

5

Lezioni di illuminotecnica

luce e comfort



Illuminazione e comfort visivo

Per una buona visione negli ambienti interni è necessario realizzare un impianto di illuminazione che assicuri:

- il **livello di illuminazione** necessario ai compiti visivi, in termini di illuminamento e luminanza, e la sua uniformità;
- l'**equilibrio delle luminanze** nel campo visivo;
- la limitazione dell'**abbagliamento**;
- una sufficiente **resa del contrasto**.

Tutti questi aspetti possono essere valutati attraverso opportuni parametri fisico-tecnici, che concorrono alla progettazione e al dimensionamento dell'impianto in funzione delle attività che devono essere svolte nell'ambiente considerato.

Illuminamento e visione

Per una buona visione dei "compiti visivi" è necessario garantire un livello di illuminamento sufficiente. Nel caso di un locale in cui si svolgono attività lavorative si deve adeguare l'illuminamento alla prestazione visiva, mentre per attività ricreative si deve adeguare alla soddisfazione visiva.

In generale maggiore è la prestazione visiva richiesta (in termini di velocità e precisione di esecuzione) e maggiore è l'illuminamento necessario.

Si sono individuati dei **valori limite dell'illuminamento**, uno **minimo** ed uno **massimo** oltre i quali si considera che la visione sia resa comunque difficoltosa. La soglia minima assoluta è stata fissata in **20 lux**, la massima in **2.000 lux**.

Oltre il massimo grado di illuminamento la prestazione visiva aumenta, ma in misura non molto apprezzabile, mentre risulta probabile l'insorgenza di fenomeni collaterali che disturbano o alterano la visione, come l'abbagliamento diretto o riflesso, oppure la difficoltà a distinguere piccoli dettagli.

Illuminamento e visione

Tra questi valori di massimo e minimo sono state individuate diverse classi di illuminamento a seconda della prestazione visiva.

Per ciascuna classe è stata fissata una gamma di tre valori con rapporto 1,5. La scelta del valore appropriato entro ciascuna gamma dipende da un insieme di fattori relativi al singolo specifico compito visivo:

- dimensioni angolari dell'oggetto;
- contrasto di luminanza;
- acuità visiva dell'osservatore, ossia inverso della minima separazione angolare tra oggetti per percepirli come distinti;
- sensibilità al contrasto ossia minimo contrasto percepibile;
- tempo di visione, ossia tempo a disposizione per effettuare l'attività visiva.

Per evitare fenomeni di affaticamento è bene che negli ambienti il rapporto tra l'illuminamento minimo e quello medio non sia inferiore a 0,8.

Valori di illuminamento consigliati dalla CIE

Tipo di destinazione (attività)	illuminamento (lux)
Aree esterne industriali	20-30-50
Zone di passaggio e di sosta temporanea	50-100-150
Ambienti di lavoro occupati saltuariamente	100-150-200
Prestazioni visive semplici	200-300-500
Prestazioni visive medie	300-500-750
Prestazioni visive elevate per compiti difficili	1000-1500-2000
Prestazioni visive elevate per compiti di particolare qualità	2000

Equilibrio della luminanza

Generalmente solo una parte del campo visivo di un osservatore è occupata dal compito visivo. L'occhio si adatta ad una luminanza intermedia tra quella del compito visivo e quella degli altri elementi presenti all'interno del campo visivo.

E' importante allora che non si vengano a creare eccessivi contrasti luminosi nel campo visivo i quali possono far diminuire – o debilitare la capacità dell'occhio di distinguere gli oggetti dal loro sfondo e di percepire i dettagli.

La presenza di eccessivi contrasti di luminanze infatti risulta spesso affaticante per la vista degli occupanti, anche quando questi non avvertono coscientemente l'esistenza di alcun elemento di disturbo.

Si utilizza come parametro il massimo rapporto tra i valori della luminanza delle diverse superfici comprese nel campo visivo.

Valori limite dei rapporti tra le luminanze dello sfondo e del compito visivo secondo CIE (UNI 10380)

Rapporti limite di luminanza prescritti	Classe ambiente		
	X	Y	Z
Tra compito visivo e superfici più scure adiacenti (max.)	3/1	3/1	5/1
Tra compito visivo e superfici più chiare adiacenti (min.)	1/3	1/3	1/5
Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max.)	10/1	20/1	-
Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (max.)	1/10	1/20	-
Tra apparecchi di illuminazione e superfici adiacenti (finestre, lucernai, ecc.) (max.)	20/1	-	-
Ovunque entro il campo visivo (max.)	40/1	-	-

abbagliamento

La presenza di sorgenti luminose vicino alle più comuni direzioni di osservazione può dar luogo al fenomeno dell'abbagliamento.

