



Assimpredil ANCE
20 ottobre 2010
Milano



POLITECNICO DI MILANO

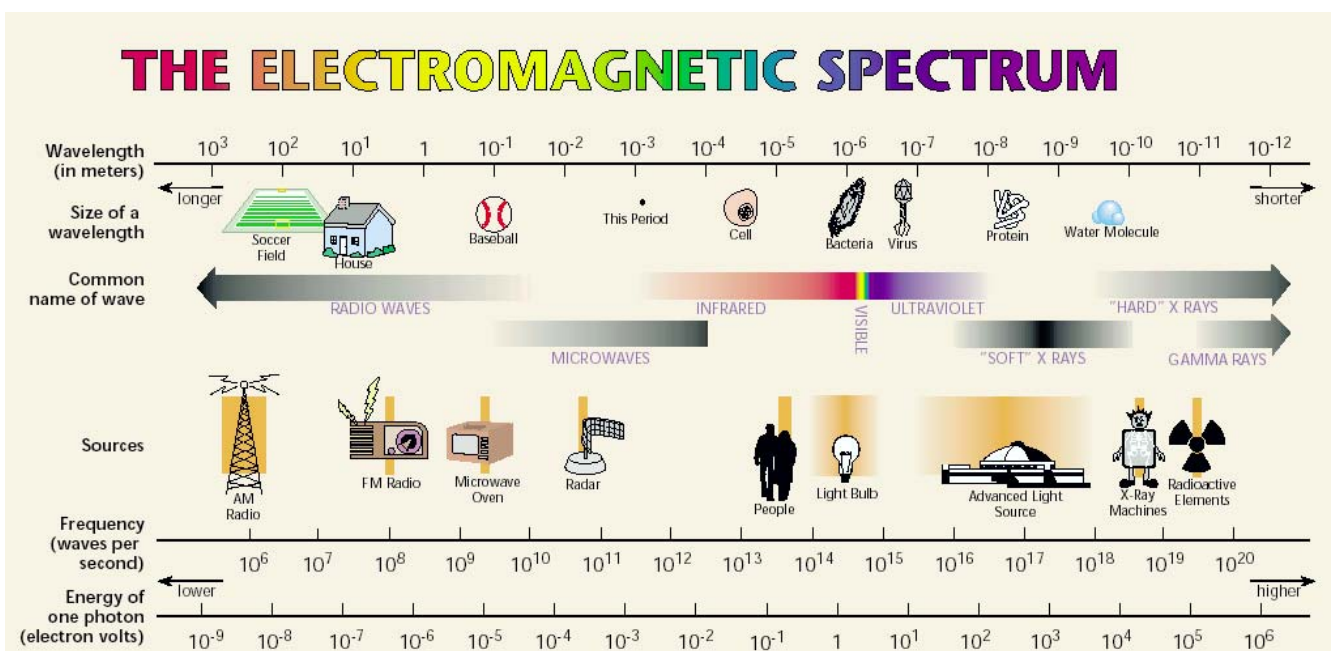


Il comfort luminoso e ottimizzazione luce naturale/impianti

Prof. Livio Mazzarella



Lo spettro della Radiazione Elettromagnetica 2





LUCE:

“quella parte dello spettro della radiazione elettromagnetica che viene rilevata dall’organo ricettore del senso della vista”:

L’OCCHIO UMANO

VISIONE:

“percezione degli stimoli luminosi”

La **visione** come MISURA ANTROPOMORFA” di un fenomeno fisico, la **luce**, cioè la sua :

PERCEZIONE



La **VISIONE** è quindi legata a diverse componenti:

➤ Fisiche:

la luce

➤ Fisiologiche:

la percezione biofisica dell’occhio dell’osservatore

➤ Psicologiche:

l’interpretazione fatta dall’osservatore dello stimolo ricevuto



PSICOFISICA



$$Q_{\lambda}(\lambda)$$

Energia monocromatica: energia di una radiazione e.m. a una specifica lunghezza d'onda, unità di misura: Joule/micrometro [J/μm]

$$\Phi_{\lambda}(\lambda) = \frac{dQ_{\lambda}}{dt}$$

Flusso radiante monocromatico: derivata nel tempo dell'energia a una lunghezza d'onda, unità di misura: [W/m = J/(s μm)]

$$\Phi = \int \Phi_{\lambda}(\lambda) d\lambda$$

Flusso totale
unità di misura: [W]

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Intensità radiante: derivata del flusso sull'angolo solido, unità di misura: watt/steradiante metro [W/(str μm)]



$$E_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{dA}$$

Potere emissivo monocromatico: Flusso radiante emesso da una superficie A per unità di superficie emettente, unità di misura: W/(m² μm)

$$G_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{dA}$$

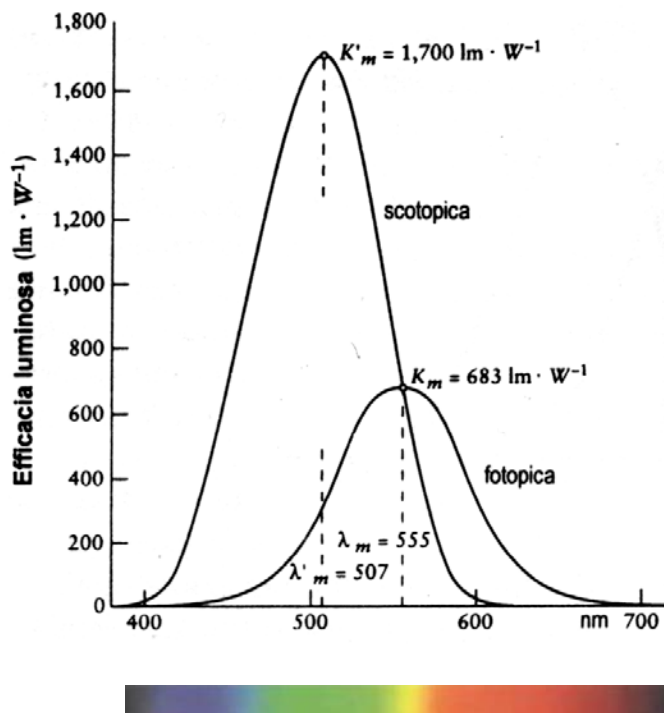
Irradianza monocromatica: flusso che giunge su una superficie A per unità di superficie ricevente, unità di misura: W/(m² μm)

$$R_{\lambda} = \frac{d^2\Phi_{\lambda}}{dA \cdot \cos \alpha d\Omega}$$

Radianza monocromatica: flusso monocromatico per unità di angolo solido e per unità di superficie a cui è riferito proiettata nella direzione individuata dall'angolo solido, misura: W/ (m² str μm)



Curve di risposta del sistema visivo



$$K(\lambda) = 683 V(\lambda)$$

Chiamate curve di **efficacia luminosa spettrale**

Normalizzando rispetto al massimo $K(\lambda)$ e $K'(\lambda)$ si ottengono le curve di **efficienza luminosa spettrale** $V(\lambda)$ e $V'(\lambda)$ che vengono impiegate nella teoria del tristimolo

Si noti lo spostamento verso il rosso della sensibilità fotopica (diurna), chiamato spostamento di **Purkinje**

La funzione $K(\lambda)$ mette in relazione la radiometria con la fotometria: dice in che modo l'energia radiante viene convertita in informazione visiva.



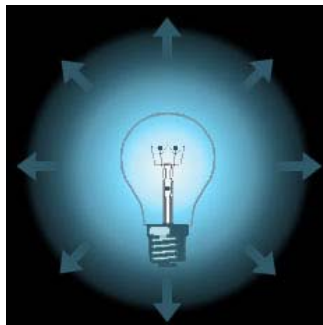
Le grandezze *fotometriche* principali sono:

1. **Flusso luminoso** – caratteristica propria delle sorgenti luminose;
2. **Intensità luminosa** – caratteristica propria delle sorgenti luminose;
3. **Illuminamento** – effetto prodotto dalle sorgenti luminose su una superficie;
4. **Luminanza e radianza** – caratteristica sia delle sorgenti illuminanti sia degli oggetti illuminati, che possono essere a loro volta considerati come sorgenti secondarie.

Flusso luminoso Il flusso luminoso rappresenta l'energia irradiata in ogni secondo dalla sorgente di luce, riferita alla sensibilità spettrale relativa dell'occhio umano.

Φ

Il simbolo del flusso luminoso è Φ e l'unità di misura è il lumen (lm).

