

## 4 - ILLUMINAZIONE

L'illuminazione di un ambiente di lavoro deve essere tale da soddisfare esigenze umane fondamentali quali:

- buona visibilità: per svolgere correttamente una determinata attività, l'oggetto della visione deve essere percepito ed inequivocabilmente riconosciuto con facilità, velocità ed accuratezza;
- confort visivo: l'insieme dell'ambiente visivo deve soddisfare necessità di carattere fisiologico e psicologico;
- sicurezza: le condizioni di illuminazione devono sempre consentire sicurezza e facilità di movimento ed un pronto e sicuro discernimento dei pericoli insiti nell'ambiente di lavoro.

Per soddisfare queste tre esigenze fondamentali è necessario riferirsi a parametri qualitativi e quantitativi definiti per i sistemi di illuminazione naturale ed artificiale

### 4.1 LUCE E PRESTAZIONE VISIVA

La conoscenza della natura della luce e delle grandezze utili a misurare le sensazioni che questa produce nell'uomo, sono importanti per descrivere l'ambiente visivo ed individuare i parametri ed i fattori che condizionano l'affidabilità della prestazione visiva nei luoghi di lavoro.

#### 4.1.1 La luce ed il fenomeno della visione

Ciò che definiamo radiazioni luminose o più semplicemente luce, sono le radiazioni elettromagnetiche che l'occhio umano è in grado di percepire e precisamente quelle che hanno una lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) nel vuoto compresa tra 400 e 780 nanometri (nm). La luce è quindi la sensazione soggettiva prodotta dall'interazione di queste radiazioni con l'apparato visivo.

Molte delle impressioni sensoriali dell'uomo sono di natura ottica e necessitano della luce come veicolo di informazione. Essa perciò ha una rilevanza fondamentale nella percezione del mondo e dunque nelle attività umane ed influenza grandemente le relazioni fisiologiche, emozionali, psicologiche dell'uomo.

L'atto del vedere si esplica in una complessa sequenza di fenomeni fisici, chimici e nervosi e si manifesta concretamente attraverso la percezione delle forme, del colore, del rilievo e del movimento degli oggetti.

Nell'apparato della visione l'occhio è l'elemento ricevitore; in esso le radiazioni luminose provenienti dall'esterno attraversano elementi trasparenti (cornea, umor acqueo, cristallino, umor vitreo) che nel loro insieme costituiscono un sistema paragonabile ad un gruppo di lenti. Questi mezzi diottrici, insieme ai muscoli intrinseci ed estrinseci dell'occhio, regolano l'ingresso e la direzione delle radiazioni sulla retina e rifrangono la luce secondo leggi puramente fisiche (rifrazione statica) e secondo meccanismi fisiologici (rifrazione dinamica).

Le radiazioni luminose così proiettate attraverso gli elementi interni dell'occhio, stimolano le cellule fotosensibili della retina con conseguente generazione di impulsi nervosi. Questi, attraverso le fibre che compongono il nervo ottico, giungono alla zona della corteccia cerebrale deputata alla trasformazione dei segnali in percezione

visiva, vale a dire in una cosciente rappresentazione luminosa e colorata delle informazioni ricevute dal mondo esterno.

Il sistema visivo si avvale in larga misura di un sistema di autoregolazione: per far sì che l'immagine dell'oggetto si formi sempre nitida sulla superficie della retina, il cristallino modifica la sua forma in rapporto alla distanza dell'oggetto osservato (accomodazione); l'iride è in grado di allargare o restringere il diametro della pupilla regolando così la quantità di luce incidente sull'occhio e le caratteristiche ottiche del sistema visivo si adeguano alla luminanza del campo visivo o alla distribuzione spettrale dello stimolo luminoso (adattamento). I muscoli oculari hanno la funzione di mirare il campo visivo e di far convergere entrambi gli occhi sullo stesso punto in modo che le immagini arrivino sulla parte della superficie retinica in cui si ha la massima risoluzione (fovea) e si fondano, permettendo la valutazione delle dimensioni, della tridimensionalità e della distanza dell'oggetto osservato.

#### 4.1.2 Le principali grandezze fotometriche

L'occhio non è un semplice strumento di registrazione di radiazioni: esso possiede regole e modalità proprie di ricezione che è importante conoscere per poter descrivere le caratteristiche dell'illuminazione di un ambiente.

Dagli studi effettuati per definire gli effetti che la radiazione produce sull'osservatore è stato riscontrato che la risposta fisiopsicologica (percezione) è diversa a seconda della lunghezza d'onda che caratterizza la radiazione.

Innanzitutto diversa è la sensazione cromatica: ad ogni lunghezza d'onda ed alle loro innumerevoli combinazioni sono associate percezioni cromatiche differenti dovute alla diversa sensibilità spettrale dei fotorecettori retinici (Tabella 4.1).

**Tabella 4.1:** Corrispondenza tra gli intervalli di lunghezza d'onda delle radiazioni ed i principali colori percepiti

lunghezze d'onda (nm)	colore
< 425	viola
425 ÷ 486	indaco
486 ÷ 493	blu
493 ÷ 510	blu-verde
510 ÷ 552	verde
552 ÷ 573	verde-giallo
573 ÷ 587	giallo
587 ÷ 645	arancio
> 645	rosso

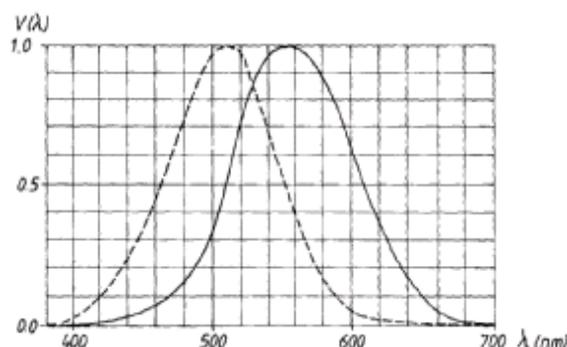
Diversa è anche l'intensità della risposta, vale a dire la visibilità delle radiazioni: l'occhio, infatti, manifesta sensibilità maggiori o minori a seconda che la lunghezza d'onda della sorgente luminosa si trovi rispettivamente al centro od agli estremi della banda delle radiazioni visibili.

Naturalmente non tutti gli individui hanno un'identica sensibilità e per questo sono state condotte indagini su numerosissime persone. Il risultato statistico di tali indagini ha portato alla codificazione di un occhio avente una sensibilità media

convenzionale (occhio medio internazionale) ed alla definizione di un fattore di visibilità relativa  $V(\lambda)$ .

Adottando  $V(\lambda) = 1$  per la lunghezza d'onda di 555 nm, che è la radiazione che produce la massima sensazione luminosa, è stata costruita la curva di visibilità relativa, il cui andamento esprime la variazione del fattore di visibilità in funzione della lunghezza d'onda della radiazione ed è valida per livelli d'illuminamento corrispondenti alla visione diurna (visione fotopica). Per livelli d'illuminamento molto bassi, corrispondenti alla visione notturna (visione scotopica), il massimo di visibilità si registra per lunghezze d'onda intorno ai 507 nm (Figura 4.1).

La visione fotopica e la visione scotopica, dovute alla presenza ed alla distribuzione non uniforme sulla superficie della retina delle cellule fotosensibili (coni e bastoncelli), si caratterizzano l'una per la nitida percezione dei colori ed un rapido adattamento alle variazioni d'intensità di radiazione, l'altra per la mancanza di discernimento dei colori, la scarsa definizione delle immagini e la lentezza di adattamento passando dalla luce alla semioscurità.



**Figura 4.1:** Curve di visibilità relativa  $V(\lambda)$  in condizioni di visione fotopica (linea continua) e scotopica (linea tratteggiata)

Considerando le diverse sensazioni prodotte nell'uomo dalle radiazioni delle diverse lunghezze d'onda, è chiaro che per descrivere le condizioni di luce di un ambiente o le caratteristiche di una sorgente luminosa non basta riferirsi a grandezze energetiche (energia, potenza, ecc.). Per questo la curva di visibilità relativa è di fondamentale importanza: essa infatti consente di misurare la quantità di energia luminosa emessa da una sorgente o ricevuta da una superficie in relazione alle sensazioni visive che produce e cioè passare da grandezze energetiche a grandezze fotometriche.

Le principali grandezze fotometriche sono:

- il flusso luminoso ( $\Phi$ ) che esprime l'energia luminosa emessa da una sorgente puntiforme e ponderata in base alla curva di visibilità relativa; l'unità di misura è il lumen (lm);
- l'intensità luminosa ( $I$ ) che esprime il flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme in una determinata direzione entro un angolo solido unitario, l'unità di misura è la candela (cd);

- la luminanza (L) che esprime l'intensità luminosa prodotta o riflessa da una superficie estesa in rapporto all'area di tale superficie così come è vista dall'osservatore (area apparente); l'unità di misura è la candela per metro quadrato ( $\text{cd}/\text{m}^2$ );
- l'illuminamento (E) che esprime il flusso luminoso incidente su una superficie in rapporto all'area di tale superficie; l'unità di misura è il lumen per metro quadrato ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) e viene detta lux (lx).