L'entità del fenomeno può variare da una sensazione di fastidio (**discomfort glare**), che perdurando porta ad affaticare il soggetto fino ad una temporanea perdita di visibilità (**disability glare**).

Un'eccessiva luminosità del campo visivo può portare infine ad una percezione non nitida degli oggetti, si parla in questo caso di **veiling**.

Il parametro utilizzato da **CIE** per descrivere la possibilità di discomfort glare è:

$$CGI = 8 \log 2 \left[\frac{1 + \frac{E_d}{500}}{E_d + E_i} \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \Omega_i}{P_i^2} \right]$$

ABBAGLIAMENTO (glare) è usato per indicare una serie di situazioni visive ed è usualmente connesso a indesiderati effetti fisiologici e psicologici: riduzione delle prestazioni visive (acuità visuale, velocità di percezione, percezione del contrasto), affaticamento, discomfort, etc. Si è soliti distinguere:

ABBAGLIAMENTO DISABILITANTE (DISABILITY GLARE). Impedisce o limita la visione quindi l'attività connessa, ma non necessariamente provoca una sensazione sgradevole.

ABBAGLIAMENTO FASTIDIOSO (DISCOMFORT GLARE). Induce una sensazione di sgradevolezza, di affaticamento o di disturbo senza però necessariamente impedire la visione. si manifesta quando nell'ambiente, dunque nel campo visivo, sono presenti grandi diversità di Luminanza, dovute alla presenza di una sorgente luminosa nel campo visivo, o meglio nella sua zona centrale (abbagliamento diretto), o alla presenza di riflessioni su superfici lucide o chiare (abbagliamento riflesso).

EFFETTO VELO (VEILING GLARE). È un effetto collaterale all'abbagliamento riflesso, si tratta di un fenomeno di riflessione (anche diffusa) sul compito visivo che crea una riduzione generale del contrasto tale da abbassare notevolmente la visibilità pur senza provocare discomfort. Questo perché la luminanza dell'oggetto riflesso è maggiore di quella del compito visivo. Ad esempio l'immagine di una finestra luminosa sullo schermo di un computer rende illeggibile quello che è visualizzato su di esso. Può essere considerato una forma di disability glare.

Gli indici di valutazione dell'abbagliamento

connettono l'entità del disturbo ai valori delle grandezze fisiche in gioco. I più recenti sono:

il **DGI** ("**Daylight Glare Index**") per la valutazione del disturbo causato da estese superfici luminose, tipicamente quella del cielo visto attraverso ampie finestre (pubblicato all'inizio degli anni '80)

e l'**UGR** ("**Unified Glare Rating**") più indicato per la valutazione del disturbo da apparecchi illuminanti o comunque da sorgenti non estese. Quest'ultimo è stato sviluppato dalla CIE nel 1995 ed è stato recentemente proposto ('98) in ambito europeo, come indice di riferimento nel progetto di norma europea PR EN 12464 "Lighting application – lighting of work places". Si prospetta un suo recepimento anche in ambito nazionale.

LA CORNELL FORMULA

é stata sviluppata presso la Cornell University in collaborazione con il CIBSE, modificando la preesistente formula BRS per la valutazione dell'abbagliamento da sorgenti di dimensioni ridotte (di dimensioni inferiori a 0.01 st).

La formula fornisce il **DGI**.

Il metodo prevede come primo passo il calcolo della “Costante di Abbagliamento” o “Glare Coefficient” (**G**) relativa ad ogni parte (patch) di sorgente luminosa,

$$G = 0,48 \cdot \frac{L_s^{1.6} \cdot \Omega_s^{0.8}}{L_b + 0.07 \cdot \omega^{0.5} \cdot L_f}$$

dove il significato dei simboli é il seguente:

- **Ls** luminanza media della sorgente in esame [cd/m²], le parti contemplate (previste) come sorgenti sono: il cielo, le ostruzioni esterne ed il suolo visibili attraverso l'apertura,
- **Lf** luminanza media dell'intera superficie finestrata [cd/m²],
- **Lb** luminanza media del fondo [cd/m²],
- **ω** angolo solido sotteso dalla superficie apparente della finestra all'occhio dell'osservatore [st],
- **Ωs** angolo solido sotteso dalla superficie apparente della sorgente all'occhio dell'osservatore, corretto in funzione della sua posizione nel campo visivo mediante l'indice di posizione di **Guth (position index) (P)**, il cui valore va calcolato in ogni punto del campo visivo:
- **0.48** é un coefficiente numerico funzione delle unità di misura impiegate.