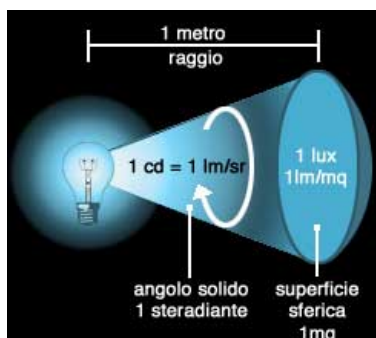


Il flusso luminoso emesso da una sorgente può essere misurato in laboratorio, mediante il fotometro integratore o sfera di Ulbricht.

Intensità luminosa Si definisce intensità luminosa I il rapporto tra il flusso luminoso infinitesimo emesso dalla sorgente in una data direzione e l'angolo solido elementare.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

L'unità di misura di questa grandezza è la candela (cd); è definita come l'intensità luminosa emessa, in una data direzione, da una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz ($\lambda = 555$ nm) e con intensità energetica in quella direzione di $1/683$ W/sr.

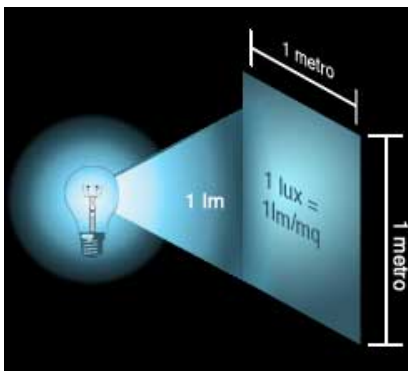


Illuminamento (*illuminanza*)

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie e l'area della superficie stessa: $E_{\text{medio}} = \Phi/A$.

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Se l'area ricevente è infinitesima



L'unità di misura è il lux (lx).
Un lux è quindi l'illuminamento prodotto dal flusso di un lumen distribuito in modo uniforme su di una superficie di un metro quadrato

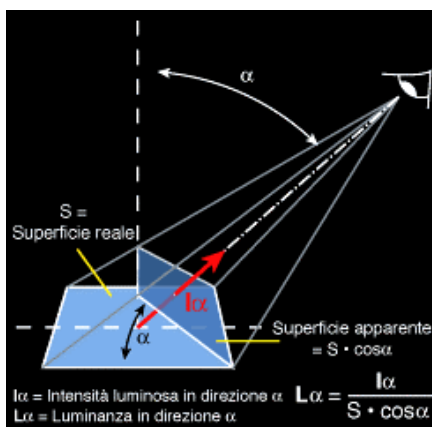
➤ Luminanza

Luminanza

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cdot \cos \alpha \, d\Omega}$$

$$= \frac{dI}{dA \cdot \cos \alpha}$$

La luminanza L in un punto di una superficie, in una certa direzione, è il rapporto tra l'intensità luminosa emessa in quella direzione e la superficie emittente proiettata su un piano perpendicolare alla direzione stessa.



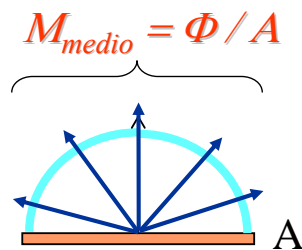
Il simbolo della luminanza è L , e l'unità di misura è la candela per metro quadrato (cd/m^2) che viene detto nit.



Eccitanza La eccitanza M di un punto di una superficie è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie attorno a quel punto e l'area dell'elemento stesso.

$$M = \frac{d\Phi}{dA}$$

L'unità di misura della radianza è il lux s.b. (lux su bianco).



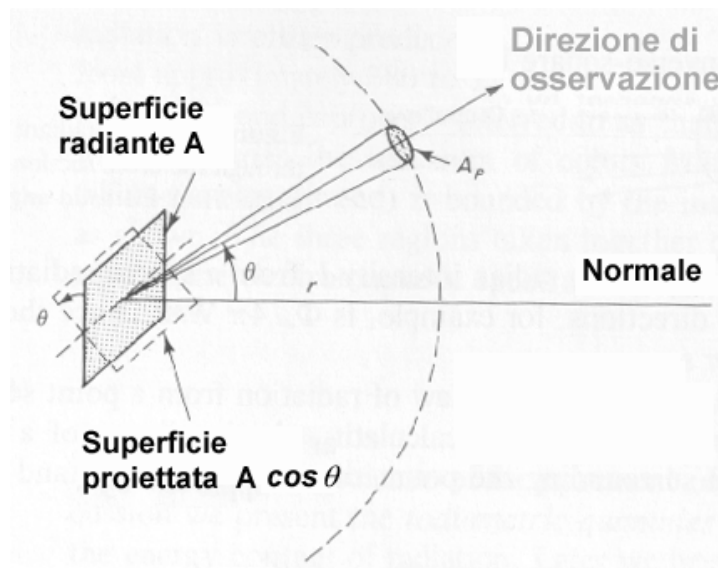
Se ρ è il coefficiente di riflessione della superficie: $M = \rho \cdot E$.

Se $\rho = 1$ e ciò avviene per superfici perfettamente riflettenti (bianche) si ha: $M = E$.



Grandezze fotometriche

Simbolo	Nome	Espressione	Unità di misura
Φ_λ	Flusso luminoso monocromatico	$V(\lambda) \cdot \Phi_{\lambda,e}(\lambda)$	lumen/ μm ($\text{lm}/\mu\text{m}$)
Φ	Flusso luminoso	$\int_{0.38}^{0.78} V(\lambda) \Phi_{\lambda,e}(\lambda) d\lambda$	lumen (lm)
E	Illuminanza (Illuminamento)	$d\Phi/dA$	lux (lm/m^2)
I	Intensità luminosa (solo sorg.puntiformi)	$d\Phi/d\Omega$	Candela (cd) (lm/sr)
L	Luminanza	$d^2\Phi/(d\Omega dA \cos\theta)$	nit (nt) (cd/m^2)
M	Eccitanza	$d\Phi/dA$	lux s.b. (lm/m^2)



Progetto Illuminotecnico

La preferenza dell'utente è generalmente rivolta alla disponibilità di luce naturale, in quanto qualitativamente gradevole e soggetta alle variazioni cicliche diurne e stagionali.

Dall'altra è spesso necessario prevedere dei livelli di illuminamento adeguati (spazialmente e temporalmente) ai compiti visivi che possono essere raggiunti solo con l'ausilio di sorgenti artificiali

Una lampada è una sorgente di calore, mentre una finestra svolge anche la funzione di elemento di filtro della radiazione solare.

Inoltre, le temperature superficiali che si possono avere sulla finestra possono causare di discomfort locale, dovuto ad asimmetrie radianti.



Il dimensionamento degli elementi trasparenti deve tener conto del:

- Il rapporto visivo con l'esterno
- L'illuminazione degli ambienti
- La ventilazione
- Gli scambi termici fra ambiente interno ed esterno.

Una pratica corretta quella di impedire l'ingresso della radiazione solare diretta negli ambienti.

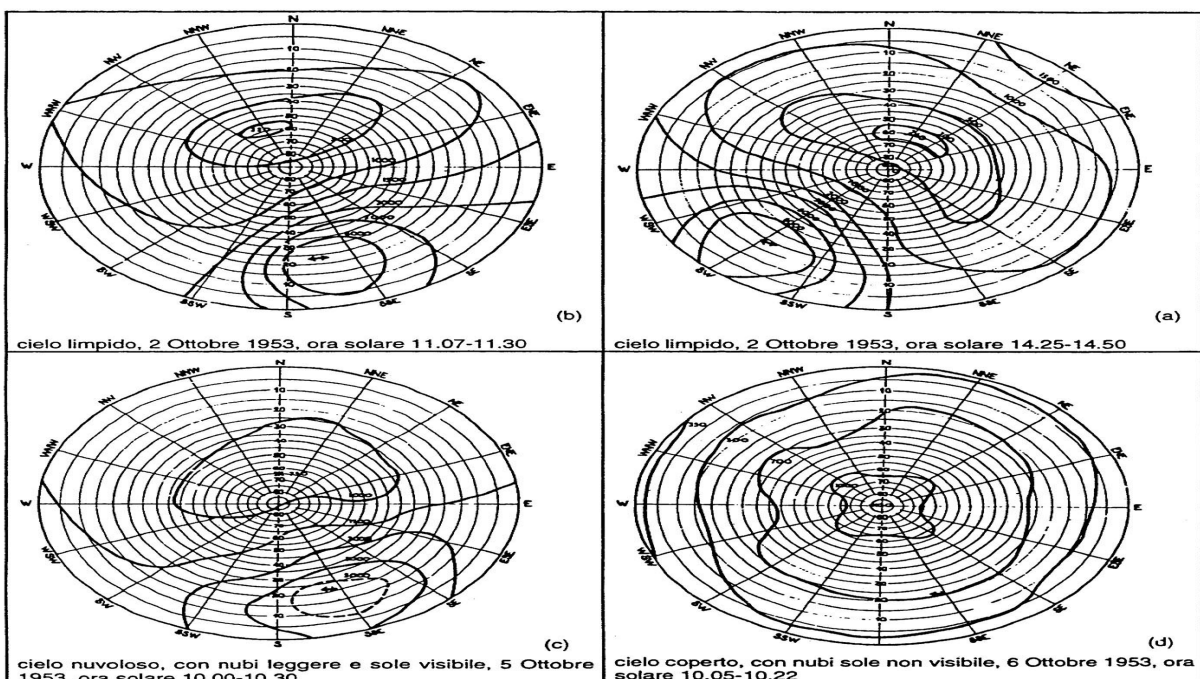
Essa può generare condizioni di discomfort legate al surriscaldamento degli ambienti nonché fenomeni di abbagliamento.