Per una più puntuale definizione di queste stesse grandezze si veda la UNI EN 12665:2004.

L'illuminazione di un ambiente è data non solo dal flusso luminoso emesso dalle sorgenti naturali o artificiali, ma anche dalla luce rinviata ripetutamente dalle superfici che direttamente o indirettamente sono investite dalle radiazioni luminose. Le grandezze idonee a valutare il comportamento di una superficie su cui incide una radiazione luminosa sono:

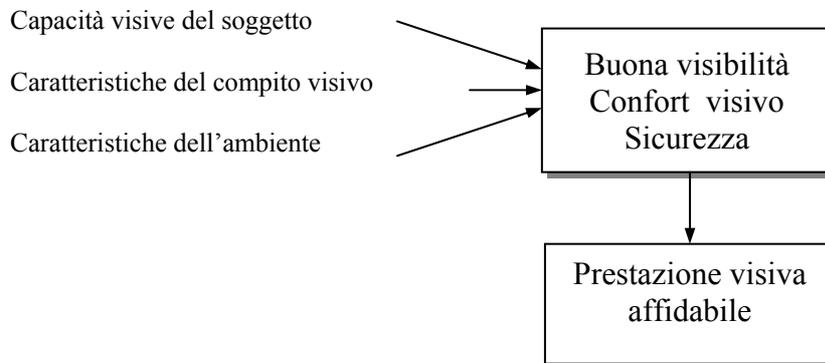
- il fattore di assorbimento luminoso: esprime il rapporto tra il flusso luminoso assorbito dalla superficie ed il flusso luminoso incidente; per esemplificare, una superficie nera e opaca assorbe teoricamente tutto il flusso luminoso (che si converte in energia termica), mentre una superficie colorata lo assorbe solo in parte (il colore di un oggetto dipende dalle quantità relative di luce assorbita e riflessa);
- il fattore di riflessione luminoso: esprime il rapporto tra il flusso luminoso riflesso dalla superficie ed il flusso luminoso incidente; a seconda del tipo di superficie, si può avere una riflessione speculare (es. specchio, acciaio inossidabile), diffusa (es. intonaco, carta ruvida) o mista (es. carta lucida, superfici smaltate);
- il fattore di trasmissione luminoso: esprime il rapporto tra il flusso luminoso trasmesso da una superficie trasparente ed il flusso luminoso incidente; a seconda del tipo di superficie, si può avere una trasmissione speculare (es. vetro trasparente), diffusa (es. vetro opalizzato) o mista (es. carta o vetro traslucidi).

Le radiazioni luminose percepite da un soggetto in un ambiente interno sono solo in parte emesse direttamente dalle sorgenti luminose; una quota più o meno importante è invece prodotta dalla riflessione dei vari componenti dell'ambiente (pareti, soffitto, pavimenti, arredi, ecc.).

#### **4.1.3 La prestazione visiva**

La progettazione adeguata di un ambiente visivo - che, ricordiamo, deve soddisfare esigenze di buona visibilità, confort visivo e sicurezza - è misurata in termini di prestazione visiva, espressione utilizzata per descrivere la capacità di rilevazione e l'attitudine a reagire che una persona manifesta quando i dettagli dell'oggetto della visione (compito visivo) entrano nello spazio di osservazione (campo visivo).

La prestazione visiva è condizionata da diverse variabili che si possono ricondurre a tre elementi fondamentali: le capacità visive del soggetto, il compito visivo, le caratteristiche dell'ambiente (Figura 4.2). Una prestazione visiva affidabile può essere conseguita attraverso numerose combinazioni di questi fattori e le eventuali carenze di uno o più di essi possono parzialmente essere compensate da un opportuno incremento degli altri.



**Figura 4.2:** Elementi che condizionano la prestazione visiva

a) Le capacità visive del soggetto.

Come si è detto, il sistema visivo si avvale in larga misura di un sistema di autoregolazione per decifrare con chiarezza i messaggi luminosi, mettendo in atto contemporaneamente meccanismi di accomodazione, regolazione della quantità di luce incidente, convergenza dell'asse visivo, ecc.. Tuttavia, le caratteristiche dell'occhio variano da individuo a individuo e si modificano con l'età, oltre che per la presenza di anomalie o difetti o per l'insorgenza di processi patologici. Tali differenze sono riferibili principalmente al sistema di accomodazione, alla motilità oculare, all'adattamento, al senso cromatico e questi fattori devono essere presi in considerazione nella fase di studio del posto di lavoro e dello spazio circostante. Il grado di accuratezza con cui l'occhio assolve alle sue funzioni è misurato in termini di acuità visiva.

b) Le caratteristiche del compito visivo.

Le esigenze quali-quantitative dell'illuminazione aumentano in presenza di compiti visivi difficoltosi o complessi, quali quelli che comportano un'osservazione ravvicinata e prolungata, l'uso di mezzi diottrici, frequenti cambi di visuale su oggetti posti a distanze diverse, un ridotto tempo di osservazione. Una corretta e confortevole visione degli oggetti, dei dettagli e dello sfondo connessi al tipo di mansione da svolgere dipende principalmente dai seguenti parametri:

- Luminanza e contrasto di luminanza: la luminanza ha una grande influenza nei processi di percezione, essa infatti rappresenta il rapporto tra l'intensità luminosa emessa direttamente o indirettamente da una superficie e l'area della superficie stessa, così come è effettivamente mirata. Un oggetto appare tale se si staglia su un fondo più o meno luminoso rispetto ad esso oppure perché le sue parti hanno differenti luminanze; a partire da una determinata soglia, l'occhio è in grado di cogliere innumerevoli modulazioni luminose e la loro distribuzione nel campo visivo influenza l'acuità visiva (nitidezza della visione), la sensibilità al contrasto (discriminazione di piccole differenze di luminanza), l'efficienza delle funzioni oculari (accomodamento, convergenza, contrazione pupillare, movimenti oculari, ecc.).

- Colore e contrasto di colore: il colore è un attributo della luce utilissimo per una rapida e agevole identificazione degli oggetti presenti nel campo visivo; la capacità di discriminare il colore di un oggetto ed il fondo su cui si staglia, che per particolari compiti visivi è di notevole importanza, dipende dalla luminanza, dalla composizione spettrale della luce e dalle proprietà fotometriche delle superfici osservate.
- Dimensioni, forma e tessitura (aspetto) della superficie: le informazioni visive sulle dimensioni, la forma e l'aspetto delle superfici sono utili per il riconoscimento e la localizzazione nello spazio degli oggetti o dei dettagli del compito visivo; la percezione dei rilievi e dello stato della loro superficie è influenzata dalla distribuzione della luce (diffusa e/o direzionale) e dalla configurazione delle ombre e delle penombre che ne deriva.
- Posizione del dettaglio nel campo visivo: il sistema visivo funziona con la massima efficacia quando l'immagine dell'oggetto osservato si forma nella parte centrale della retina detta fovea; la posizione dell'oggetto della visione lungo la linea principale di osservazione è quindi indispensabile soprattutto per quei compiti visivi che richiedono il riconoscimento di ciascun dettaglio.
- Movimento e tempo di osservazione: il movimento di un oggetto, che è percepito con maggior sensibilità dalla zona periferica della retina, induce la rotazione del globo oculare nella direzione dell'oggetto per riportarne l'immagine al centro della retina ed osservarlo con precisione; la precisione nella percezione di un oggetto in movimento dipende dalle dimensioni e dalla forma dell'oggetto, dal contrasto, dalla velocità, dal tipo di traiettoria e dal tempo disponibile per l'osservazione.
- Durata della prestazione: in condizioni di prolungato impegno visivo svolto in condizioni di illuminazione non appropriata può insorgere una sindrome clinica detta fatica visiva o astenopia che si manifesta con un insieme di segni oculari quali fotofobia, riduzione dell'acuità visiva, visione sfocata, instabile o sdoppiata, difficoltà di accomodazione, ecc.. Accanto a queste manifestazioni, nel complesso reversibili col il riposo, gli effetti dell'affaticamento possono riguardare anche il sistema muscolare (es. adozione di posture forzate per ridurre la distanza dal compito visivo) ed il sistema nervoso centrale (es. fatica mentale per lo sforzo per interpretare segnali non sufficientemente nitidi, riduzione dell'attenzione e della concentrazione).

c) Le caratteristiche dell'ambiente.

L'illuminazione di un ambiente deve fornire condizioni ottimali per lo svolgimento del compito visivo richiesto, anche quando si distoglie lo sguardo dal compito o per riposo o per una variazione del compito. L'impressione visiva di un ambiente è influenzata dall'aspetto delle superfici degli oggetti visivi principali (compito visivo, arredi e persone al suo intorno), del suo interno (pareti, soffitti, pavimenti, arredi e macchine) e delle sorgenti di luce (finestre e apparecchi d'illuminazione) e dipende principalmente dai seguenti parametri:

- Distribuzione delle luminanze: la distribuzione delle luminanze influenza il livello d'impegno degli organi oculari; infatti, appena l'occhio si discosta dall'oggetto attualmente a fuoco inizia il processo di adattamento alle

luminanze del nuovo campo visivo mirato. L'apparato visivo è soggetto ad affaticarsi in misura tanto più elevata, quanto maggiori sono le differenze di luminanza e contrasti di luminanza elevati possono provocare abbagliamento; per contro, luminanze e contrasti di luminanza troppo bassi possono influenzare le condizioni di visibilità e dar luogo ad un ambiente di lavoro monotono e non stimolante. Una luminanza di adattamento ben equilibrata è quindi necessaria per aumentare l'efficienza della prestazione visiva.