Una volta calcolato il valore di G per ogni sorgente luminosa, viene calcolato il DGI:

$$DGI = 10 \cdot \log_{10} \Sigma G$$

la sommatoria è estesa al numero di sorgenti luminose.

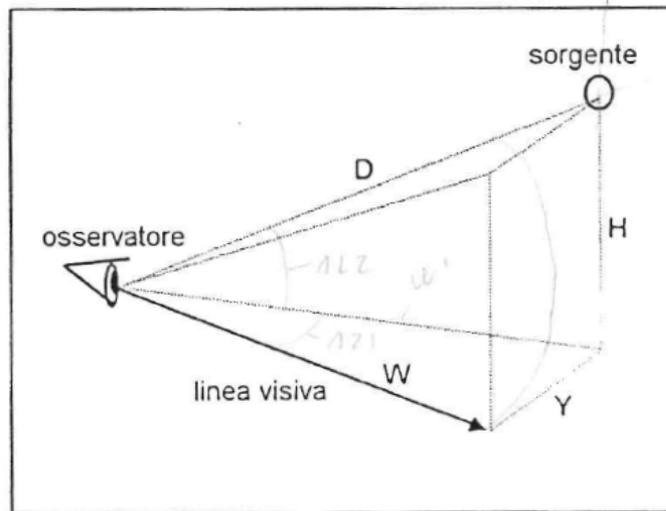
Guth's position index (P)

$$P^{-1} = \frac{d^2 E}{d^2 + 1.5d + 4.6} + 0.12 \cdot (1 - E)$$

dove: P = indice di posizione di ciascun apparecchio rispetto alla direzione di osservazione;

$$E = \exp(-0.18 s^2/d + 0.011 s^3/d)$$

d = W/H e s = Y/H (fig. 4).



$$\omega' = \omega / \cos(\alpha 2)$$

$$H/\omega' = \tan(\alpha 2)$$

$$H/\omega = \frac{\tan(\alpha 2)}{\cos(\alpha 2)}$$

Figura 4 - Determinazione delle variabili d e s in funzione della posizione dell'apparecchio.

L'**UGR** viene invece calcolato con la seguente formula,
Dove il significato dei simboli è analogo a quello
definito per il DGI.:

$$UGR = 8 \text{Log} \left(\frac{0.25 \cdot L_s^2 \omega}{L_f \cdot P^2} \right)$$

Cosa dicono le norme italiane (UNI 10380):

UNI 10380. Illuminazione di interni con luce artificiale.

Stabilisce tra l'altro, allo scopo di controllare i fenomeni di abbagliamento, dei limiti ai rapporti tra le luminanze nel campo visivo. Adotta il metodo delle curve limite di luminanza come strumento di valutazione (individuano il valore massimo ammesso per un apparecchio in funzione della sua posizione rispetto all'osservatore).

UNI 10840 (2000). Locali scolastici, criteri generali per l'illuminazione naturale ed artificiale. Definisce il fattore medio di luce diurna ed i suoi valori minimi, adotta il DGI come indice di valutazione dell'abbagliamento naturale.

Abbagliamento (glare)

Si può avere abbagliamento anche a causa della riflessione delle sorgenti luminose su superfici speculari posizionate lungo le principali direzioni di osservazione.

Per eliminare l'abbagliamento un primo passo è comunque quello di controllare che non vi siano sorgenti che emettano direttamente nel campo visivo ossia direttamente verso l'occhio.

L'effetto di abbagliamento dovuto alla luminosità di una certa sorgente decresce via via che la posizione di questa si allontana dalla zona centrale del campo visivo. Le luminosità elevate sono infatti tollerate quando si trovano a cadere in posizioni periferiche rispetto alla direzione dello sguardo (linea di visuale).