Nella progettazione della luce naturale la sorgente primaria di luce convenzionalmente considerata non è il sole ma il cielo, attraverso il quale viene emessa la radiazione solare diffusa.



Occorrerebbe la distribuzione di luminanze nel cielo punto per punto nell'intera calotta emisferica.

Si tratta però di una informazione molto difficile da definire in modo "statico" in quanto soggetta ad una estrema variabilità spaziale e temporale.

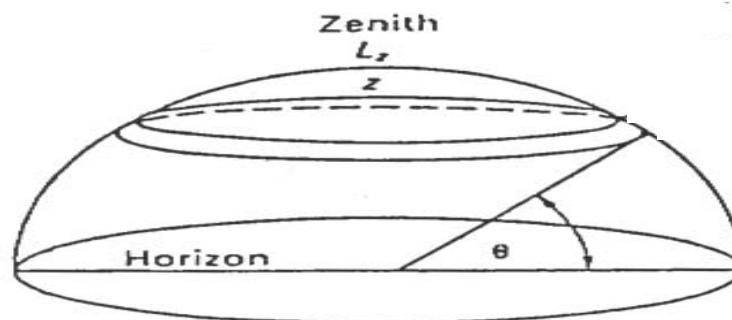




Si suole far riferimento a delle condizioni standard sintetizzate da modelli di “cieli di riferimento”.

Il modello di cielo di riferimento utilizzato più frequentemente è il cosiddetto cielo coperto **CIE- (standard overcast sky)**. Si tratta di un modello in cui la luminanza di un qualsiasi punto del cielo è rapportata a quella allo zenith dalla seguente equazione:

$$L_{\theta} = L_z \left[\frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \right]$$



La luminanza allo zenith è pari a tre volte quella all’orizzonte, mentre il valore medio si ha per un altezza solare di 42°.



La stima degli illuminamenti negli ambienti interni, nel caso dell’illuminazione naturale, è ottenuto calcolando le quantità di illuminamento interne in termini relativi rispetto a quelle esterne.

Fattore di luce diurna FLD (Daylight Factor, DF):

$$FLD = \frac{E_{in}}{E_{out}} [\%]$$

dove:

E_{in} illuminamento dovuto alla sola luce naturale nel punto considerato

E_{out} illuminamento esterno su un piano orizzontale posto sotto un cielo uniformemente coperto e senza alcuna ostruzione ma schermato dal sole



Fattore di luce diurna

Rappresenta il rapporto tra l'illuminazione interna e quella che si manifesta nello stesso istante all'esterno.

Fattore medio di luce diurna

Il fattore medio di luce diurna è un parametro la cui determinazione consente di valutare la capacità delle aperture trasparenti, delle geometrie e dei rivestimenti dei contorni degli spazi chiusi dell'alloggio di garantire all'interno degli ambienti condizioni di *illuminazione naturale* sufficienti alle esigenze dell'abitare.



Tale parametro risulta funzione di una serie di elementi:

- numero di aperture vetrate e loro superficie;
- trasparenza e posizione del vetro o simile;
- estensione delle superfici interne dall'ambiente;
- efficiente di riflessione dei vari elementi all'interno del locale (pareti, pavimenti, soffitti, arredi, ecc.) ed all'esterno;
- presenza o meno di ostruzioni di qualsiasi genere, esterne od interne, che limitino la vista della volta celeste;
- stato di manutenzione delle superfici vetrate e delle superfici interne;
- caratteristiche geometriche-dimensionali e morfologiche delle aperture vetrate e influenza di costruzioni vicine.



Calcolo mediante metodo “*flusso totale*”

Il metodo è applicabile limitatamente al caso di spazi di forma regolare con profondità, misurata perpendicolarmente al piano della parete finestrata, minore o uguale a 2,5 volte l'altezza dal pavimento del punto più alto della superficie trasparente.

Fornisce un valore medio di FLD per l'ambiente che risulta indipendente dalla forma del locale.

Nel caso di spazi con due o più finestre si calcola il valore di fattore medio di luce diurna medio dell'ambiente (FLD_m) come somma dei contributi dovuti alle singole finestre.



Calcolo mediante metodo “*flusso totale*”

$$FLD_m = \frac{\sum_{j=1}^n \tau_j A_j \varepsilon_j \psi_j}{S(1 - \rho_m)}$$

- A_j Area della sup. trasparente della finestra [m²]
- τ_j Fattore trasparenza luminosa del vetro
- ε_j Fattore finestra inteso come rapporto tra illuminamento esterno sulla superficie verticale della finestra e l'illuminamento esterno su un piano orizzontale;
- ψ_j Coefficiente che tiene conto dell'arretramento del piano della finestra rispetto al filo esterno della facciata
- ρ_m Coefficiente medio di riflessione luminosa delle superfici interne, comprese le finestre
- S Area delle superfici interne che delimitano lo spazio [m²]



1. si definisce, in funzione del tipo di vetro, il coefficiente di trasparenza, τ_j ;
2. si misura l'area della superficie vetrata di ciascuna finestra che si affaccia sull'ambiente, A_j ;
3. si misura l'area delle superfici interne che delimitano l'ambiente, S ;
4. per ciascuna finestra del locale si valuta il rapporto: $(H-h)/L_a$
5. si riporta, sull'asse delle ascisse del grafico per ottenere il fattore finestra ε
6. calcolati i rapporti h_f/P e l_f/P e si trova, sulla curva relativa a l_f/P , il punto da cui si traccia la retta orizzontale che individua il valore del coefficiente di riduzione ψ_j ;
7. si applica la relazione iniziale e si ottiene il valore del fattore medio di luce diurna.



τ = **Fattore trasmissione luminosa del vetro**

se non noto si può stimare come $\tau = 0.85 G$

G = **Fattore correzione del vetro**

Tipo di Vetro	Fattore di correzione
Vetro chiaro singolo	1
Vetro selettivo singolo	0,75
Vetro retinato trasparente	0,95
Vetro temprato trasparente	0,90
Vetro camera trasparente	0,70-0,85
Vetro camera selettivo	0,4

S = **Area delle superfici interne [m²]**

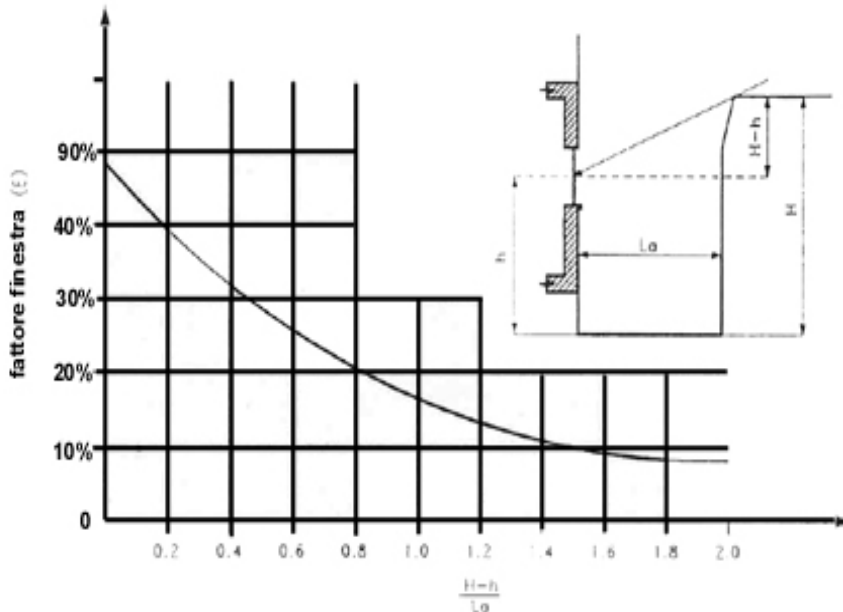
Area delle superfici interne (pavimento, soffitto e pareti comprese le finestre) che delimitano lo spazio