Nell'equilibrata distribuzione delle luminanze è importante il fattore di riflessione ed il livello di illuminamento delle diverse superfici che compongono l'ambiente.

- Illuminamento: la quantità di luce che cade sulle superfici influenza notevolmente la percezione visiva. La visione può essere resa difficoltosa da un difetto di illuminamento come anche da un eccesso in quanto possono insorgere fenomeni collaterali (es.: abbagliamento) che disturbano e alterano la visione. Nella scala degli illuminamenti raccomandati per gli ambienti interni il valore minimo adottato è di 20 lx (valore che in condizioni normali permette di riconoscere una persona dai tratti del viso) e quello massimo di 5000 lx. L'illuminamento dell'ambiente va correlato a quello presente nella zona del compito visivo e non deve presentare eccessive disuniformità all'interno del locale o tra ambienti comunicanti poiché il passaggio da zone scarsamente illuminate a zone illuminate può determinare abbagliamento o, nel passaggio inverso, creare difficoltà di adattamento visivo.
- Abbagliamento: con questo termine si indica quella condizione visiva di disagio e/o di riduzione della capacità di vedere che si manifesta quando nell'ambiente le luminanze non sono correttamente distribuite od i contrasti di luminanza sono eccessivi per la presenza nel campo visivo di sorgenti primarie di luce (abbagliamento diretto) o di superfici riflettenti (abbagliamento riflesso o di velo).

Il controllo delle luminanze è quindi essenziale per evitare le conseguenze negative sulla prestazione visiva che sono riconducibili a due forme di abbagliamento:

- abbagliamento molesto (discomfort glare) che produce una sensazione di sgradevolezza, di disturbo e disagio, senza necessariamente compromettere od impedire la visione;
  - abbagliamento debilitante (disability glare) che compromette, turba ed al limite impedisce la visione, senza necessariamente determinare discomfort.
- Direzione della luce: l'aspetto generale di un ambiente è migliore se la struttura, le persone e gli oggetti al suo interno sono illuminati in modo tale che le forme e la tessitura delle superfici siano percepite in modo chiaro e piacevole. Questo effetto (modellato) si ottiene quando la luce proviene in modo predominante da una direzione e le ombre e le penombre che si formano danno rilievo alle cose ed espressione ai visi. La direzionalità della luce deve essere accuratamente determinata e ben equilibrata con l'illuminazione diffusa: infatti, se l'illuminazione è troppo direzionale si generano ombre troppo forti e nette, se è troppo diffusa, l'assenza di ombre nuoce alla buona visibilità e rende l'ambiente monotono o sgradevole.

- Aspetti del colore: il risultato cromatico di un ambiente è dato dall'interazione tra la luce emessa dalle sorgenti, l'attitudine a riflettere le radiazioni che compongono la luce da parte delle superfici e la sensibilità dell'occhio a percepire i colori. L'apparato visivo è strutturato per una nitida percezione dei colori in condizioni di visione diurna: per questo, in presenza di luce artificiale, la prestazione visiva dipende dai requisiti di ordine cromatico delle sorgenti e dalla loro capacità di restituire una sensazione cromatica naturale degli oggetti e delle persone all'interno dell'ambiente.
- Luce diurna: la presenza di luce diurna influenza le caratteristiche illuminotecniche di tutto l'ambiente. Le dimensioni, la disposizione e l'orientamento dei varchi di luce naturale sono quindi importanti in quanto in grado di condizionare l'ambiente visivo e, di conseguenza, l'affidabilità della prestazione visiva.

#### 4.2 ILLUMINAZIONE NATURALE

L'illuminazione naturale è l'illuminazione che si ottiene utilizzando la luce diurna, vale a dire quella parte di energia che il sole fornisce alla terra e che può essere diretta o riflessa dalla volta celeste e dalle varie superfici dell'ambiente esterno e interno.

Nell'illuminazione degli ambienti l'impiego della luce diurna è importante sia per la qualità della visione e le caratteristiche di gradevolezza ed accettazione da parte degli occupanti, che per ragioni connesse al risparmio energetico. Il contributo della luce naturale nell'illuminazione degli interni va inoltre privilegiato in quanto la presenza nell'involucro di un edificio di aperture verso l'esterno permette di cogliere le modulazioni del ciclo della luce a cui sono legate importanti funzioni fisiologiche e di mantenere un legame visivo col mondo circostante che è un bisogno psicologico elementare dell'uomo.

Per queste ragioni, l'illuminazione con luce naturale degli ambienti di lavoro deve essere adottata in tutti i casi in cui le attività o le lavorazioni non necessitano, per il loro stesso espletamento, di un'illuminazione naturale ridotta o assente.

La luce diurna è caratterizzata da variazioni nel tempo di quantità, composizione spettrale e direzione ed il suo ingresso negli ambienti confinati dipende :

- dalla località,
- dall'orientamento dell'edificio,
- dell'orientamento e dalle caratteristiche delle chiusure trasparenti,
- dalla presenza nell'intorno di edifici od altri elementi del paesaggio.

Questi elementi devono essere tenuti presenti nella progettazione dei luoghi di lavoro per utilizzare efficacemente i vantaggi dati dalla luce diurna e minimizzare gli effetti negativi che possono derivarne, quali un eccessivo riscaldamento estivo e una elevata dispersione termica nel periodo invernale, attraverso scelte architettoniche e di materiali compatibili con un buon comportamento termico dell'edificio.

I principali parametri di controllo della luce naturale sono il livello di illuminamento ed i fenomeni di abbagliamento.

#### 4.2.1 Illuminamento

I livelli di prestazione che un edificio deve garantire in termini di illuminazione naturale nei diversi ambienti vengono principalmente descritti col fattore medio di luce diurna ( $FLD_m$ ) che rappresenta il rapporto in percentuale tra l'illuminamento medio dell'ambiente e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto.

Il ricorso ad un tale descrittore consente di rappresentare con un parametro statico un fenomeno dinamico, riducendo per di più il calcolo alla valutazione di fattori puramente geometrici.

La valutazione previsionale del  $FLD_m$  può essere eseguita sulla base di diversi modelli di calcolo e di seguito si riportano i due più comunemente utilizzati:

- A) Metodo prospettato dalla CM 3151/67 e ripreso dalla DGR 268/2000 dell'Emilia-Romagna (metodo di calcolo "a") e dall'Appendice A della UNI 10840:2000.

Secondo quanto riportato nella suddetta DGR, il metodo è applicabile limitatamente a:

- 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 dell'infisso;
- finestre verticali (a parete).

Per spazi con due o più finestre si calcola il valore di fattore medio di luce diurna ( $FLD_m$ ) di ogni finestra e si sommano i risultati ottenuti.

La formula per il calcolo del  $FLD_m$  è la seguente:

$$FLD_m = \frac{t \times A \times \varepsilon \times \psi}{S \times (1 - r_m)}$$

dove:

- t = Fattore di trasmissione luminoso del vetro
- A = Area della superficie trasparente della finestra [ $m^2$ ]
- $\varepsilon$  = Fattore finestra che tiene conto della posizione della finestra e della presenza di ostruzioni
- $\psi$  = Fattore che tiene conto dell'arretramento del piano della finestra rispetto al filo esterno della facciata
- $r_m$  = Fattore medio di riflessione luminosa delle superfici interne che delimitano l'ambiente
- S = Area totale delle superfici interne che delimitano l'ambiente [ $m^2$ ] (comprese le superfici delle finestre)

Per il calcolo si procede come segue:

1. determinare t in funzione del tipo di vetro (vedi Tabella 4.2);

**Tabella 4.2**

<b>Tipo di superficie trasparente</b>	<b>t</b>
Vetro semplice trasparente	0,90
Vetro retinato	0,85
Doppio vetro trasparente	0,80

2. calcolare  $A$  in funzione anche del tipo di telaio da installare;
3. calcolare  $S$  come area delle superfici interne (pavimento, soffitto e pareti comprese le superfici delle finestre) che delimitano lo spazio;
4. calcolare  $r_m$  come media pesata dei fattori di riflessione luminosa delle singole superfici interne dello spazio utilizzando la Tabella 4.3 (si ritiene accettabile convenzionalmente un valore di 0,7 per superfici chiare);

**Tabella 4.3**

<b>Materiale e natura della superficie</b>	<b>Fattore di riflessione luminosa</b>
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

