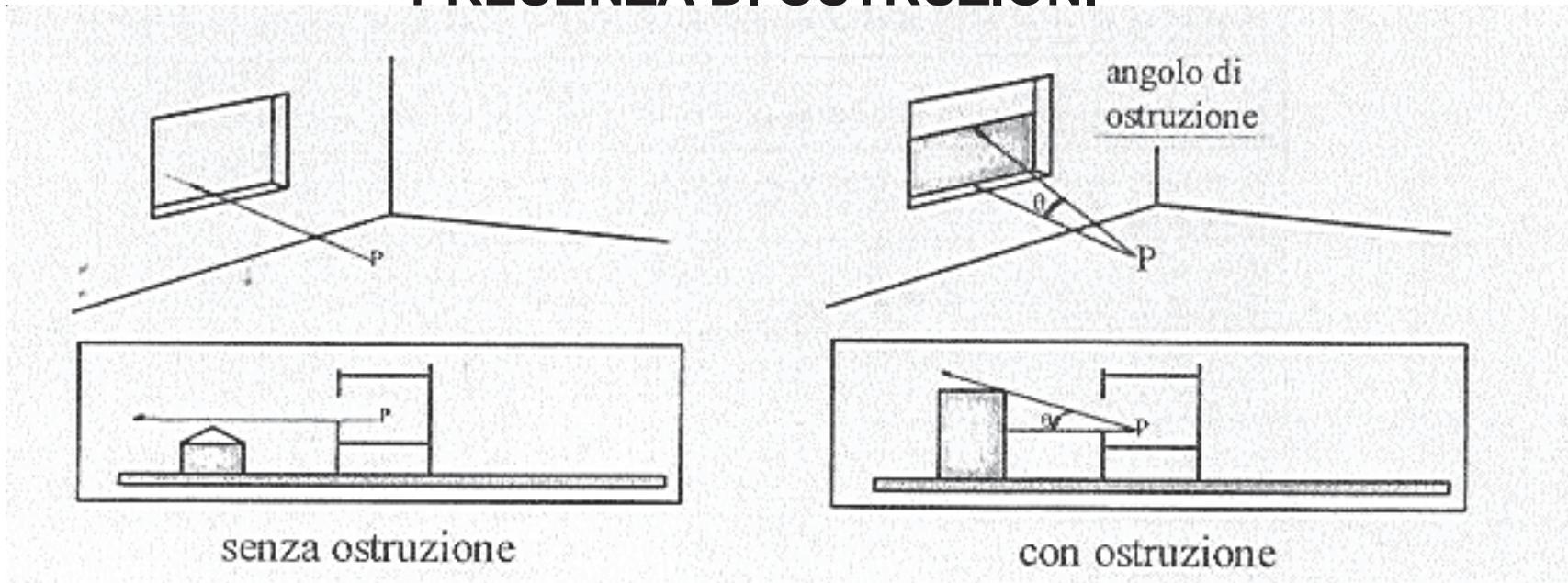
|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| ... | 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  | 2,1  | 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°  |

Rapporto  $B/d$ 

Angolo di ostruzione

Tabella per un cielo coperto CIE standard

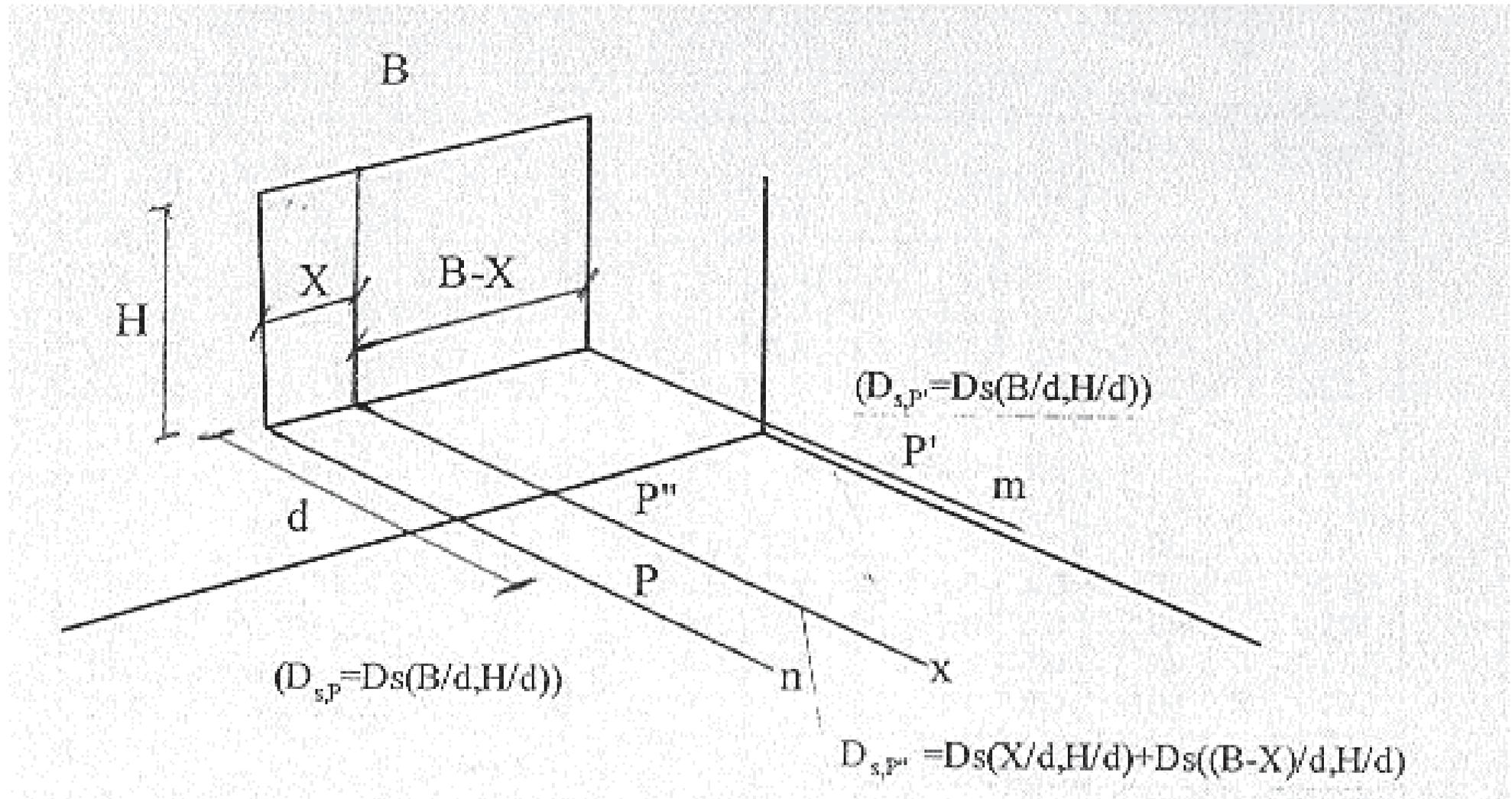
## PRESENZA DI OSTRUZIONI



- 1) Calcolo dell'angolo di ostruzione
- 2) Dalla tabella si ricava il fattore di configurazione dell'ostruzione entrando con  $B/d$  e con  $\theta$
- 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:

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

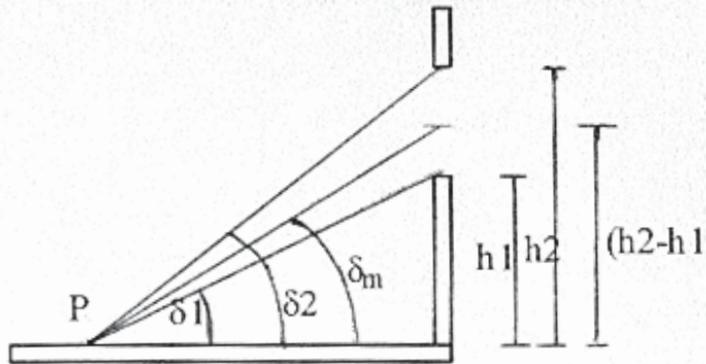
# CALCOLO DELLA COMPONENTE RIFLESSIONE INTERNA

- 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 |     |     |     |

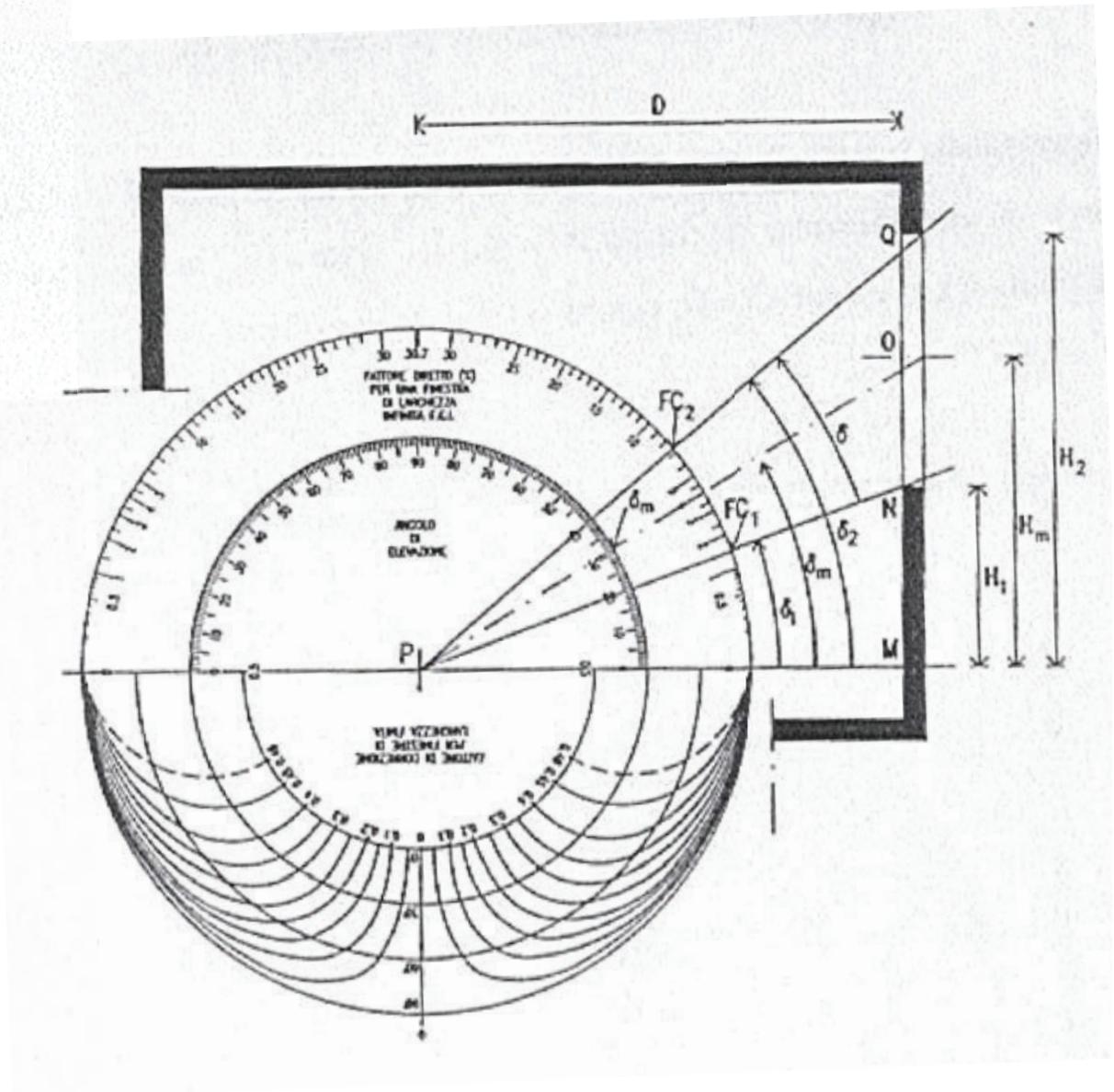
Presenza di più finestre e loro disposizione: casi particolari.

# CALCOLO DELLA COMPONENTE CIELO E NOMOGRAMMA BRS (1)

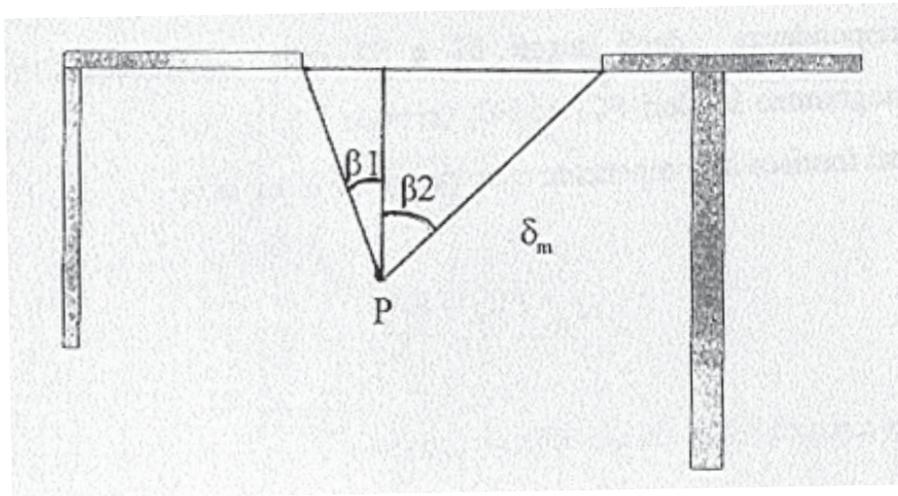


- 1) Dalla geometria per il punto P si individuano  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  e  $\delta_m$
- 2) Si porta sul nomogramma e si ottengono  $FC_1$  e  $FC_2$  e quindi per una finestra di larghezza infinita si ha