Per limitare l'abbagliamento indiretto provenienti da superfici riflettenti è bene che tale superfici riflettano in maniera diffusa.

Contrasto delle luminanze

La percezione dei dettagli di un compito visivo dipende essenzialmente dal modo in cui i dettagli risaltano sullo sfondo. In altre parole dipende dal **contrasto** tra luminanza del compito visivo e luminanza dello sfondo.

$$C = \frac{L_f - L_c}{L_f}$$

La valutazione del contrasto dei compiti visivi ricorrenti nelle attività di ufficio viene espressa utilizzando il **fattore di resa del contrasto CRF**, definito come il rapporto, a pari illuminamento medio, tra il contrasto, C , nelle condizioni analizzate e il contrasto che si avrebbe se il compito visivo fosse illuminato da una semisfera di luminanza costante con centro occupato dal compito visivo, C_r :

$$CRF = \frac{C}{C_r}$$

Contrasto delle luminanze

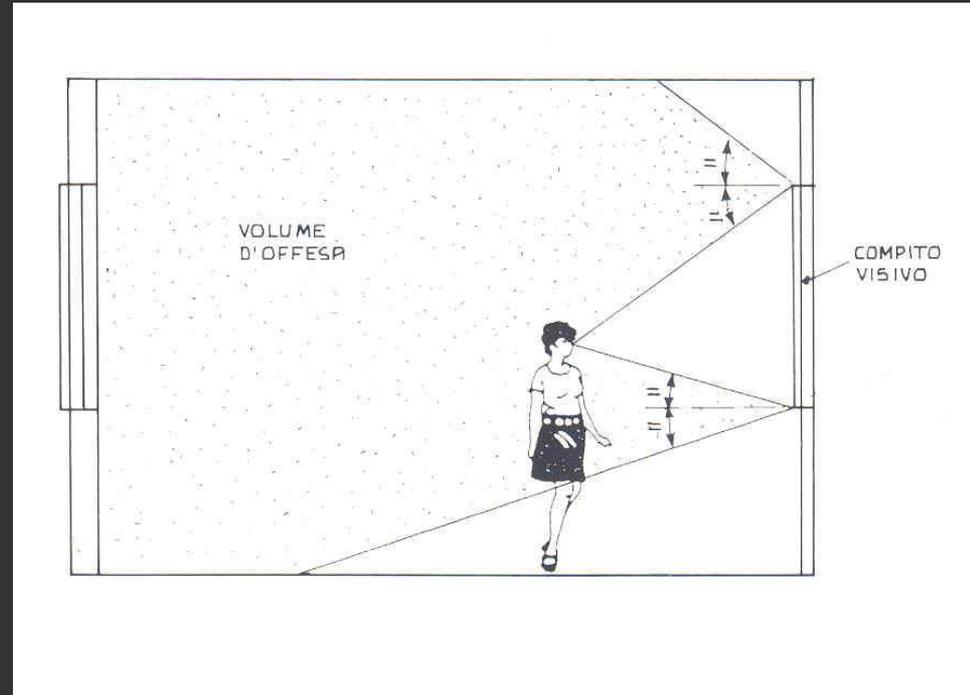
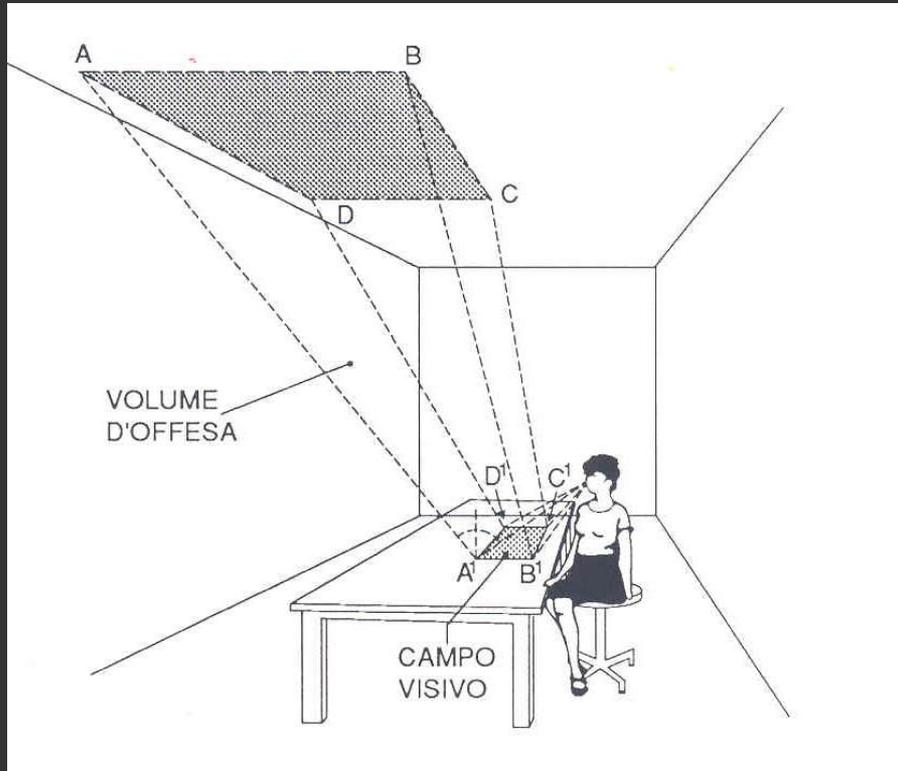
Il contrasto del campione in condizioni di riferimento viene preso di solito pari a 0,91. CRF non deve scendere mai sotto 0,7, meglio se maggiore 0,9.