5. calcolare il fattore  $\psi$  previa determinazione dei rapporti  $h_f/p$  e di  $L/p$  indicati in Figura 4.3. Individuare sull'asse delle ascisse del grafico della medesima figura il valore  $h_f/p$  indi tracciare la retta verticale fino a che s'incontra il punto di intersezione con la curva corrispondente al valore di  $L/p$  precedentemente determinato. Da quest'ultimo punto si traccia la retta orizzontale che individua sull'asse delle ordinate il valore del fattore di riduzione  $\psi$ ;
6. calcolare il fattore finestra  $\varepsilon$  secondo il tipo di ostruzione eventualmente presente (aggetti, edifici o altri elementi del paesaggio prospicienti):
  - a) nel caso non vi siano ostruzioni nella parte superiore della finestra (aggetti) il fattore finestra può essere determinato in due modi:
    - a.1) il rapporto  $H-h/L_a$  (Figura 4.4) viene individuato sull'asse delle ascisse del grafico di Figura 4.5; si traccia poi la verticale fino

all'intersezione con la curva e si legge sull'asse delle ordinate il valore di  $\varepsilon$ ;

a.2) in alternativa, si calcola  $\varepsilon$  con la seguente formula:

$$\varepsilon = \frac{1 - \text{sen}\alpha}{2}$$

dove  $\alpha$  è l'angolo riportato in Figura 4.4;

b) nel caso di ostruzione nella parte superiore della finestra (Figura 4.6),  $\varepsilon$  è determinato con la seguente formula:

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

dove  $\alpha_2$  è l'angolo riportato in Figura 4.6 e 4.7;

c) nel caso di ostruzione della finestra nella parte superiore e frontale,  $\varepsilon$  è determinato con la seguente formula:

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

dove  $\alpha_2$  e  $\alpha$  sono gli angoli riportati in Figura 4.7.

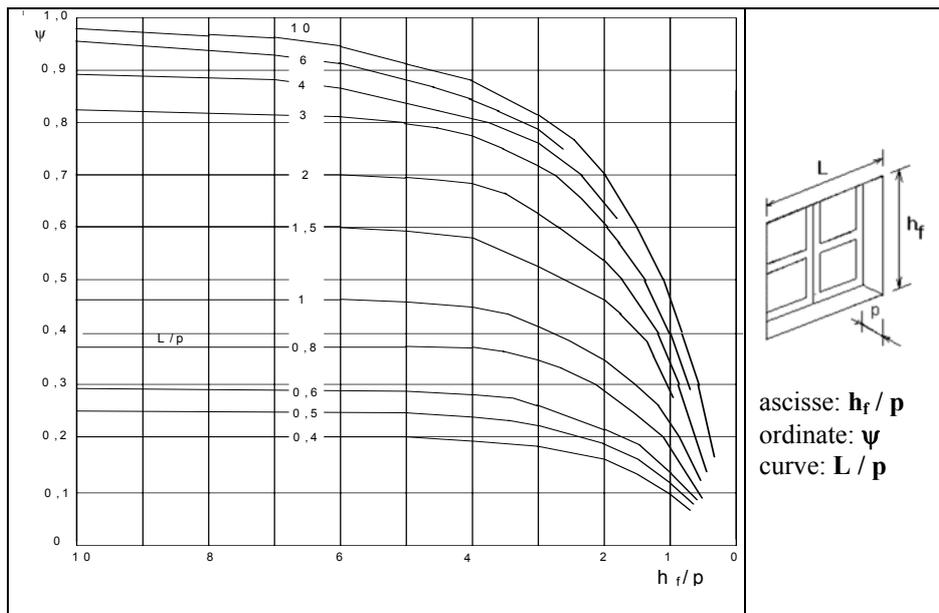
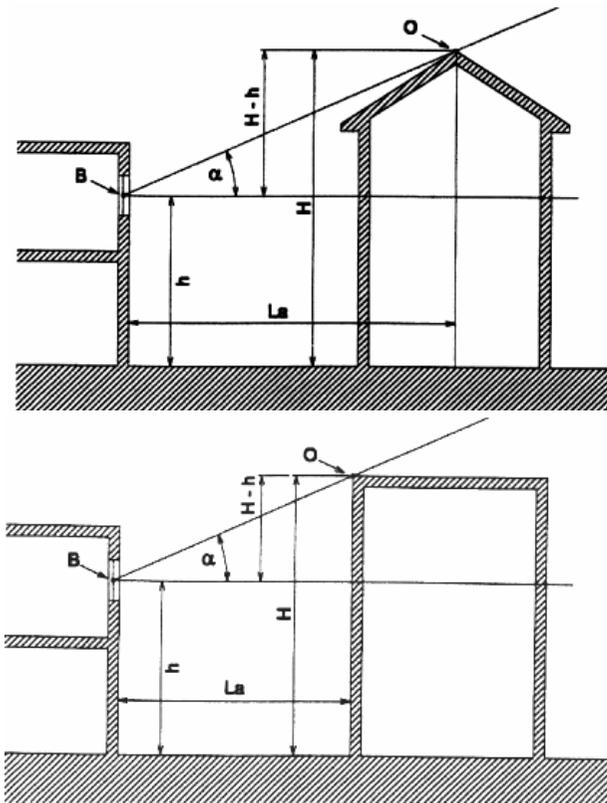