$$D_{s,inf} = FC_2 - FC_1$$

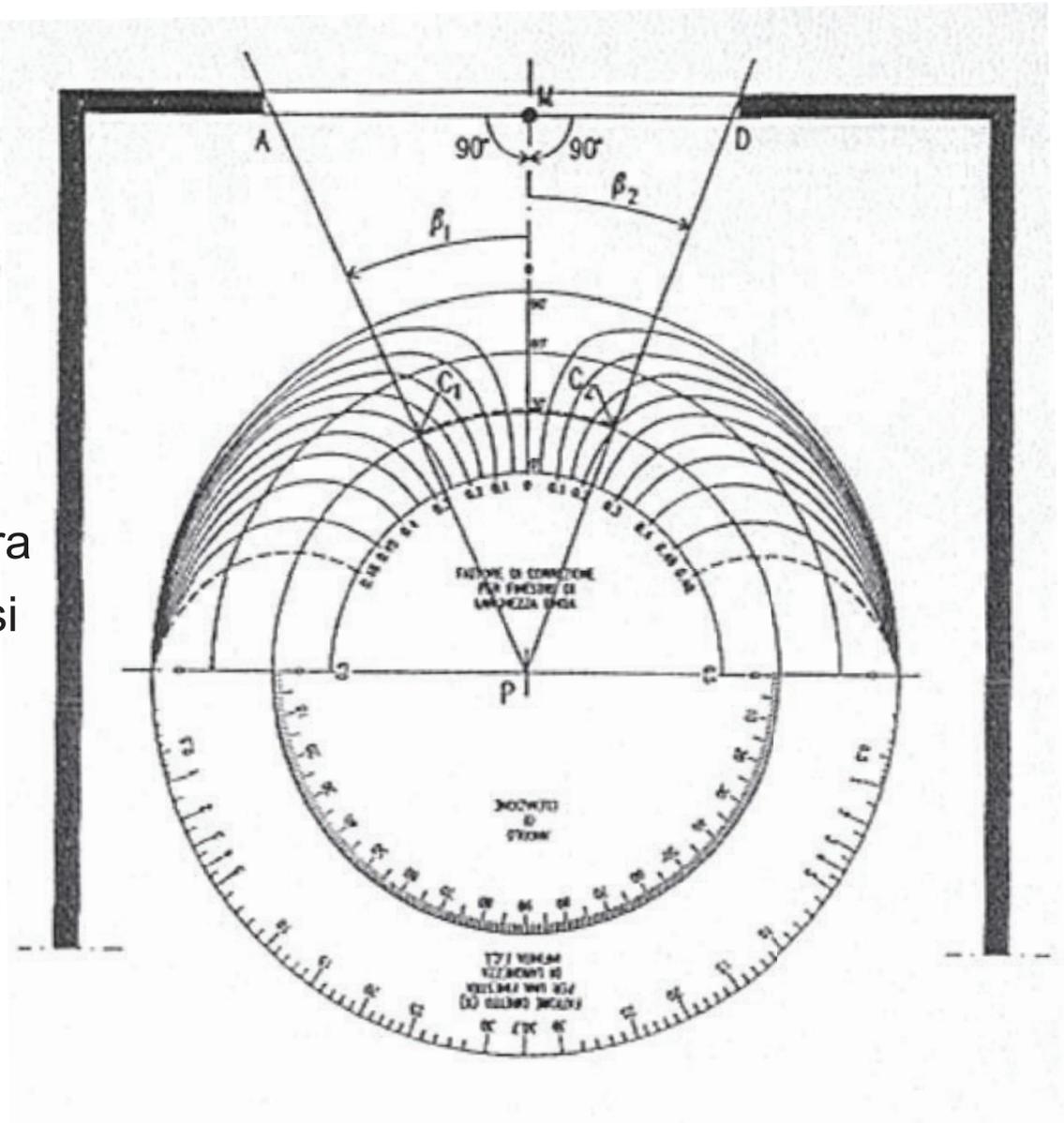


# CALCOLO DELLA COMPONENTE CIELO E NOMOGRAMMA BRS (2)



- 3) Si individuano  $\beta_1$  e  $\beta_2$  come in figura
- 4) Si sovrappone la parte inferiore e si traccia un angolo pari a  $\delta_m$
- 5) Si individuano  $C_1$  e  $C_2$
- 6) Si ottiene quindi

$$D_s = (C_1 + C_2) D_{s,inf}$$



## **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<sub>m</sub>:

- parametro normato da leggi e protocolli di valutazione

## ▶ LIMITI INTRINSECI del FLD<sub>m</sub>:

- 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

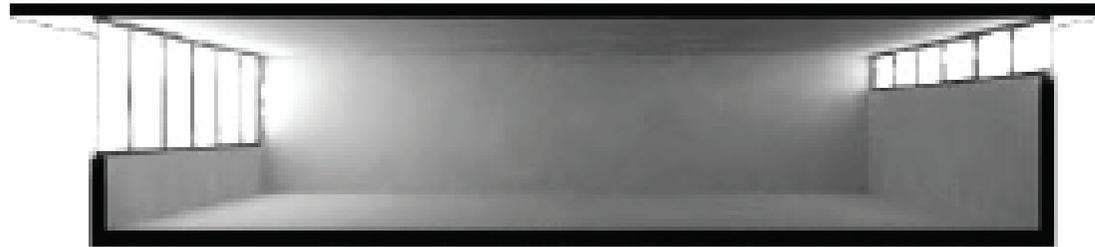
- intermittente
- imprevedibile
- limitata penetrazione negli edifici
- rischi di abbagliamento
- disuniformità dell'illuminamento
- non immagazzinabile
- per produrre risparmi di energia servono controlli sull'illuminazione artificiale

## 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

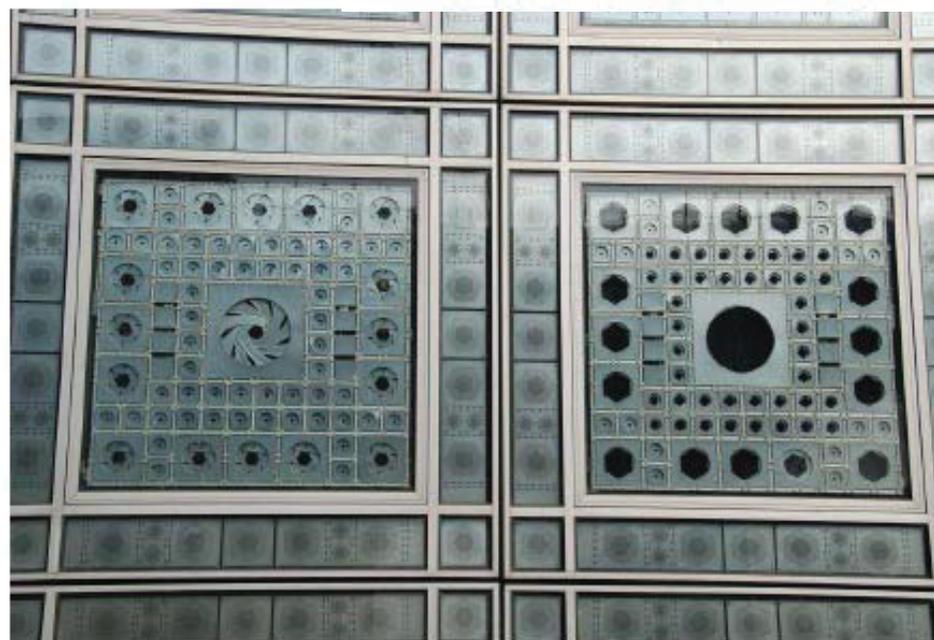
aperture laterali



aperture zenitali

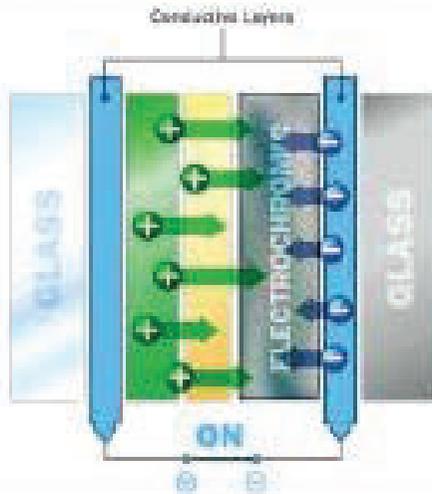


Sistemi di regolazione  
manuali o automatizzati per il  
controllo dell'abbagliamento  
visivo e anche dell'apporto  
termico