Per ottenere elevati valori della resa del contrasto occorre che la zona dove si ha il compito visivo sia illuminata da sorgenti poste all'esterno del volume di offesa, ossia del volume entro cui si ha la presenza di riflessione proveniente dalla superficie osservata diretta verso l'osservatore.

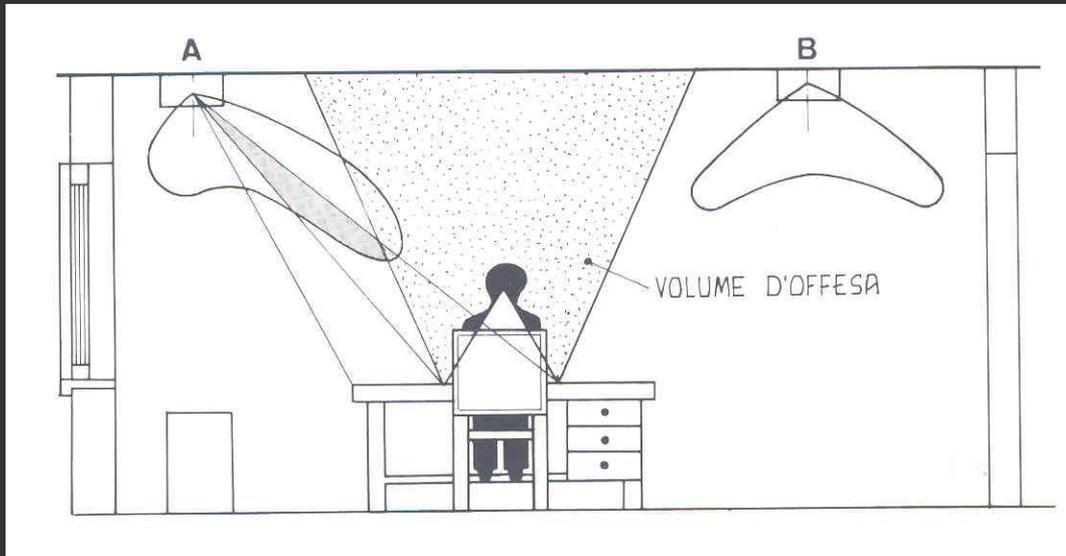
E' possibile altresì posizionare centri luminosi all'interno del volume di offesa ma facendo in modo che l'emissione nelle direzioni all'interno di tale volume sia limitata.

Una ulteriore possibile strategia corrisponde a utilizzare un impianto che garantisca un'illuminazione uniforme di base in tutto il locale e predisporre una illuminazione supplementare localizzata dei compiti visivi.

Volume di offesa



Contrasto delle luminanze



Apparecchi posizionati correttamente lateralmente al posto di lavoro e fuori del volume di offesa.

Apparecchi bat-wing. La presenza di uno di questi apparecchi all'interno del volume di offesa non pregiudica la resa del contrasto, dato che l'illuminazione del compito visivo è ottenuta soprattutto con gli apparecchi laterali.