ρ_m = **Coefficiente di riflessione interno**

Media pesata dei coefficienti di riflessione delle singole superfici interne dello spazio



ε = Fattore finestra (diagramma)



l_f = larghezza della finestra;

h_f = altezza della finestra;

P = profondità di arretramento della finestra rispetto al filo esterno del vano;

H = altezza del fabbricato contrapposto a quello nel quale è situato l'ambiente considerato;

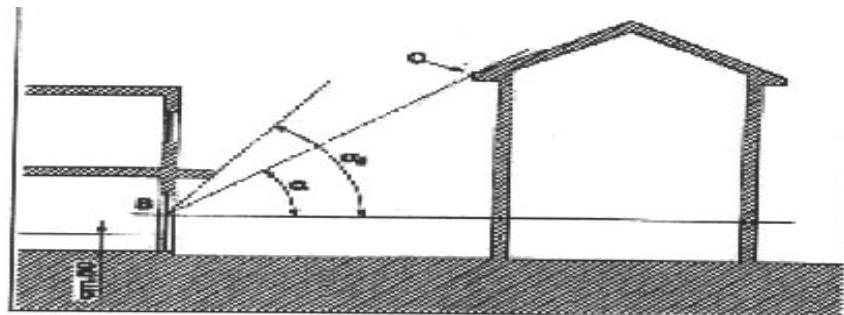
h = altezza della finestra dal piano stradale



ε = Fattore finestra (calcolo diretto)

Esso è calcolato in funzione della posizione della finestra e di eventuali ostruzioni presenti:

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

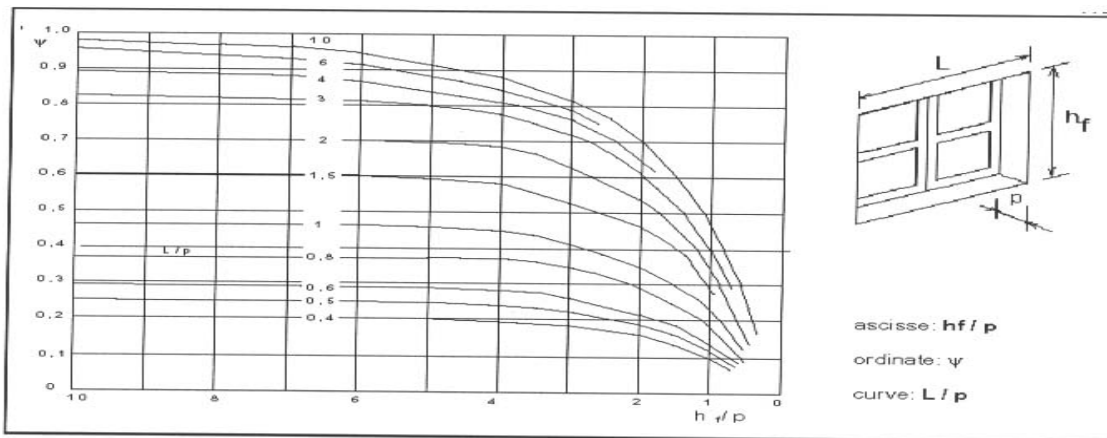


α_2 = angolo fra la base della finestra e l'estremo dell'eventuale oggetto (90° in caso di assenza di oggetto)

α = angolo di ostruzione verticale degli ostacoli esterni (0° in caso di assenza di ostruzione)



ψ = Coefficiente di arretramento del piano della finestra rispetto alla facciata



L: Lunghezza finestra

P: arretramento finestra

h_f : altezza finestra



Non è possibile considerare alcuni elementi architettonici particolari come lucernari inclinati "shed".

Si può applicare il metodo del flusso totale utilizzando dei **fattori di utilizzazione precalcolati** per alcune situazioni di più frequente applicazione

$$FLD = u' F_r M G_v * \frac{A_{\text{apertura}}}{A_{\text{pavimento}}}$$

u' fattore di utilizzazione

F_r $A_{\text{vetro}} / A_{\text{apertura}}$

M fattore di deprezzamento

G_v fattore di correzione per vetri verticali



M= fattore di deprezzamento

Natura dell'insediamento	Posizione della finestra	Utilizzazione dell'ambiente	
		Ambiente non industriale o industriale non sporco	Ambiente Industriale
Zona non industriale o zona industriale non sporca	Verticale	0.9	0.8
	Inclinata	0.8	0.7
	Orizzontale	0.7	0.6
Zona industriale	Verticale	0.8	0.7
	Inclinata	0.7	0.6
	Orizzontale	0.6	0.5

G_v = fattore di correzione per vetri verticali

Tipo di vetratura	Lucernari con vetri verticali	Tutti gli altri tipi
Vetro ordinario 6 mm	1,00 ÷ 1,05	1,13
Vetro ordinario retinato	1 ÷ 1,05	1,10
Vetro temperato retinato	0,90 ÷ 1,05	1,00
Vetro temperato	0,95 ÷ 1,00	1,00
Vetro atermico 6 mm	0,55 ÷ 0,60	0,60
Vetro doppio 6/12/6 mm	0,85	0,95
Plastica acrilica opalina diffondente 3 mm	0,65 ÷ 0,90	0,65 ÷ 0,90
Fogli di resina ondulata rinforzata con fibra di vetro:		
• poco diffondenti	0,90	0,90
• mediamente diffondenti	0,75 ÷ 0,90	0,75 ÷ 0,90
• molto diffondenti	0,65 ÷ 0,80	0,65 ÷ 0,80



u' è funzione:

- dell'indice del locale *i*, definito come:

$$i = \frac{ab}{(a+b)h}$$

- *a* e *b* dimensioni in pianta del locale
- *h* è l'altezza utile
- coefficiente di riflessione del soffitto
- coefficiente di riflessione delle pareti



C o e f f i c i e n t i d i r i f l e s s i o n e d e l l e s u p e r f i c i										
S o f f i t t o	0,7			0,5			0,3			
P a r e t i	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	
F a t t o r e d i U t i l i z z a z i o n e										
S h e d t r i a n g o l a r i	0,6	0,34	0,30	0,27	0,34	0,30	0,27	0,30	0,27	0,27
	0,8	0,40	0,39	0,36	0,40	0,39	0,36	0,39	0,36	0,35
	1,0	0,45	0,43	0,41	0,44	0,42	0,41	0,42	0,41	0,38
	1,5	0,52	0,49	0,47	0,51	0,49	0,47	0,49	0,46	0,46
	2	0,57	0,55	0,53	0,56	0,53	0,52	0,53	0,52	0,51
	3	0,62	0,60	0,59	0,62	0,59	0,58	0,59	0,58	0,56
	5	0,68	0,65	0,65	0,66	0,65	0,63	0,63	0,62	0,62
	I n f	0,76	0,76	0,76	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,71
D e n t e d i s e g a (s u p , v e r t i c a l e)	0,6	0,07	0,06	0,04	0,07	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03
	0,8	0,11	0,08	0,07	0,10	0,08	0,06	0,08	0,06	0,05
	1,0	0,04	0,11	0,10	0,13	0,10	0,09	0,10	0,08	0,07
	1,5	0,17	0,15	0,13	0,16	0,14	0,12	0,13	0,12	0,10
	2	0,19	0,17	0,16	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,12
	3	0,22	0,21	0,19	0,21	0,19	0,18	0,18	0,17	0,15
	5	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,18
	I n f	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,27	0,27	0,27
D e n t e d i s e g a (s u p , i n c l i n a t a)	0,6	0,19	0,16	0,15	0,19	0,16	0,14	0,16	0,14	0,14
	0,8	0,25	0,21	0,20	0,25	0,21	0,20	0,21	0,20	0,18
	1,0	0,30	0,26	0,25	0,29	0,26	0,24	0,25	0,24	0,21
	1,5	0,34	0,31	0,30	0,32	0,31	0,29	0,30	0,27	0,26
	2	0,36	0,35	0,32	0,36	0,34	0,32	0,34	0,32	0,29
	3	0,40	0,39	0,38	0,40	0,36	0,36	0,36	0,35	0,32
	5	0,44	0,42	0,41	0,42	0,41	0,40	0,40	0,39	0,36
	I n f	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,45	0,45	0,42
C h i o s t r i n o (s u p e r f , t r a s p a r e n t e v e r t i c a l e)	0,6	0,07	0,05	0,4	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03
	0,8	0,09	0,07	0,06	0,09	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05
	1,0	0,12	0,10	0,08	0,11	0,09	0,08	0,09	0,08	0,07
	1,5	0,15	0,13	0,12	0,15	0,13	0,12	0,13	0,11	0,11
	2	0,18	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,13	0,13
	3	0,20	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16
	5	0,22	0,21	0,20	0,21	0,20	0,19	0,20	0,19	0,18
I n f	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	