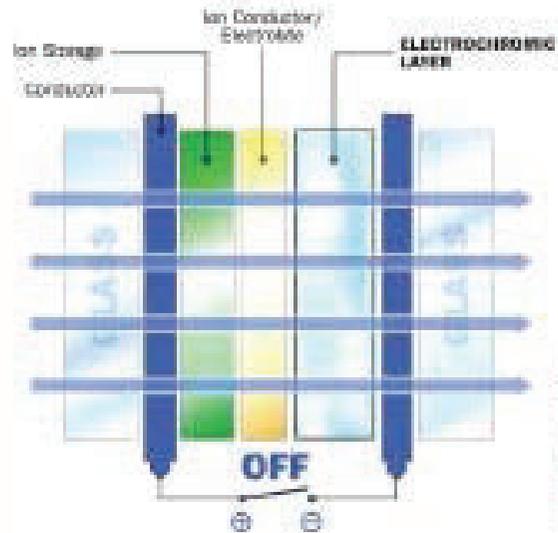


# Materiali elettrocromici: smart windows

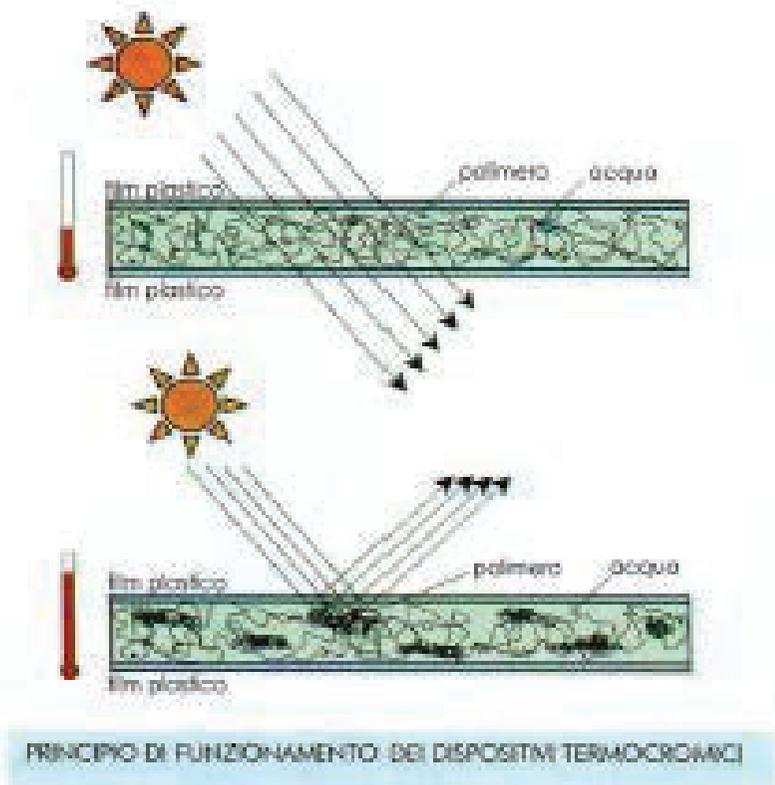
ELECTROCHROMIC SMART WINDOWS



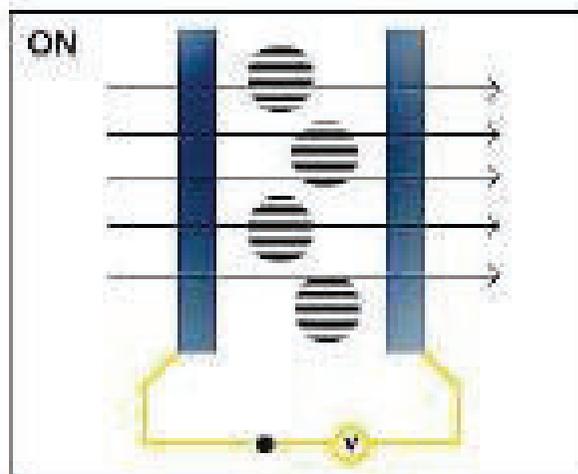
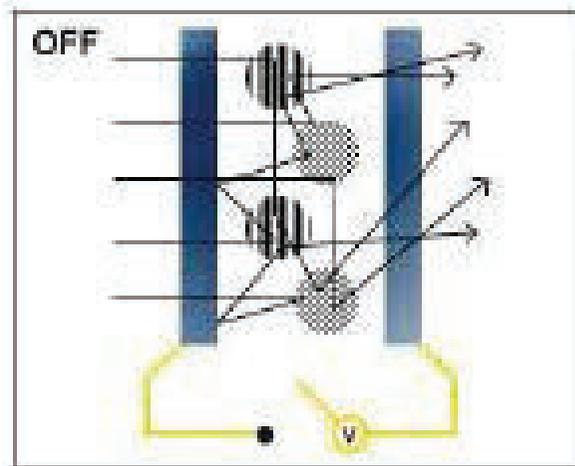
ELECTROCHROMIC SMART WINDOWS