Figura 4.3

**h** = altezza dal baricentro B della finestra al piano stradale

**H** = altezza del fabbricato contrapposto dal piano stradale

**La** = distanza tra il fabbricato contrapposto (o comunque dell'ostacolo) e la finestra



**Figura 4.4:** Esempio di schemi relativi a due diversi tipi di ostruzione per determinare l'angolo  $\alpha$

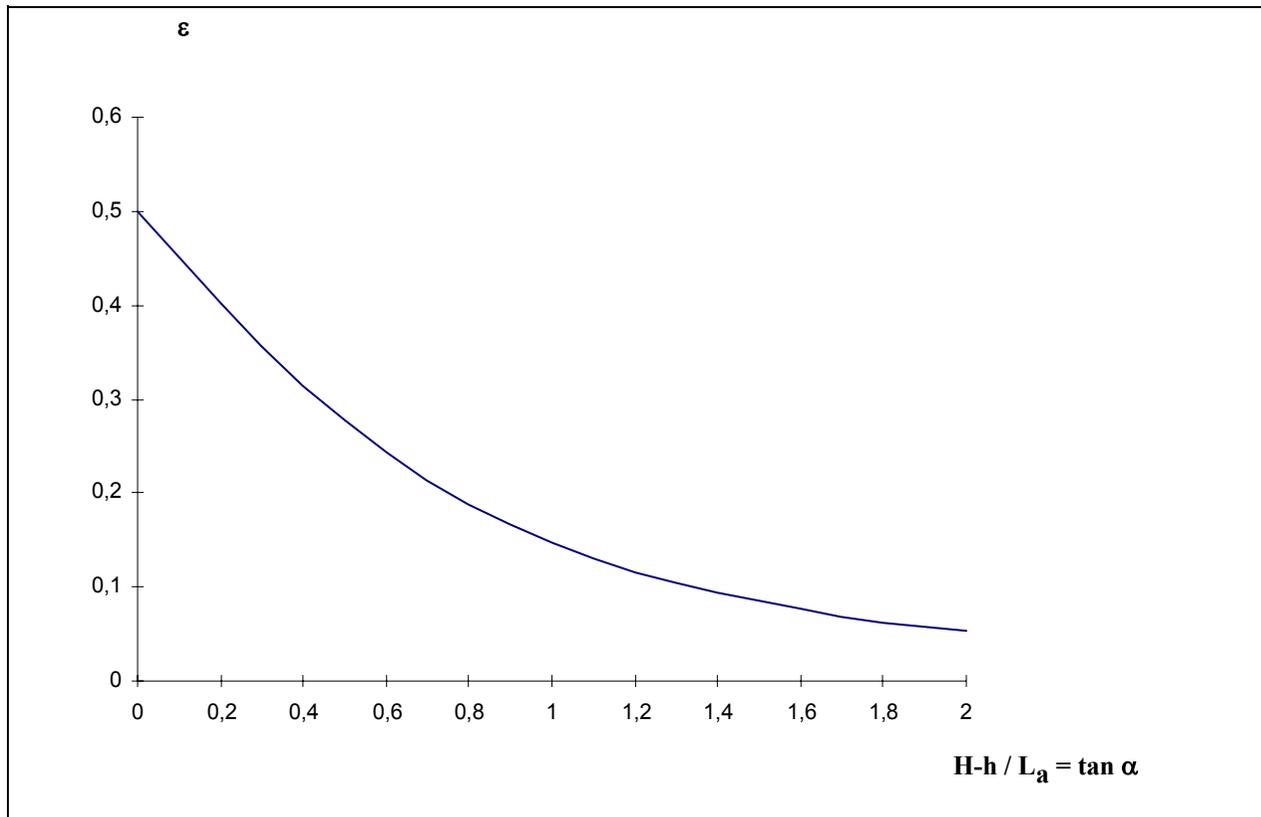


Figura 4.5

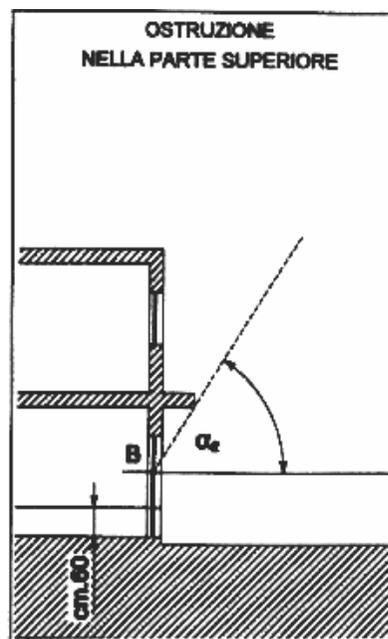


Figura 4.6

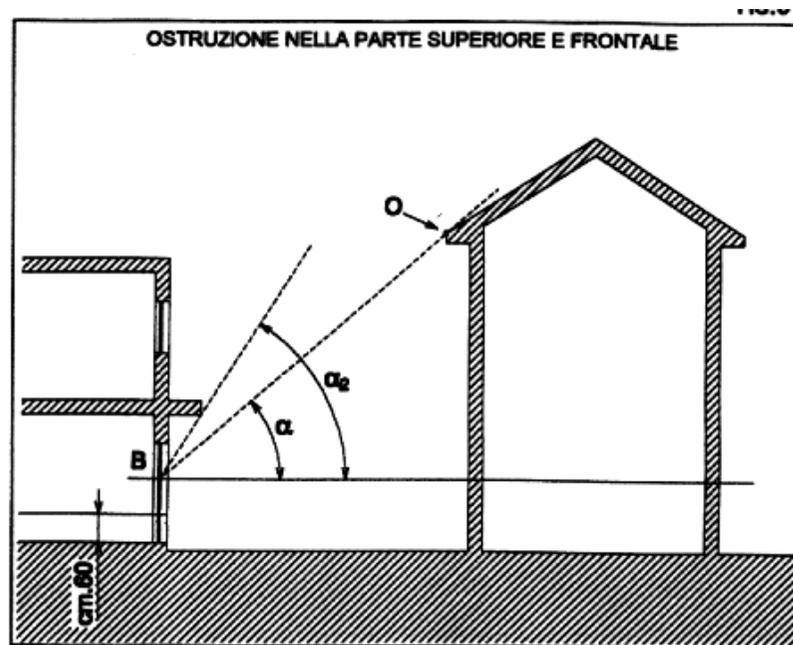


Figura 4.7

Dal metodo di calcolo soprariportato, quello indicato nell'Appendice A della UNI 10840:2000 differisce per i seguenti punti:

- non sono dichiarati limiti all'applicazione del metodo rispetto alla profondità del vano o alla collocazione delle finestre;
- al fattore finestra  $\varepsilon$  è attribuito valore = 1 per finestra orizzontale (lucernario) senza ostruzioni e = 0,5 per finestra verticale senza alcuna ostruzione;
- non sono indicate modalità di calcolo per ostruzioni nella parte superiore della finestra dovute ad elementi aggettanti.

B) Metodo informatizzato di calcolo Superlite ripreso dalla DGR 268/2000 della Regione Emilia-Romagna (metodo di calcolo "b").

La verifica consiste nel calcolo del  $FLD_m$  all'interno dell'ambiente considerato mediante l'uso del programma di calcolo Superlite (Predicting Daylighting and Lighting performance<sup>1</sup>).

Il metodo non ha significativi limiti di applicazione e può pertanto essere utilizzato nel caso di:

- spazi di forma sia regolare sia complessa;
- spazi prospicienti logge, balconi, ballatoi;
- qualsiasi tipo di aperture finestrate (finestre verticali, lucernari, ecc.).

Il metodo permette di calcolare il  $FLD_m$  per tutte le condizioni di cielo; ai fini della verifica il calcolo va effettuato scegliendo il cielo coperto CIE standard<sup>2</sup>.

*Per un metodo di calcolo che tenga conto, oltre alla componente cielo, anche del contributo della luce riflessa dall'esterno e di quella riflessa dall'interno dello spazio considerato, si può utilizzare il metodo di calcolo "c" riportato sulla DGR 268/2000 della Regione Emilia-Romagna. Tale metodo può inoltre essere utilizzato per spazi di forma sia regolare che complessa e per quelli prospicienti logge, balconi o ballatoi.*

Circa i valori ottimali, è da rilevare che il  $FLD_m$  dipende sia dalla destinazione generale dell'edificio sia dalla funzione propria dei singoli spazi all'interno di esso. I valori utilizzati nella Parte II di queste Linee Guida discendono da indicazioni legislative e normative che indicano valori minimi di 0,7% per le aree occupate in modo non continuativo da lavoratori e valori del 2% ed ancora crescenti per le aree in cui si svolgono attività lavorative. In tutti i casi la progettazione delle aperture trasparenti verso l'esterno deve essere tale da assicurare una adeguata uniformità dell'illuminazione naturale, garantendo rapporti maggiori di 0,16 tra il fattore di luce diurna puntuale minimo ed il fattore di luce diurna puntuale massimo (punto 7, UNI 10840:2000).

---

<sup>1</sup> Il programma ed il relativo manuale sono reperibili gratuitamente presso il sito internet: <http://eetd.lbl.gov/btd/tools/superlite/superlite2.htm>

<sup>2</sup> Tale condizione semplificata è quella considerata implicitamente o esplicitamente anche nel metodo di calcolo A (CIE= Commission International de l'Éclairage).

Molti regolamenti edilizi e d'igiene comunali esprimono i livelli di prestazione che un edificio deve garantire in termini di illuminazione naturale con il rapporto illuminante (RI), vale a dire il rapporto tra la superficie finestrata prospiciente spazi liberi esterni e la superficie pavimentata dell'ambiente. I valori minimi di RI comunemente stabiliti e tipicamente associati a diverse categorie di destinazione d'uso dei locali di lavoro, ricadono nell'intervallo  $1/8 - 1/15$ , ammettendo l'assenza di illuminazione naturale in alcune tipologie di locali accessori.

Questo metodo di valutazione basato sul RI, molto diffuso per la sua facile applicazione, presenta tuttavia dei limiti sulla quantità effettiva di luce naturale che riesce a garantire in molti ambienti e solo in pochi casi particolari è coerente con il calcolo del  $FLD_m$ . Per ridurre tali limiti, diversi regolamenti locali, hanno introdotto elementi "correttivi" al calcolo del RI minimo.

Da una disamina dei regolamenti di più recente approvazione, i principali fattori "correttivi" da considerare nella valutazione del RI sono:

- per superfici vetrate con ridotto fattore di trasmissione luminosa (solitamente  $t < 0,7$ ) va previsto un aumento proporzionale dell'ampiezza delle finestrate;
- dal computo della superficie illuminante vanno escluse quelle parti trasparenti poste ad una altezza dal pavimento inferiore a  $0,60$  m;
- la profondità del locale, misurata perpendicolarmente al piano della parete finestrata, non deve superare  $2,5$  volte l'altezza dal pavimento al punto più alto della superficie trasparente;
- in presenza di ostacoli superiori, quali tettoie, balconi o altri aggetti, la superficie vetrata deve essere aumentata di  $0,05$  m<sup>2</sup> ogni  $5$  cm di ostruzione oltre ad  $1$  m di profondità;
- in caso di edifici contrapposti, se la distanza tra la finestra e l'edificio di fronte è inferiore all'altezza dell'edificio più alto e l'angolo  $\alpha$  di Figura 4.4 è maggiore di  $45^\circ$ , la superficie vetrata va proporzionalmente aumentata.

Alla luce di quanto esposto si fornisce l'indicazione di utilizzare il seguente criterio:

- 1) il requisito prestazionale da garantire è quello del  $FLD_m \geq 2\%$  o  $\geq 0,7\%$  da rispettare in tutti i locali occupati da lavoratori rispettivamente in modo durevole o temporaneo;
- 2) i valori minimi fissati dai regolamenti edilizi e d'igiene comunali (con l'adozione dei correttivi previsti) possono essere ritenuti soluzione conforme al rispetto del requisito prestazionale;
- 3) in assenza di indicazioni dei regolamenti comunali, si forniscono in Tabella 4.4 valori di riferimento desunti dalle indicazioni regionali più ricorrenti e che richiedono l'applicazione dei fattori "correttivi" sopra elencati.

**Tabella 4.4:** Valori di RI per diverse tipologie di locali

Tipologia del locale	Dimensione	RI minimo
uffici, ambulatori, mense, locali di riposo, aule, locali di degenza	-	1/8
locali adibiti ad attività lavorative diverse dalle precedenti, compresi i magazzini e gli archivi, occupati durevolmente da lavoratori	< 1.000 m <sup>2</sup>	1/10
	1.000 ÷ 3.000 m <sup>2</sup>	1/12
	> 3.000 m <sup>2</sup>	1/15
Locali occupati temporaneamente da lavoratori*	-	1/20
* in questi locali può anche essere ammessa una illuminazione naturale ridotta rispetto al RI indicato nei casi in cui vi siano impedimenti tecnici (strutturali e/o vincoli urbanistici) od altri ostacoli che rendono particolarmente complessa la realizzazione di superfici trasparenti.		

#### 4.2.2 Abbagliamento

L'abbagliamento dovuto alla luce naturale dipende essenzialmente da:

- luminanza della porzione di cielo inquadrata dalla superficie vetrata,
- posizione e dimensione della superficie vetrata,
- contrasto di luminanza tra le superfici interne,
- presenza di superfici riflettenti esterne o interne.