Milano 20 - 10- 2010 - Prof. Livio Mazzarella -

POLITECNICO DI MILANO



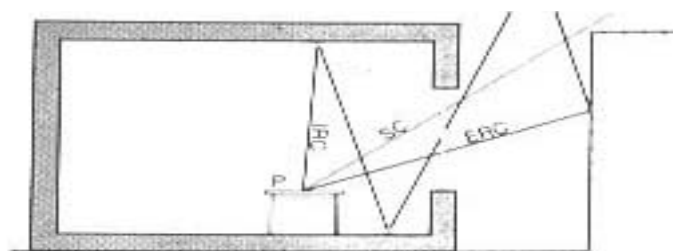
Calcolo mediante metodo "split flux"

La luce naturale può raggiungere un punto posto in un ambiente chiuso in tre distinti modi dopo avere attraversato una superficie vetrata:

- in modo diretto dalla sorgente, cioè dalla porzione di cielo visibile (SC=sky component)
- dopo che viene riflessa dalle superfici esterne (ERC=externally reflected component),
- dopo la riflessione sulle superfici interne dell'ambiente (IRC= internally reflected component)

La somma di queste tre componenti (tutte espresse in % rispetto all'illuminamento esterno) è uguale al FLD.

$$FLD = SC + ERC + IRC$$





Una volta calcolato il FLD occorre tener conto di tutta una serie di fattori correttivi:

$$FLD_i = G \cdot M \cdot F_r \cdot [SC + ERC + IRC]$$

- M Grado di manutenzione delle finestre
- G Fattore correzione per tipo di finestra
- F_r Rapporto fra area trasparente della finestra/Area totale

Per avere un quadro significativo dell'illuminamento naturale in un ambiente occorre tracciare un reticolo che individui i punti più significativi per i quali calcolare il FLD e disegnare quindi in seguito delle linee a pari FLD.



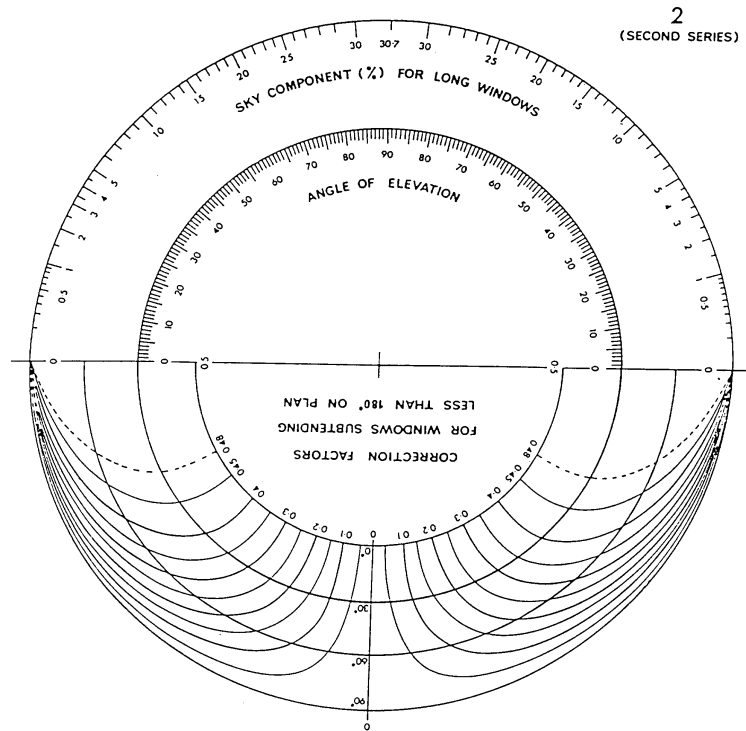
Calcolo della componente cielo SC con il metodo grafico "BRE" (British Research Establishment)

La componente cielo rappresenta generalmente la più significativa fra le tre componenti da calcolare. Essa è funzione:

- della superficie di cielo visibile
- dal punto considerato
- dalla posizione angolare di tale porzione (infatti la luminanza del cielo è variabile con l'altezza, ed è tanto maggiore quanto più ci si avvicina allo zenith).

Il metodo grafico prevede l'utilizzo di 10 diversi grafici al variare del tipo di finestra e del modello di cielo adottato.

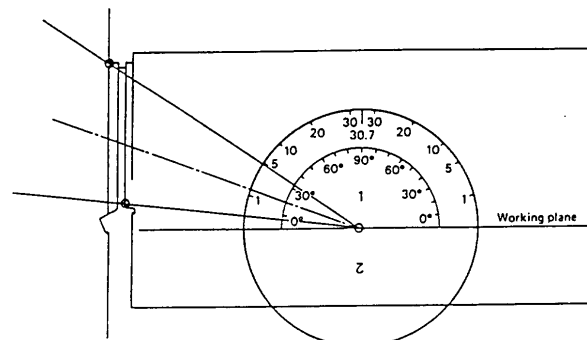
	Cielo a luminanza uniforme (n° del nomogramma.)	Cielo CIE overcast (n°. del nomogramma)
Finestre verticali	1	2
Finestre orizzontali	3	4
Finestre inclinate di 30°	5	6
Finestre inclinate di 60°	7	8
Aperture non vetrate	9	10



Metodo BRE

Esso è suddiviso in due semi circonferenze.

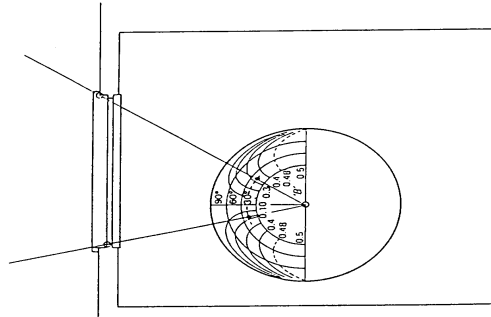
La prima consente di ottenere la componente cielo per una finestra di larghezza infinita ma con limiti orizzontali inferiore e superiore uguali a quelli della finestra.



Sulla parte esterna del cerchio si leggono i due valori di fattore finestra F_1 e F_2 . Il valore corrispondente al bordo inferiore deve essere sottratto a quello relativo al bordo superiore per ottenere la componente cielo per la finestra considerata di lunghezza indefinita.



La seconda riporta invece i fattori di correzione da utilizzare per considerare i limiti verticali della finestra stessa.



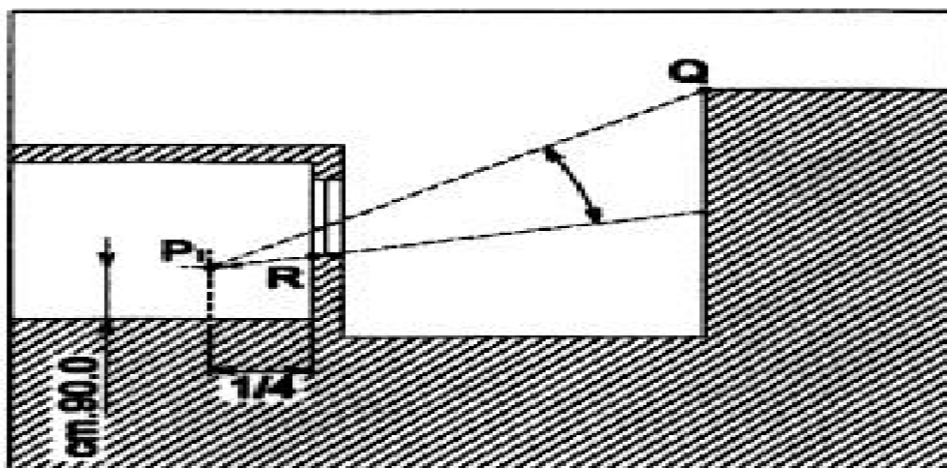
Il fattore di correzione complessivo C_{tot} è uguale:

- alla somma di C_1 e C_2 se questi sono letti ciascuno su lato diverso rispetto all'asse mediano
- alla differenza fra C_1 e C_2 se questo sono stati letti sullo stesso lato



Calcolo della componente riflessa esterna (ERC)

Esso consiste nel calcolare, con il metodo prima descritto, il valore della componente cielo con riferimento alle sole superfici ostruenti





Calcolo della componente riflessa esterna (ERC)

Successivamente si moltiplica il valore ottenuto per un coefficiente che rappresenta la media pesata della riflessione luminosa delle superfici esterne ostruenti.