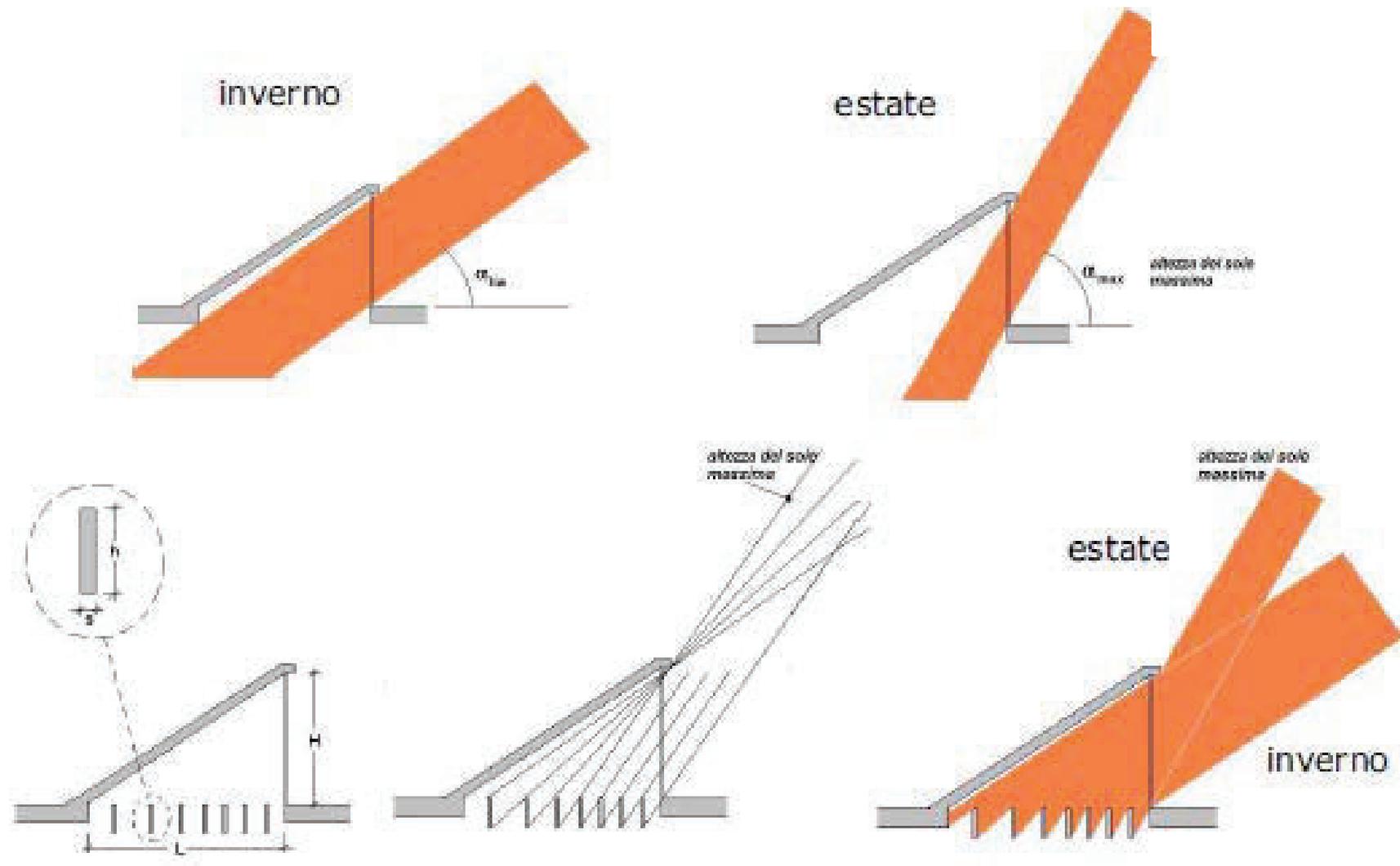
# Materiali termocromici

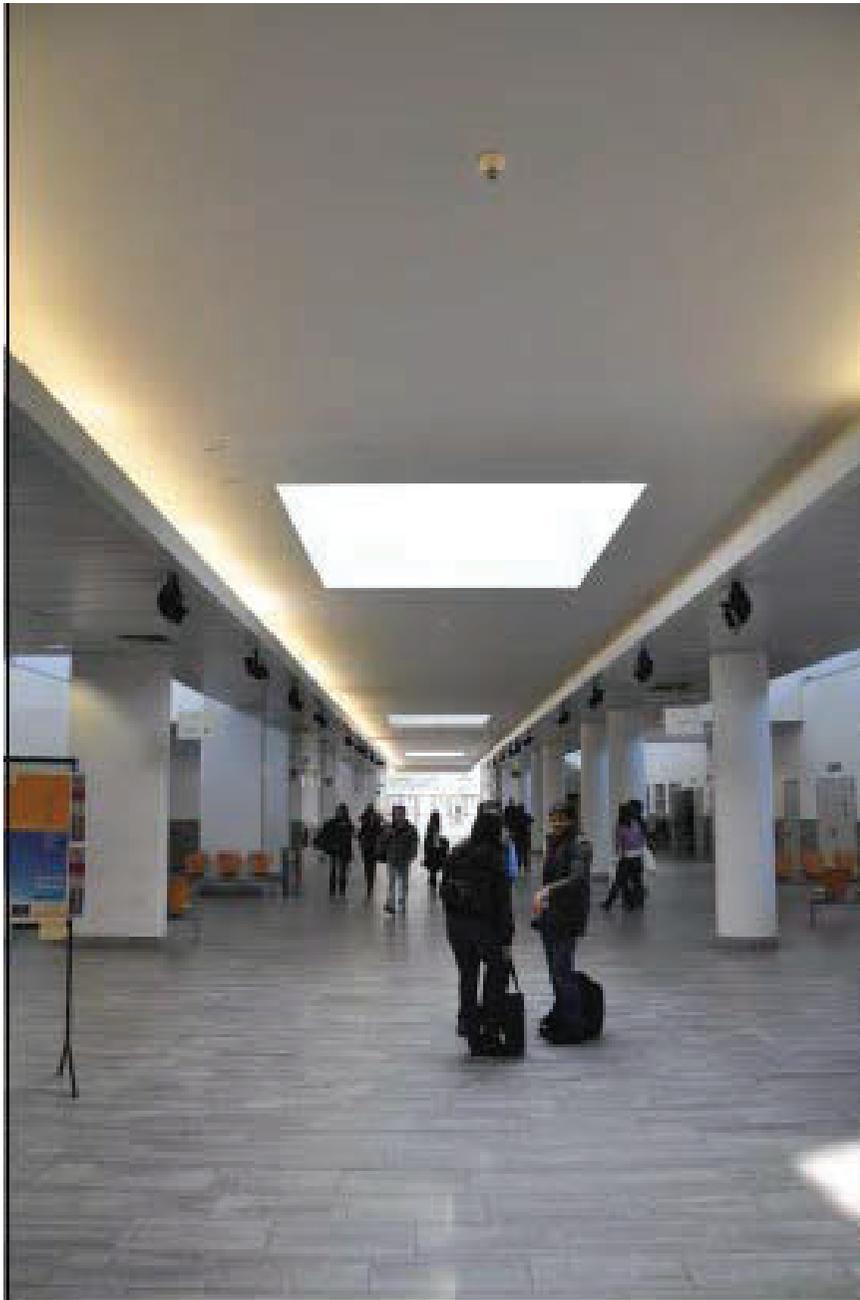


# Cristalli liquidi

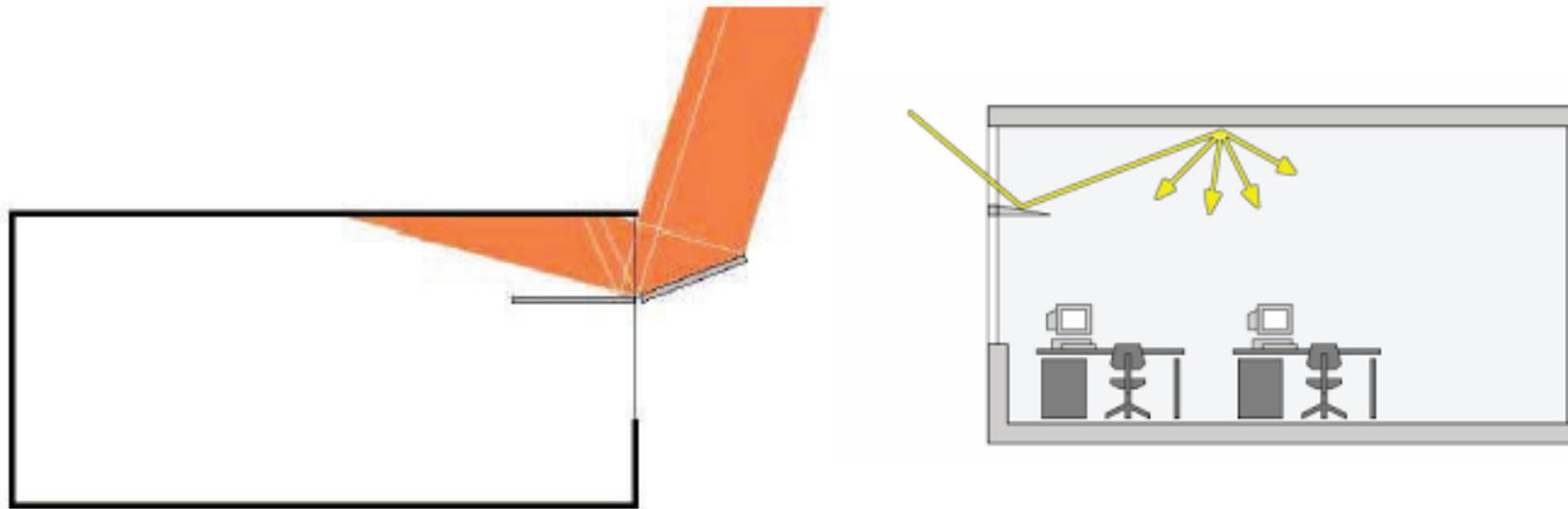