Per il controllo dell'abbagliamento occorre innanzitutto compiere scelte progettuali tali da prevenire il verificarsi di tale fenomeno e, là ove queste non siano sufficienti, intervenire con dispositivi per la schermatura e la regolazione dell'ingresso della luce (es. frangisole, aggetti, tende alla veneziana o a bande, tende di diversa trama, ecc.) o con l'impiego di vetri in grado di attenuare o regolare la trasmissione luminosa.

Per valutare il disturbo causato da superfici luminose estese quali le finestre, è utilizzato l'indice DGI (Daylight Glare Index) che può essere calcolato con le modalità indicate nell'Appendice B della UNI 10840:2000.

A titolo indicativo, si riporta il grado di abbagliamento percepito e l'indice DGI corrispondente:

- intollerabile: > 28;
- quasi intollerabile: 28;
- fastidioso: 26;
- quasi fastidioso: 24;
- appena accettabile: 22;
- accettabile: 20;

- percepibile: 18;
- appena percepibile: 16.

### 4.3 ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

L'illuminazione artificiale è quella prodotta dall'insieme dei corpi illuminanti intenzionalmente introdotti per lo svolgimento dei compiti visivi richiesti in quel determinato luogo e per compensare la carenza o l'assenza di illuminazione naturale. La progettazione di un impianto di illuminazione deve perciò essere coerente con le caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, forma, proprietà fotometriche delle superfici interne, presenza di luce diurna, ecc.), la sua funzione generale (commerciale, produttiva, sanitaria, ecc.) ed i compiti visivi degli utilizzatori.

I principali parametri da considerare per progettare le condizioni illuminotecniche di un ambiente sono:

1. distribuzione delle luminanze
2. illuminamento;
3. uniformità dell'illuminamento;
4. abbagliamento;
5. resa del colore;
6. colore apparente della luce.

#### 4.3.1 Distribuzione delle luminanze

La distribuzione delle luminanze all'interno del campo visivo influenza il grado di impegno degli organi oculari e conseguentemente la visibilità ed il confort. Per evitare l'affaticamento visivo dovuto a ripetuti e continui processi di adattamento, va realizzata una distribuzione equilibrata delle luminanze, evitando variazioni e discontinuità accentuate tra le diverse aree del campo visivo e tenendo conto dell'importanza che hanno le superfici riflettenti presenti nell'ambiente.

A questo proposito, la Norma UNI EN 12464-1:2004 consiglia, per le principali superfici di un ambiente, fattori di riflessione compresi tra gli intervalli riportati in Tabella 4.5.

**Tabella 4.5:** Intervalli consigliati per i fattori di riflessione delle principali superfici.

soffitto	da 0,6 a 0,9
pareti	da 0,3 a 0,8
piani di lavoro	da 0,2 a 0,6
pavimento	da 0,1 a 0,5

I criteri reperibili in letteratura e che possono essere utilizzati per la valutazione della distribuzione delle luminanze, indicano generalmente i seguenti rapporti limite di luminanza all'interno del campo visivo:

- rapporto non minore di 1:3 tra la luminanza media delle aree immediatamente circostanti la zona del compito visivo e quella del compito;
- rapporto non minore di 1:10 tra la luminanza media delle zone più periferiche del campo visivo (pareti, soffitto, pavimento) e quella del compito.

Dalla ritirata norma UNI 10380:1994, punto 6.2.4, possono essere tratti ulteriori indicazioni di rapporti di luminanza limite, con riferimento anche ad una classificazione degli ambienti in base alla possibilità di controllo delle riflessioni.

#### **4.3.2 Illuminamento ovvero illuminamento medio mantenuto**

Si definisce illuminamento medio mantenuto ( $\bar{E}_m$ ) quel valore di illuminamento al di sotto del quale l'illuminamento medio su una specifica superficie non può mai scendere. Considerato che i provvedimenti legislativi indicano valori di illuminamento minimi da garantire, nel seguito si farà unicamente riferimento al parametro  $\bar{E}_m$ .

Il progettista dell'impianto di illuminazione artificiale può trovare i valori di  $\bar{E}_m$  in provvedimenti legislativi e, per diversi ambienti interni, compiti o attività, al punto 5.3 della UNI EN 12464-1:2004. Tenendo conto di questi valori limite e determinato un fattore di manutenzione (rapporto tra l'illuminamento medio sul piano di lavoro dopo un certo periodo di utilizzazione dell'installazione e l'illuminamento medio ad installazione nuova) in base all'apparecchio di illuminazione scelto, alle condizioni dell'ambiente ed ad un programma di manutenzione specifico degli apparecchi, il progettista può definire il livello di illuminamento iniziale necessario. Il progettista dovrà indicare nella relazione che accompagna il progetto dell'impianto di illuminazione, tutte le ipotesi fatte per ottenere il valore del fattore di manutenzione, specificare quali apparecchi vanno usati, il piano di manutenzione completo comprendente il periodo di sostituzione delle lampade, gli intervalli tra due pulizie successive dell'apparecchio e del locale. I fattori di manutenzione possono essere stabiliti facendo riferimento alla pubblicazione CIE 97-1992 (Commission Internazionale de l'Éclairage).

Il progettista, per definire il valore iniziale dell'illuminamento medio, con le lampade funzionanti a pieno regime, dovrà quindi dividere il valore dell'illuminamento dato dalla norma per il fattore di manutenzione correttamente determinato, cioè  $\bar{E}_m/M$  (\*).

Dal punto di vista dell'acquirente invece,  $\bar{E}_m$  non è il valore da verificare in fase di collaudo dell'impianto, ma va verificato il valore del rapporto  $\bar{E}_m/M$  (\*) sulla base del fattore di manutenzione correttamente determinato.

*\* ad esempio, poiché per un ufficio in cui si svolge un'attività di reception il punto 5.3 della UNI EN 12464-1:2004 prevede  $\bar{E}_m$  300 lx, determinato un fattore di manutenzione  $M=0,85$  andranno previsti:*

$$300 / 0,85 \approx 353 \text{ lx}$$

In assenza di dati sul decadimento luminoso degli apparecchi si consiglia al progettista e all'acquirente di realizzare un impianto che fornisca livelli d'illuminamento superiori di almeno il 25% al valore raccomandato nel punto 5.3 della UNI EN 12464-1:2004.

Oltre al fattore di manutenzione, per la determinazione dell'illuminamento necessario in un ambiente occorre valutare se vi siano condizioni di visibilità differenti da quelle abitualmente attribuite ad un determinato ambiente, compito o

attività. In questi casi, al punto 4.3.1 la norma UNI EN 12464-1:2004 suggerisce di usare un valore  $\bar{E}_m$  maggiore di almeno un gradino fra quelli previsti nella scala degli illuminamenti nel caso che il compito visivo sia critico (es. dettagli molto piccoli, tempi di lavoro lunghi, capacità visive individuali ridotte, errori costosi, ...), oppure usare un valore più basso di almeno un gradino fra quelli di detta scala nel caso, ad esempio, di compiti visivi con dettagli molto grandi, tempi di lavoro brevi. In nessun caso, nelle zone occupate con continuità l'illuminamento medio mantenuto deve essere inferiore a 200 lx.

### 4.3.3 Uniformità dell'illuminamento

I valori di illuminamento tra l'area oggetto del compito visivo e quelli della zona immediatamente circostante (intesa come fascia di almeno 0,5 m di larghezza intorno alla zona del compito all'interno del campo visivo) non devono discostarsi eccessivamente per evitare l'insorgere di affaticamento visivo e disturbi da abbagliamento.

I valori minimi d'illuminamento attorno alla zona del compito, in rapporto a quelli presenti nella zona del compito, non devono essere inferiori a quelli riportati nella Tabella 4.6 (da prospetto 1 della UNI 12464-1:2004).

**Tabella 4.6:** Rapporti tra illuminamenti nelle zone del compito visivo e nelle zone immediatamente circostanti.

<i>Illuminamento nella zona del compito</i> $E_{\text{compito}}$ [lx]	<i>Illuminamento minimo delle zone immediatamente circostanti</i> [lx]
$\geq 750$	500
500	300
300	200
$\leq 200$	$E_{\text{compito}}$

Una buona progettazione deve prevedere sia all'interno della zona del compito che in quella immediatamente circostante, una buona uniformità di illuminamento. In tali zone i rapporti tra l'illuminamento minimo e medio non devono comunque essere inferiori a:

- 0,7 nell'interno della zona del compito,
- 0,5 nell'interno delle zone immediatamente circostanti il compito visivo.

### 4.3.4 Abbagliamento

La limitazione dell'abbagliamento è necessaria per evitare errori, affaticamento e incidenti, vale a dire per non pregiudicare l'affidabilità della prestazione visiva. L'abbagliamento debilitante assume generalmente un'importanza trascurabile, se la limitazione dell'abbagliamento molesto è efficace.

Per la valutazione dell'abbagliamento molesto direttamente prodotto da apparecchi di illuminazione artificiale si utilizza l'indice unificato di abbagliamento UGR (Unified Glare Rating), come riportato nella pubblicazione CIE 117-1995.