Materiale e natura della superficie	Coefficiente di riflessione luminosa
Intonaco comune bianco recente o carta	0,8
Intonaco comune o carta di colore molto chiaro (avorio, giallo, grigio)	0,7
Intonaco comune o carta di colore chiaro (avorio, rosa chiaro)	0,6 ÷ 0,5
Intonaco comune o carta di colore medio (verde chiaro, azzurro chiaro)	0,5 ÷ 0,3
Intonaco comune o carta di colore scuro (verde oliva, rosso)	0,3 ÷ 0,1
Mattone chiaro	0,4
Mattone scuro, cemento grezzo, legno scuro, pavimenti di tinta scura	0,2
Pavimenti di tinta chiara	0,6 ÷ 0,4
Alluminio	0,8 ÷ 0,9



Calcolo della componente riflessa interna (IRC)

La componente riflessa interna viene calcolata considerando una equazione empirica che contiene come variabili le caratteristiche geometriche e fisiche delle superfici opache e del vetro.

$$IRC = \tau A_f \frac{C \rho_{fw} + 5 \rho_{cw}}{A_{tot} (1 - \rho_m)}$$

- τ trasmittanza ottica del vetro chiaro (pari a 0,85)
- A_f area della finestra (m²),
- A_{tot} area totale delle superfici riflettenti + finestra
- ρ_m coefficiente di riflessione medio dell'area A,
- ρ_{fw} coefficiente di riflessione medio del pavimento e delle tre pareti verticali (esclusa quella finestrata) al di sotto del piano medio della finestra
- ρ_{cw} coefficiente di riflessione medio del soffitto e delle tre pareti verticali (esclusa quella finestrata) al di sopra del piano medio della finestra
- C coefficiente che dipende dalle ostruzioni interne

Angolo di ostruzione [°]	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Coefficiente C	3,9	3,5	3,1	2,5	2,0	1,4	1,0	7	5



Calcolo mediante metodo “*flusso luminoso totale*” Φ
che devono erogare gli apparati luminosi per ottenere E

$$\Phi = \frac{E \cdot A}{C \cdot M} \quad [\text{lm}]$$

E illuminamento desiderato in lux;

A superficie del locale in m^2 ;

C coefficiente di utilizzazione;

M fattore di manutenzione da considerare
in base al grado di impolveramento del locale da illuminare.

<i>tipo di ambiente</i>	M
Pulito	0,8
Medio	0,7
Sporco	0,6



Per determinare il valore del coefficiente di utilizzazione, occorre definire il tipo di lampada e definire l'indice del locale K che varia a seconda del tipo di illuminazione scelta.

Luce diretta
$$K = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)}$$

Luce indiretta
$$K = \frac{3(a \cdot b)}{2H \cdot (a + b)}$$

a = lunghezza del locale da illuminare;

b = larghezza del locale da illuminare;

h = altezza del punto luce dal piano di lavoro;

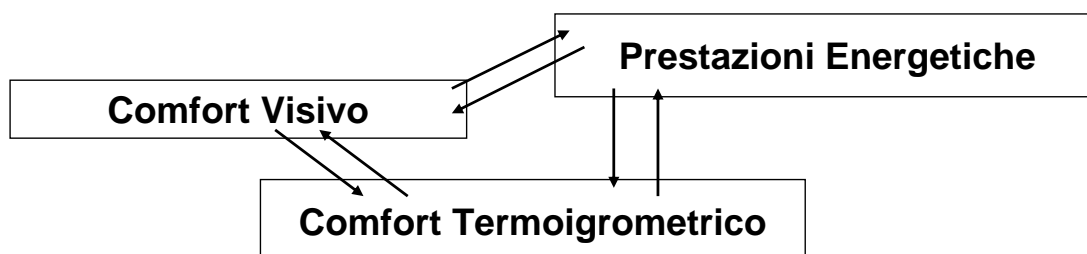
H = altezza del soffitto dal piano di lavoro.



Ambienti	Illuminazione [Ix]
Passaggi, corridoi, scale	100
Lavori grossolani	200
Lavori media finezza	300
Lavori fini	500
Lavori finissimi	1000



- Minimizzare i disagi dovuti a livelli di illuminamento insufficienti o eccessivi
- Garantire una corretta distribuzione della luce



- Aspetti strettamente correlati
- La progettazione deve ottimizzare le risorse disponibili e minimizzare l'impiego di energia esogena sia per l'illuminazione che per la climatizzazione.



Requisiti per il comfort visivo:

- un livello adeguato di **illuminamento**
- una sufficiente uniformità di illuminamento
- una buona distribuzione delle **luminanze**
- assenza di abbagliamento
- una corretta direzionalità della luce
- una buona resa cromatica delle sorgenti e degli ambienti

Grandezze principali

Illuminamento



E' necessario definire per loro dei valori assoluti di riferimento, ed anche dei criteri e degli indici di distribuzione e di uniformità.

Luminanza



Resa Cromatica



Buona resa cromatica degli apparecchi di illuminazione



Calcolo dei valori di illuminamento in diversi punti della stanza:

Si scelgono alcuni “piani di lavoro” e si calcolano i valori medi di illuminamento

Si sceglie un piano di riferimento e si calcolano i valori di illuminamento per vari punti del piano e si costruiscono delle “curve isolux” che rappresentano i luoghi dei punti di eguale illuminamento.

L'illuminamento viene misurato utilizzando uno strumento chiamato *luxmetro*.



L'illuminamento influenza la capacità di un individuo di percepire piccoli dettagli ad una data distanza (*acuità visiva*) ma anche la *velocità di percezione*, cioè il tempo richiesto per compiere un compito visivo .

Normativa Italiana in merito al comfort visivo:

- UNI 10380/A1
- UNI 10840

Prevedono dei valori di soglia per l'illuminamento e per l'uniformità di illuminamento sui piani di lavoro e nei locali in relazione ai compiti visivi previsti

Luce Naturale

Luce Artificiale



Luce Naturale

L'illuminamento si calcola mediante un indicatore:

“Fattore di Luce Diurna (FLD)”

Rapporto, espresso in percentuale, fra l'illuminamento interno (dovuto alle sole sorgenti naturali) e quello esterno misurato su un piano orizzontale che vede l'intera volta celeste ma che è schermato alla radiazione diretta del sole.

$$FLD = \frac{E_{in}}{E_{out}} [\%]$$

Il calcolo del FLD richiede la conoscenza della geometria dell'ambiente (comprese le aperture trasparenti) e dell'intorno urbano (edifici, ostacoli di altra natura).



Fattori di Luce Diurna raccomandati per diversi ambienti e compiti visivi

Tipo di edificio	Ambiente	FLD
Residenza e alberghi	Soggiorno	1% fino ad una profondità di almeno metà ambiente
	Camera da letto	0,5% fino ad una profondità di almeno metà ambiente
	Cucina	2% fino ad una profondità di almeno metà ambiente
Terziario	Uffici	2%
	Uffici con lavoro di dattilografia	4%
Scuole, Università	Aule	2%
	Laboratori	4%
	Uffici	1%
Ospedali	Accettazione, sale d'attesa	1%
	Ambulatorio	3%
Edifici Sportivi	Campi coperti, piscine	2%
	Bordo piscina	1%
Biblioteche	Sala lettura	1%
Musei	Sale espositive	1%



UNI 10840 – Locali Scolastici: criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale

Contiene delle raccomandazioni specifiche sui valori medi, minimi e massimi dei fattori di luce diurna da garantire in *ambienti scolastici*.

In particolare i valori medi variano fra l'1% (nelle zone di servizio) al 5% (aule giochi e nidi).

Per garantire una adeguata uniformità di illuminazione, il rapporto fra fattori di luce diurna minimo e massimo deve essere superiore a 0.16.