# Controllo passivo della luce zenitale in ingresso

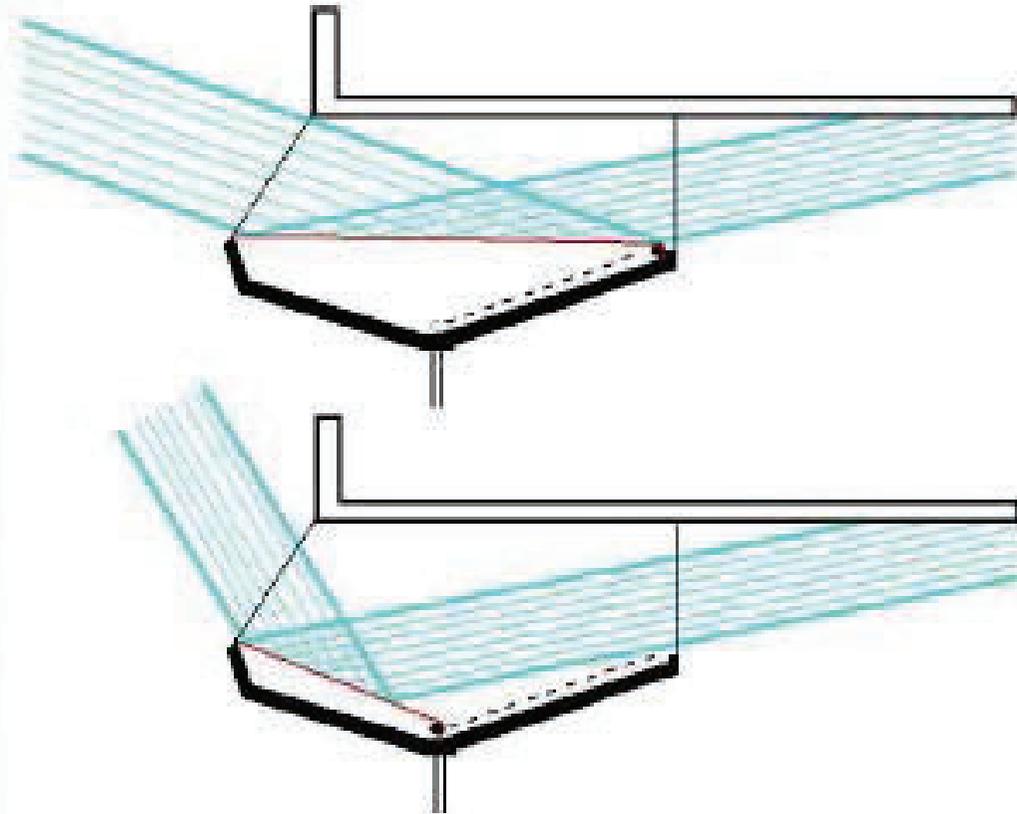
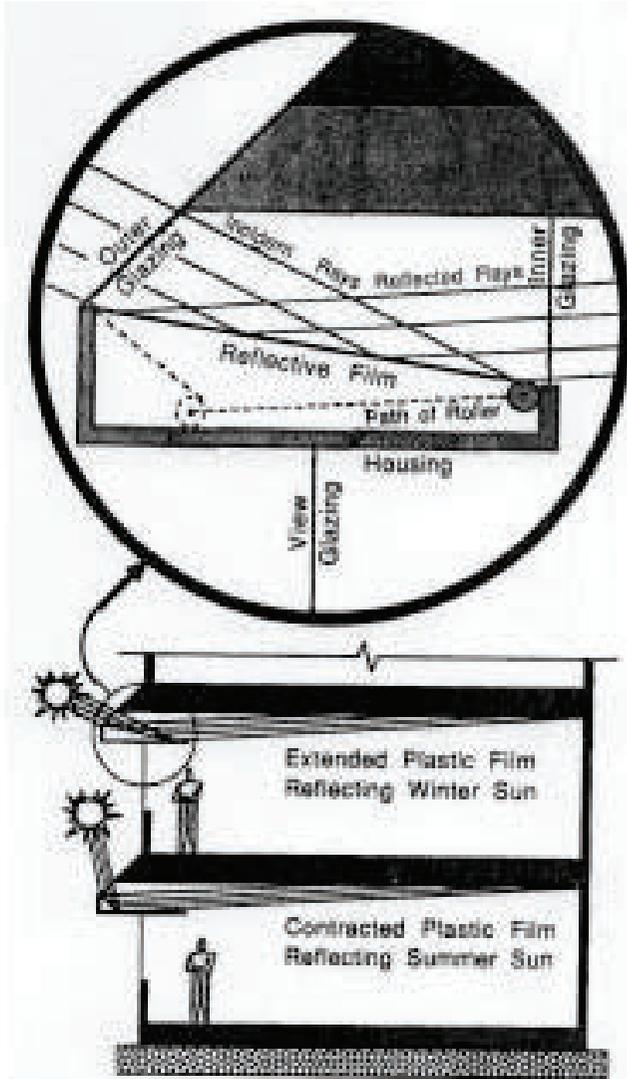