Valori limite dell'UGR sono previsti al punto 5.3 della UNI 12464-1:2004 per ogni specifico tipo di interno, compito o attività visiva.

I valori di UGR per ogni apparecchio di sono forniti dal fabbricante per determinate configurazioni di sistemi di illuminazione e geometrie degli ambienti, permettendo al progettista di calcolare (usando ad esempio programmi illuminotecnici) o determinare (usando le tabelle complete o ridotte) i valori di UGR dello specifico impianto.

Nel caso di impianti di illuminazione non recenti e dotati di corpi illuminanti sprovvisti di UGR fornito dal costruttore, si può far riferimento all'appendice A della sostituita Norma UNI 10380:1994.

A titolo indicativo, si riporta il grado di abbagliamento percepito e l'indice UGR corrispondente:

- intollerabile: > 28;
- quasi intollerabile: 28;
- fastidioso: 25;
- quasi fastidioso: 22;
- appena accettabile: 19;
- accettabile: 16;
- percepibile: 13;
- appena percepibile: 10.

#### **4.3.5 Indice di resa del colore**

Nella progettazione dell'illuminazione artificiale è importante valutare la capacità di una sorgente luminosa di non alterare significativamente il colore di un oggetto, soprattutto per quei compiti visivi incentrati sul corretto discernimento dei colori, oltre che per la sicurezza ed il benessere visivo in generale.

Ogni tipo di lampada è contraddistinta da uno specifico indice di resa del colore ( $R_a$ ); questo valore esprime l'effetto prodotto da quella sorgente luminosa sull'aspetto cromatico di un oggetto, confrontato con quello ottenuto da una sorgente campione. L'indice di massima fedeltà di resa cromatica è convenzionalmente fissato a 100 e valori decrescenti indicano la minore capacità della sorgente di rendere i colori.

Nel punto 5.3 della UNI EN 12464-1:2004 sono dati valori limite di  $R_a$  per diversi ambienti, compiti o attività; in nessun ambiente ove le persone lavorano o permangono per più tempo vanno comunque utilizzate lampade con un indice di resa del colore inferiore ad 80.

#### **4.3.6 Colore apparente della luce**

Ogni tipo di lampada emette luce di diversa tonalità a seconda della distribuzione spettrale della radiazione emessa ed è contraddistinta da una propria temperatura di colore. Questo parametro, espresso in Kelvin (K), è usato per individuare e classificare il colore apparente della luce emessa da una sorgente luminosa, confrontandola con la sorgente campione (corpo nero).

A seconda della temperatura di colore, le sorgenti si suddividono in tre gruppi:

- colore apparente caldo < 3300 K,
- colore apparente neutro da 3300 K a 5300 K,
- colore apparente freddo > 5300 K.

Nella progettazione occorre valutare quale sia il colore più adatto alle specifiche caratteristiche dell'ambiente e tener conto della correlazione che esiste tra la

temperatura di colore delle sorgenti ed i livelli di illuminamento nel determinare una condizione di benessere visivo (in generale, sorgenti luminose a bassa temperatura di colore sono preferibili per bassi livelli di illuminamento, ad alti livelli di illuminamento sono preferibili sorgenti a più elevata temperatura di colore).

#### 4.4 ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA

Tutti i posti di lavoro, in caso di pericolo, devono poter essere evacuati rapidamente ed in piena sicurezza. Un esodo rapido e sicuro presuppone che siano presenti percorsi senza ostacoli e adeguati alla natura dell'attività, alle dimensioni dei luoghi, al numero di persone presenti ed alla loro conoscenza dei luoghi, capacità di muoversi senza assistenza, ecc. e che tali percorsi, unitamente ai potenziali pericoli ed ai presidi di assistenza e soccorso, siano sempre riconoscibili in modo certo ed immediato, anche in mancanza dell'illuminazione normale, per evitare pericoli per l'incolumità delle persone.

**Tabella 4.7:** Applicazioni dell'illuminazione d'emergenza

ILLUMINAZIONE DI EMERGENZA Illuminazione destinata a funzionare quando l'alimentazione dell'illuminazione normale viene a mancare	
ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA Illuminazione finalizzata alla sicurezza delle persone	ILLUMINAZIONE DI SICUREZZA PER L'ESODO Illuminazione destinata a consentire alle persone un esodo sicuro mediante la corretta identificazione dei percorsi d'uscita e delle uscite, dei potenziali pericoli lungo i percorsi, dei dispositivi di sicurezza, di pronto soccorso e antincendio.
	ILLUMINAZIONE ANTIPANICO DI AREE ESTESE Illuminazione destinata ad evitare l'insorgere del panico ed a consentire alle persone di raggiungere un luogo da cui sia possibile identificare una via d'esodo.
	ILLUMINAZIONE DI AREE AD ALTO RISCHIO Illuminazione destinata alla sicurezza delle persone coinvolte in lavorazioni o situazioni potenzialmente pericolose ed a permettere l'esecuzione di corrette procedure d'arresto dei processi di lavorazione pericolosi anche per la sicurezza delle altre persone presenti.
ILLUMINAZIONE DI RISERVA Illuminazione finalizzata alla continuazione dell'attività	Illuminazione destinata al proseguimento dell'attività senza sostanziali cambiamenti e perciò tale da fornire un livello d'illuminamento pari a quello dell'illuminazione ordinaria. Livelli d'illuminazione di riserva inferiori devono essere utilizzati solo per chiudere o portare a termine un'attività. L'illuminazione di riserva deve essere conforme ai requisiti previsti dalle leggi e dalle norme per l'illuminazione di sicurezza qualora sia utilizzata anche come illuminazione di sicurezza.

Col termine di illuminazione di sicurezza ci si riferisce ad un sistema d'illuminazione alimentato da una sorgente di energia indipendente e destinato ad assicurare, qualora venga a mancare la fonte d'alimentazione ordinaria dell'illuminazione artificiale, un'adeguata visibilità nell'intero spazio di mobilità delle persone durante l'evacuazione ed in quei luoghi ove è necessario portare a termine operazioni potenzialmente pericolose prima di allontanarsi.

Secondo le definizioni della norma UNI EN 1838:2000, l'illuminazione di sicurezza è un'applicazione specifica dell'illuminazione d'emergenza, termine generico comprensivo di diverse forme d'illuminazione finalizzate alla sicurezza delle persone oppure alla continuazione dell'attività per ragioni diverse dalla sicurezza delle persone (Tabella 4.7).

Una corretta progettazione dell'illuminazione di sicurezza presuppone l'applicazione di disposizioni legislative, di norme tecniche ed un'attenta valutazione quel particolare luogo.

Nelle disposizioni legislative che prevedono l'obbligo di predisporre l'illuminazione di sicurezza, solitamente non sono indicati, o lo sono solo in parte, i requisiti illuminotecnici di tale sistema di illuminazione. Il riferimento in questi casi è costituito dalla norma UNI EN 1838:2000 che definisce i requisiti minimi che devono essere soddisfatti per l'intero periodo di autonomia dell'impianto e per tutto l'arco di vita delle apparecchiature luminose.

#### **4.4.1 Illuminazione di sicurezza per l'esodo**

In assenza dell'illuminazione ordinaria, la visibilità degli spazi da percorrere e delle indicazioni segnaletiche deve essere comunque tale che le persone possano identificare in modo inequivocabile il percorso verso un luogo sicuro e localizzare ed utilizzare dispositivi di sicurezza, antincendio e pronto soccorso. Tale illuminazione deve essere prevista in tutti i luoghi di lavoro, così come definiti dall'art. 30 del DLgs 626/94

I requisiti minimi da soddisfare per un'adeguata l'illuminazione di sicurezza sono:

*a) Altezza di installazione degli apparecchi illuminanti e direzione della luce*

Un percorso per l'esodo deve avere un'altezza minima di 2 m e perciò, per rendere ben visibile l'intero spazio di mobilità, gli apparecchi illuminanti vanno posti a non meno di tale altezza e preferibilmente a parete poiché, se installati a soffitto o a ridosso del soffitto, può esserne ridotta rapidamente la visibilità dal fumo in caso di incendio.

E' opportuno che il flusso luminoso sia diretto dall'alto verso il piano di calpestio.

*b) Collocazione degli apparecchi illuminanti*

Gli apparecchi d'illuminazione di sicurezza vanno posti lungo le vie d'esodo ed almeno nei seguenti punti:

- ad ogni porta di uscita prevista per l'emergenza e su ogni uscita di sicurezza indicata;
- vicino ed immediatamente all'esterno dell'uscita che immette in un luogo sicuro (Figura 4.8);

- vicino (meno di 2 m in senso orizzontale) alle scale ed in modo che ogni rampa sia illuminata direttamente (Figura 4.9);
- vicino (meno di 2 m in senso orizzontale) ad ogni cambio di livello (gradini, rampe, ecc.),
- in corrispondenza di ogni cambio di direzione,
- ad ogni intersezione di corridoi,
- in corrispondenza dei segnali di sicurezza,
- vicino (meno di 2 m in senso orizzontale) ad ogni punto di pronto soccorso (locale, cassetta di pronto soccorso, pacchetto di medicazione, punto telefonico di chiamata, ecc.)
- vicino (meno di 2 m in senso orizzontale) ad ogni dispositivo di sicurezza e attrezzatura antincendio (pulsanti di allarme, attrezzature di estinzione, punto telefonico di chiamata, ecc.).