Altri limiti, relativi a locali adibiti ad usi diversi, sono sempre più frequentemente contenuti nei regolamenti edilizi comunali



Importante per il comfort visivo è la “mappatura” delle *luminanze* all'interno di un ambiente

Luminanza “L”

La **luminanza** in un punto di una superficie in una certa direzione, è il rapporto fra l'intensità luminosa “I” emessa in quella direzione e l'area della superficie emittente apparente.

Unità di misura è [cd/m²]

La distribuzione delle luminanze nello spazio può essere descritta in relazione alla posizione di un osservatore e ad una direzione di osservazione.

La luminanza di un oggetto varia con la direzione di osservazione e dipende anche dalle proprietà riflettenti o assorbenti delle superfici (anch'esse direzionali).



Il comfort visivo è garantito da una adeguata gradazione dei *contrasti* nel campo visivo (inteso come campo centrale di visione, sfondo e ambiente).

Contrasto: “rapporto fra la differenza di luminanza dei due oggetti e la minore delle due luminanze”.

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\min}}$$

L'occhio percepisce la forma degli oggetti se all'interno del campo visivo esiste un adeguato contrasto luminoso fra due oggetti o fra oggetto e sfondo (differenza di luminanza di almeno l'1% in condizioni di illuminazione naturale e del 10% se l'illuminamento è scarso).



Un oggetto, per essere percepito correttamente, deve avere una luminanza variabile fra 2 e 3 volte quella dello sfondo e fra 5 e 10 volte quella dell'ambiente.

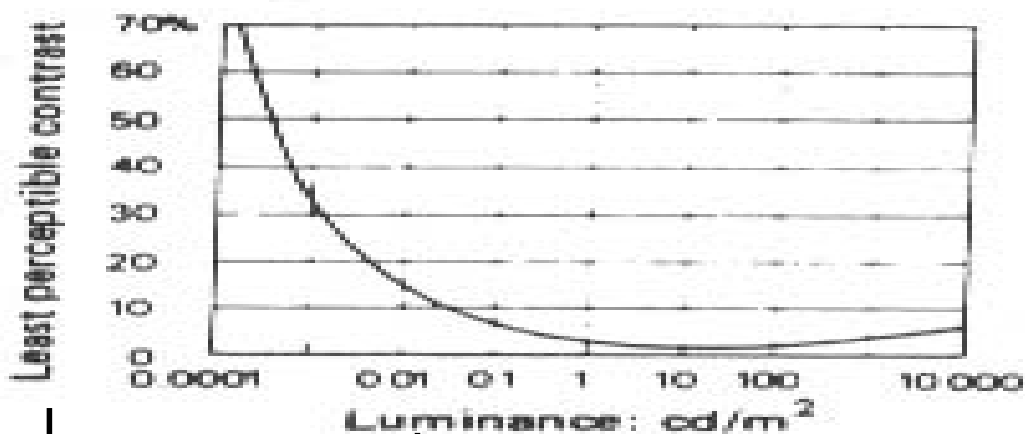
L'esperienza ha dimostrato che la percezione dell'oggetto non dipende solo dal contrasto ma anche da valore assoluto della luminanza dello sfondo.

Se la differenza fra le luminanze è piccola, l'osservatore non percepisce più l'oggetto distaccato dallo sfondo

Se si riduce eccessivamente la luminanza dello sfondo, a parità di contrasto, la visione risulterà difficoltosa per mancanza di illuminamento.



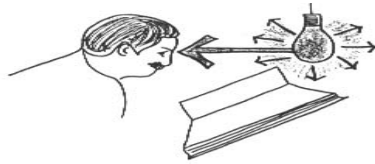
Relazione fra il contrasto di soglia e la luminanza dello sfondo allo scopo di percepire un oggetto campione mostrato per 1 secondo



Contrasto minimo percettibile



Se le differenze di luminanza all'interno del campo visivo diventano eccessive si verifica il fenomeno dell'**abbagliamento**, causando fastidio o diminuzione delle capacità visive.



Abbagliamento diretto

Presenza di superfici o oggetti (sorgenti luminose, vetrate, il sole) con luminanza molto elevata



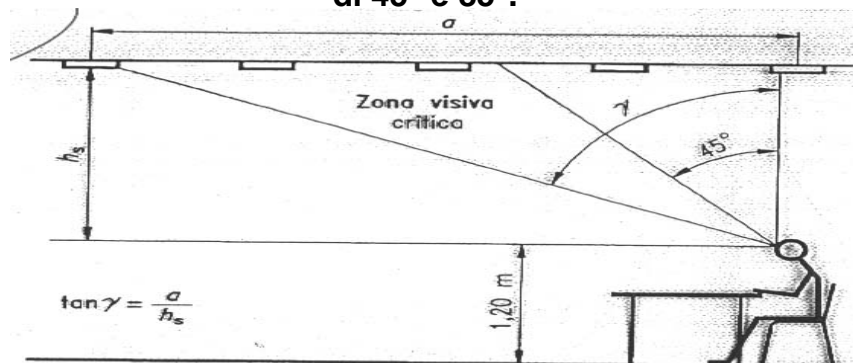
Abbagliamento riflesso

Riflessione di oggetti posti sul piano di lavoro della luce proveniente da altri corpi.



Per limitare l'abbagliamento di tipo diretto occorre verificare anche i valori assoluti di luminanza delle sorgenti luminose (artificiali o naturali).

Zona visiva critica: è quella compresa fra gli angoli verticali di 45° e 85°.



In tale intervallo, la luminanza media di ciascun apparecchio non deve essere maggiore di un valore limite stabilito in funzione del tipo di apparecchio e del compito visivo



I valori limite di luminanza per illuminazione artificiale sono indicati dalla norma **UNI 10380**.

Si fa distinzione fra cinque classi di qualità degli impianti:

classe A: adatti a compiti visivi molto difficoltosi

classe B compiti visivi che richiedono prestazioni visive elevate

classe C compiti visivi che richiedono prestazioni visive normali

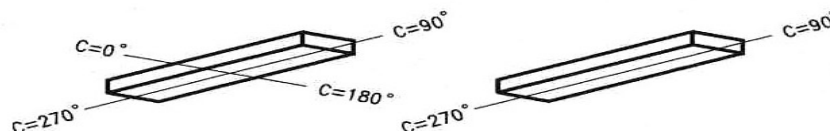
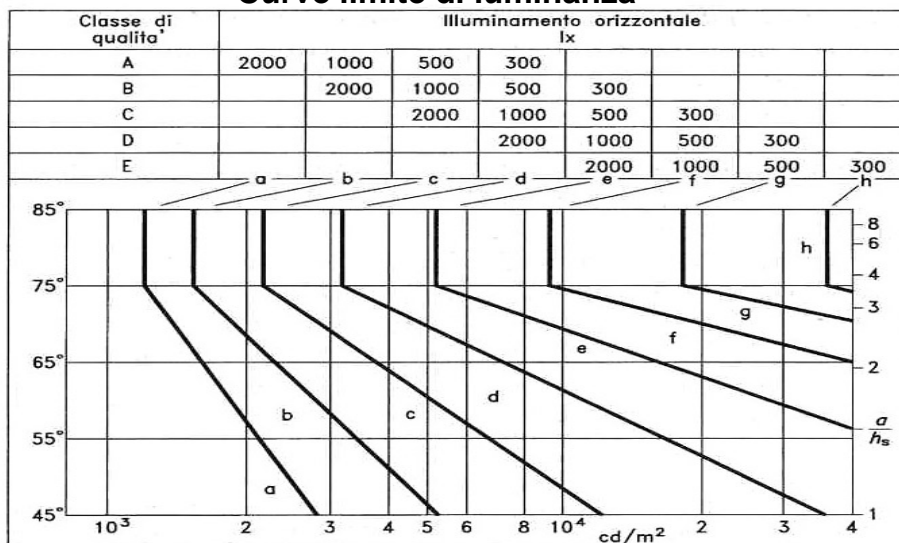
classe D compiti visivi che richiedono prestazioni visive modeste