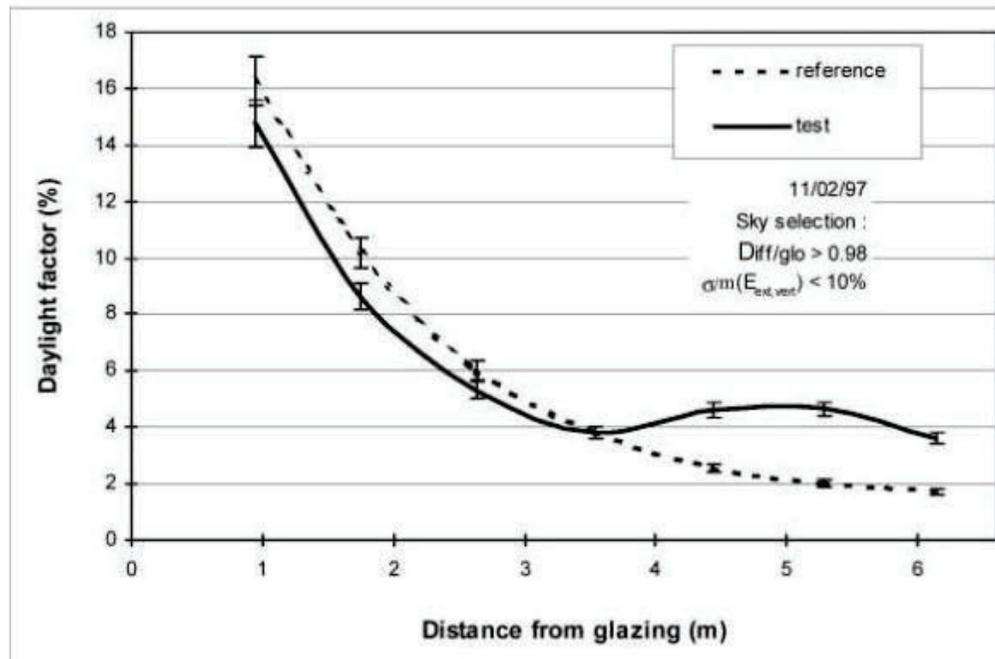
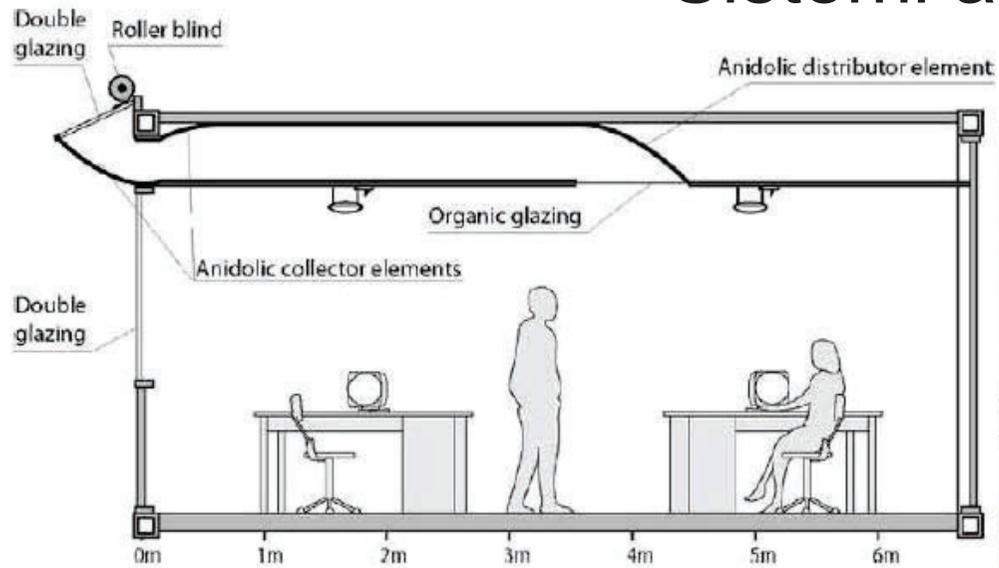
# Lightshelf

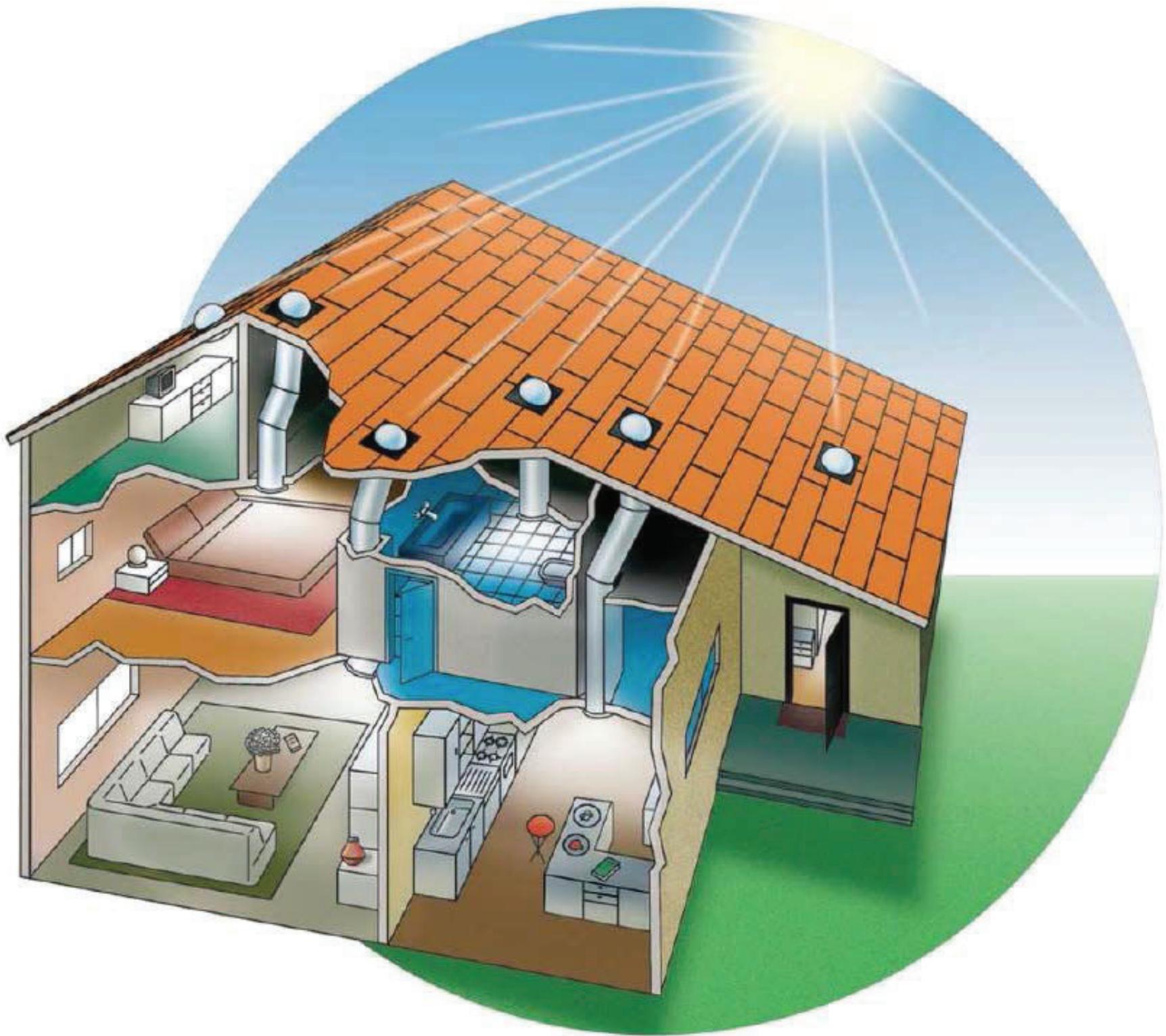


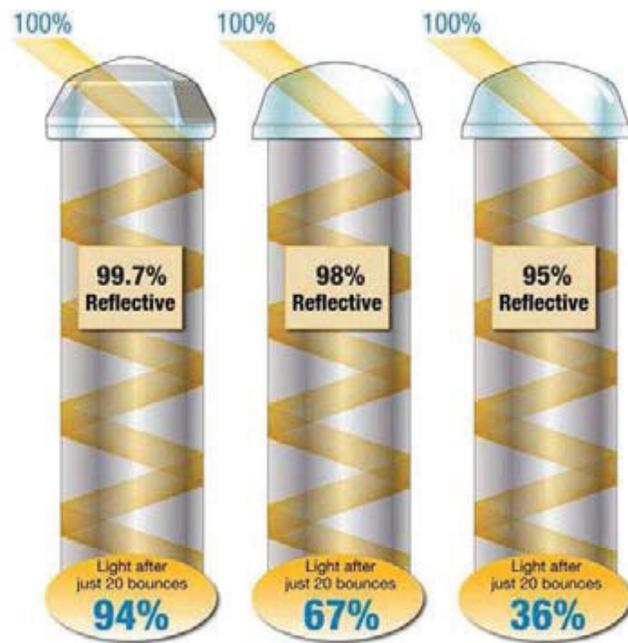
# Lightshelf (Variable Area Light Reflecting Assembly)