classe E per interni in cui i compiti visivi non sono

particolarmente impegnativi e non sono esattamente dislocati



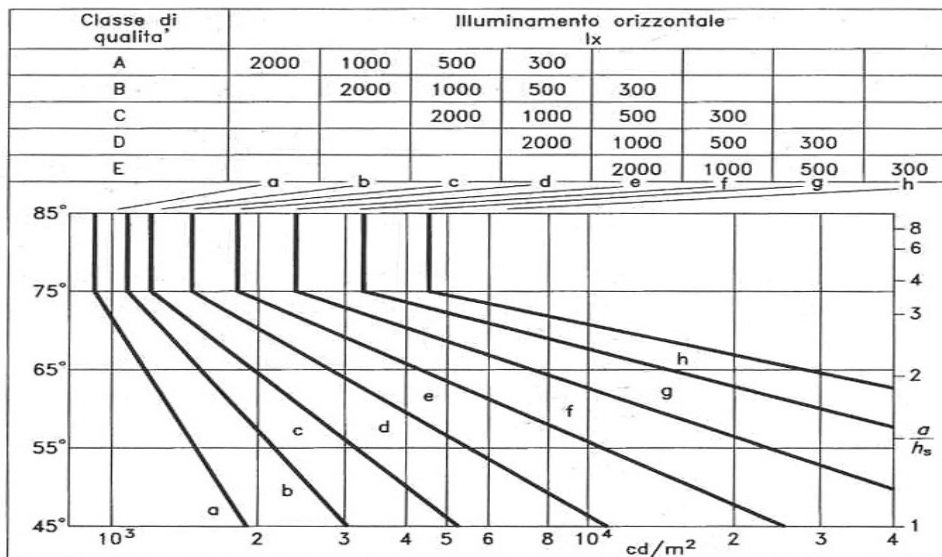
Curve limite di luminanza



Curva limite di luminanza per apparecchi luminosi senza bordi luminosi e per apparecchi con bordi luminosi disposti parallelamente alla direzione di osservazione



Curve limite di luminanza



Curve limite di luminanza per apparecchi con bordi laterali luminosi, o di quelli "lineari" con bordi laterali luminosi paralleli alla direzione di osservazione



Nel caso di abbagliamento diretto è possibile calcolare un indice di discomfort DGR (discomfort glare rate) che è influenzato dai seguenti fattori:

- luminanza del campo visivo
- posizione di ogni sorgente abbagliante
- dimensione angolare di ogni sorgente abbagliante
- luminanza di ogni sorgente abbagliante
- numero di sorgenti abbaglianti.

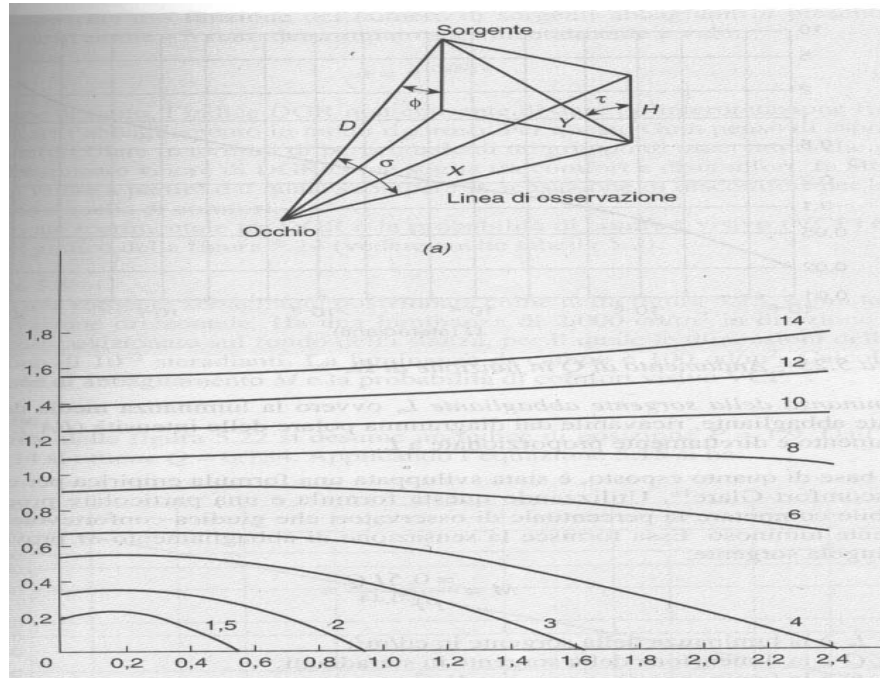
Per ciascuna sorgente viene calcolato l'abbagliamento da essa generato attraverso l'equazione :

$$M_i = 0.5 * \frac{LQ}{PF^{0.44}}$$

- L è la luminanza della sorgente [cd/m²]
- Q è la dimensione angolare della sorgente [steradiani]
- F la luminanza di campo [cd/m²]
- P è l'indice di posizione sorgente-osservatore



P è l'indice di posizione : **rappresenta un fattore di vista calcolato in funzione della posizione relativa osservatore sorgente, utilizzando dei diagrammi**



Nomogramma per calcolo dell'indice di posizione



Se nell'ambiente esistono più sorgenti di abbagliamento (n) è possibile sommare le sensazioni generate da ciascuna di esse:

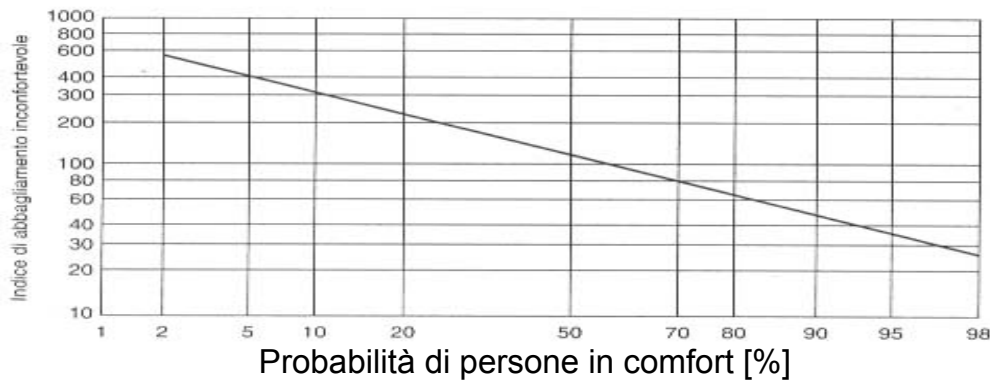
$$M_t = \sum_n M_i$$

Indice di discomfort complessivo DRG:

$$DGR = (Mt)^a \quad \text{con } a = n^{-0.0914}$$

- n : numero di sorgenti luminose

Tale indice è correlato ad una probabilità di discomfort che è stata sperimentata attraverso un numero di interviste ad osservatori sottoposti a medesime condizioni di prova.



La relazione è tale che se l'indice DGR è pari a 300 allora solo il 10% degli osservatori giudicherà la situazione confortevole. Se il DGR è pari a 45 allora tale percentuale sale al 90%. Le variazioni intermedie sono lineari.



Illuminazione naturale: (le finestre o porzioni di cielo o oggetti brillanti visti attraverso le finestre stesse), si utilizza un altro indice, il **Daylight Glare Index (DGI)**:

$$DGI = 10 \text{ Log } \sum_n G_i = 10 \text{ Log } \sum_n 0,478 \frac{L_s^{1,6} \Omega^{0,8}}{L_b + 0,07 \omega_s^{0,5} L_w}$$

G_i = costante di abbagliamento calcolata per ciascuna porzione di sorgente vista attraverso la finestra

L_s = luminanza della sorgente [cd/m^2]

Ω = angolo solido sotteso dalla sorgente

L_b = luminanza media delle superfici interne dell'ambiente che rientrano nel campo visivo dell'occupante [cd/m^2]

ω_s = angolo solido totale sotteso dalle finestre [sr]

L_w = luminanza media della finestra, ponderata rispetto le aree relative di cielo, ostruzione e terreno.

Valori del DGI compresi fra 21 e 24 sono indicativi di una condizione visiva accettabile.



L'abbagliamento da luce naturale è prevalentemente dovuto alla luminanza della sorgente e a quelle delle pareti interne prossime alla superficie vetrata.

Si mantiene pressoché costante, al variare delle dimensioni della finestra se questa ha una superficie maggiore del 2% della superficie del pavimento

Abbagliamento Riflesso

La luce, artificiale o naturale, riflessa da un oggetto presente nel campo visivo può causare la riduzione del contrasto e disturbi visivi dovuti all'abbagliamento riflesso.

Per limitare l'abbagliamento riflesso occorre:

- scegliere opportunamente la posizione degli apparecchi di illuminazione**
- selezionare materiali e finiture opportuni per gli oggetti e gli arredi (con un alto coefficiente di assorbimento)**