# 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)



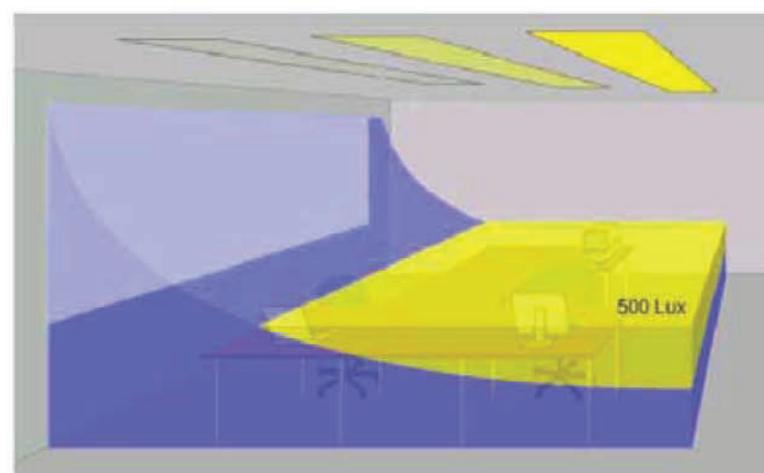
Fig. 52: In the morning, no light is needed from the row of luminaires near the window.



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.



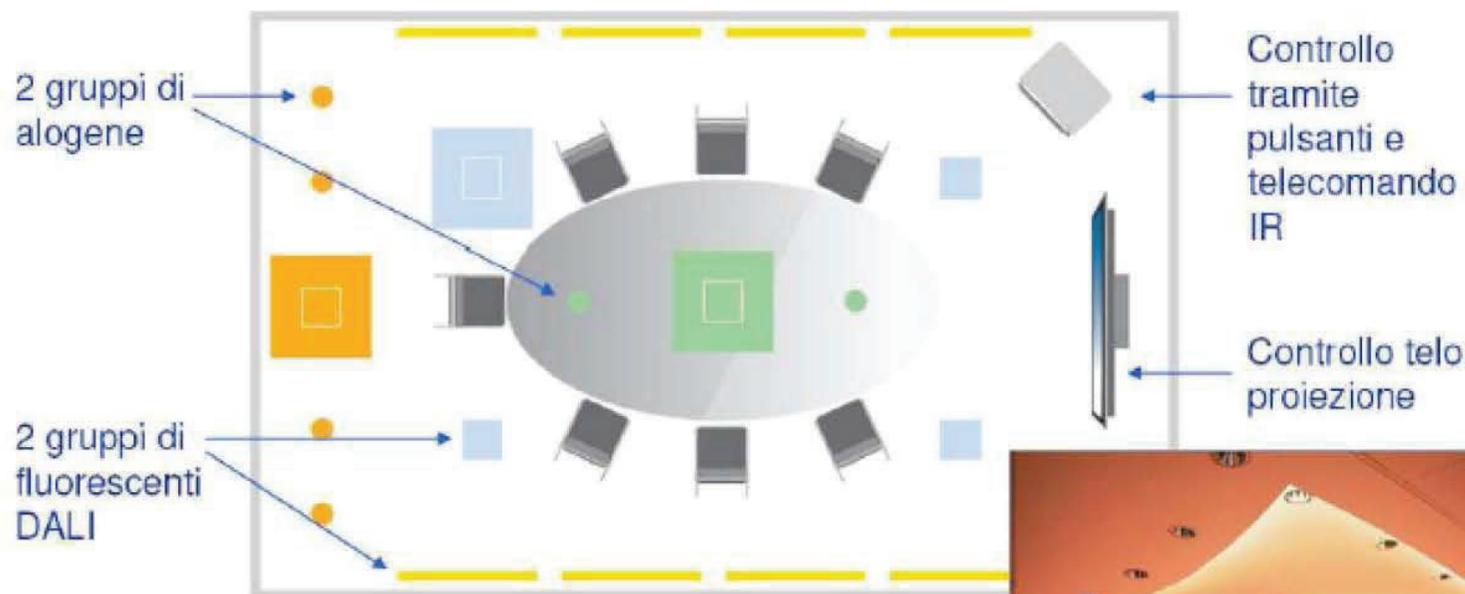
# STRATEGIE DI INTERVENTO



- 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

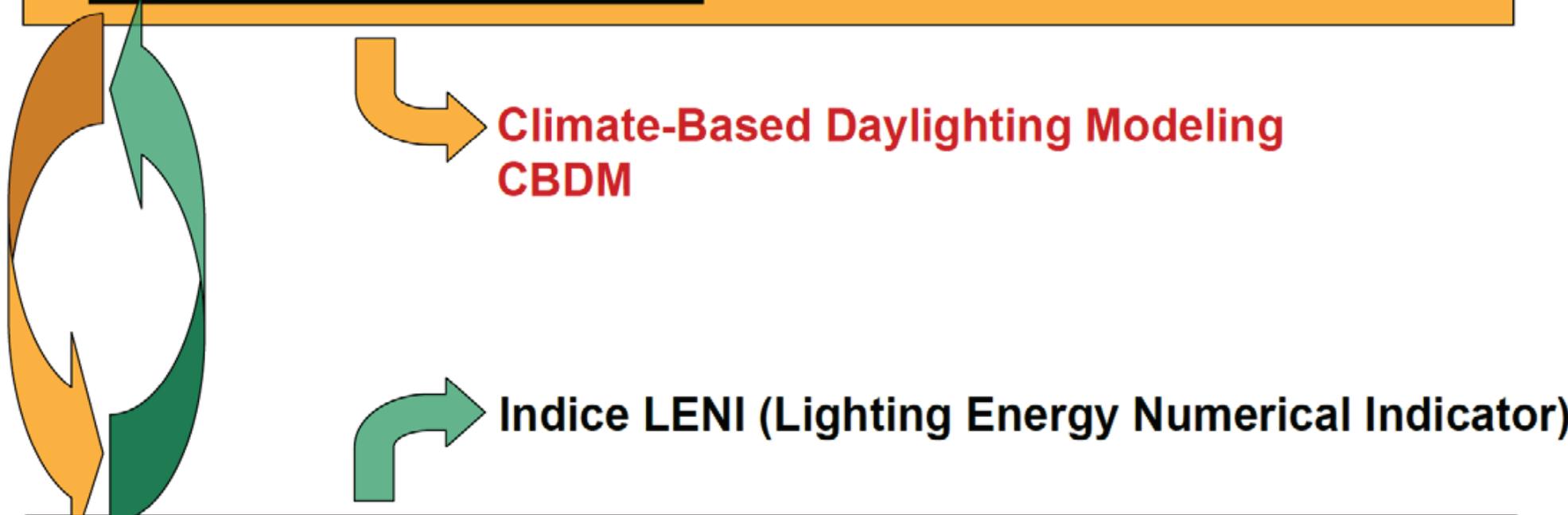


Esempi di architetture di sistema



# 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**