Figura 4.8

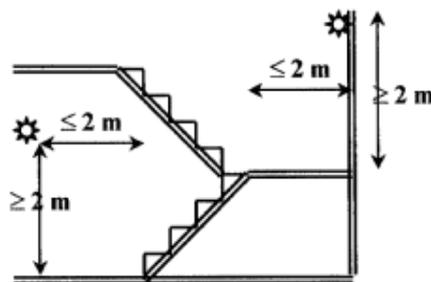


Figura 4.9

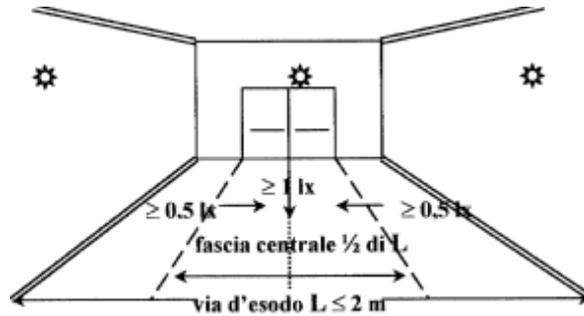
c) *Livello di illuminamento delle vie d'esodo*

La norma UNI EN 1838:2000 definisce valori minimi misurati al suolo (fino a 20 mm dal suolo) e calcolati senza considerare il contributo luminoso della luce riflessa, per :

- vie d'esodo di larghezza fino a 2 m: l'illuminamento orizzontale al suolo lungo la linea centrale non deve essere minore di 1 lx, mentre nella fascia centrale di larghezza pari ad almeno la metà della via d'esodo, l'illuminamento deve essere non meno del 50% di quello presente lungo la linea centrale (vedi Figura 4.10);
- vie d'esodo di larghezza superiore a 2 m: devono essere considerate come un insieme di vie d'esodo di 2 m e per ciascuna di esse vanno adottati i valori minimi sopraindicati, oppure essere dotate di illuminazione antipanico.

Diverse disposizioni legislative e particolarmente quelle attinenti la prevenzione degli incendi in luoghi in cui si svolgono attività particolari prescrivono un illuminamento non inferiore a 5 lx ad 1 m di altezza dal pavimento. Tale valore, che è comprensivo degli apporti della luce riflessa, in presenza di superfici chiare corrisponde all'incirca ad 1 lx misurato al suolo senza considerare il contributo delle riflessioni.

Il livello dell'illuminazione di sicurezza deve comunque tener conto del livello medio di illuminazione ordinaria poiché una riduzione repentina limita le condizioni di visibilità.



**Figura 4.10**

- d) *Livello di illuminazione di dispositivi e attrezzature di sicurezza, pronto soccorso e antincendio*

Nel caso che attrezzature e dispositivi non siano posti lungo le vie d'esodo o in un'area dotata di illuminazione antipanico, il livello di illuminazione al suolo deve essere di almeno 5 lx (escluso apporto della luce riflessa).

- e) *Uniformità dell'illuminamento*

Lungo la linea centrale della via d'esodo, il rapporto tra illuminamento massimo e minimo non deve essere maggiore di 40:1.

- f) *Abbagliamento*

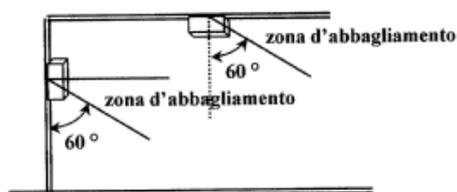
Per contenere l'abbagliamento debilitante (peggioramento istantaneo della visione e non corretta visione di ostacoli e segnali), l'intensità luminosa degli apparecchi entro le zone di possibile abbagliamento non deve essere maggiore dei valori di Tabella 4.8.

**Tabella 4.8:** Limiti dell'abbagliamento debilitante

ALTEZZA DAL SUOLO DELL'APPARECCHIO <b>h (m)</b>	ILLUMINAZIONE VIE D'ESODO E ANTIPANICO <b>Intensità luminosa massima <math>I_{max}</math> (cd)</b>
$h < 2,5$	500
$2,5 \leq h < 3,0$	900
$3,0 \leq h < 3,5$	1600
$3,5 \leq h < 4,0$	2500
$4,0 \leq h < 4,5$	3500
$h \geq 4,5$	5000

Per le vie di fuga orizzontali sono considerate zone d'abbagliamento quelle comprese nell'area tra 60° e 90° rispetto alla verticale e per qualunque angolo di osservazione, mentre per i percorsi non orizzontali (scale, rampe o altri

dislivelli) la zona di abbagliamento è costituita dall'intera area illuminabile dell'apparecchio e per qualunque angolo di osservazione (vedi Figura 4.11 e Figura 4.12).



**Figura 4.11:** zona di abbagliamento per vie di fuga orizzontali



**Figura 4.12:** zona di abbagliamento per vie di fuga non orizzontali

g) *Resa cromatica*

Il messaggio di un segnale di sicurezza è affidato anche al significato del suo colore e perché tale colore sia riconoscibile, il valore minimo dell'indice di resa cromatica  $R_a$  della sorgente luminosa non deve essere inferiore a 40.

h) *Autonomia di funzionamento*

Il tempo minimo di funzionamento dell'illuminazione di sicurezza deve essere di almeno 1 ora. Autonomie per tempi superiori sono previste da disposizioni di legge per particolari attività (es. 2 ore per le strutture sanitarie pubbliche e private).

i) *Tempo di intervento*

Entro 0,5 s dal momento in cui viene meno l'illuminazione ordinaria, l'illuminazione di sicurezza deve fornire il 50% dell'illuminamento richiesto ed entro 60 s l'illuminamento deve essere completo. Tempi di intervento inferiori sono previsti da disposizioni di legge per particolari attività (es. strutture sanitarie pubbliche e private, attività ricettive turistico-alberghiere, locali di intrattenimento e pubblico spettacolo, impianti sportivi).

#### 4.4.2 Illuminazione antipanico

Il venir meno dell'illuminazione ordinaria può generare panico nelle persone e lo stato di confusione e di disorientamento possono essere tali da determinare comportamenti impulsivi od impedire la capacità di reagire. L'illuminazione antipanico è destinata ad evitare l'insorgere di questo senso improvviso di paura e d'apprensione, fornendo una visibilità sufficiente per muoversi con sicurezza fino ad individuare e raggiungere una via d'esodo.

L'illuminazione antipanico è necessaria nelle aree nelle quali l'identificazione di una via d'esodo non è immediata, nelle aree con un elevato numero di persone, nelle aree di superficie maggiore di 60 m<sup>2</sup> (pr EN 50172).

I requisiti minimi da soddisfare per un'adeguata l'illuminazione antipanico sono:

a) *Altezza di installazione degli apparecchi illuminanti e direzione della luce*

Gli apparecchi devono essere installati ad un'altezza non inferiore a 2 m dal suolo ed il flusso luminoso è opportuno sia diretto dall'alto verso il pavimento.

b) *Livello di illuminamento*

L'illuminamento orizzontale al suolo non deve essere minore di 0,5 lx (escluso

apporto della luce riflessa) sull'intera area, ad esclusione di una fascia perimetrale di 0,5 m di larghezza.

Il livello dell'illuminazione antipanico deve comunque tener conto del livello medio di illuminazione ordinaria poiché una riduzione repentina limita le condizioni di visibilità.

- c) *Uniformità dell'illuminamento, abbagliamento, resa del colore, autonomia di funzionamento, tempo di intervento*

Si veda illuminazione di sicurezza per l'esodo.

#### **4.4.3 Illuminazione di aree ad alto rischio**

Nei luoghi di lavoro in cui si svolgono attività o avvengono processi potenzialmente pericolosi, la mancanza dell'illuminazione ordinaria determina condizioni particolari di rischio sia per i lavoratori direttamente incaricati della conduzione o della sorveglianza di tali attività o processi, sia per gli altri occupanti degli ambienti di lavoro. L'illuminazione di sicurezza ha quindi lo scopo di garantire la visibilità necessaria per compiere le corrette procedure d'arresto delle operazioni e la messa in sicurezza di macchine o impianti.

L'individuazione dei luoghi in cui è necessaria questa particolare illuminazione deve essere conseguente alla valutazione dei rischi che, ricordiamo, deve essere riferita non solo alle normali condizioni di lavoro, ma anche alle situazioni anomale prevedibili, quale è quella della mancanza dell'illuminazione ordinaria. A titolo esemplificativo, sono da considerarsi ad alto rischio gli impianti di processo nell'industria chimica, le centrali elettriche, le lavorazioni con presenza di prodotti pericolosi (esplosivi, infiammabili, tossici, nocivi, radioattivi, infettanti, ecc.) o che si avvalgono nel processo produttivo di fonti di calore (es. fonderie, trattamenti termici, cucine, panifici) oppure che richiedono l'impiego di mezzi di sollevamento e trasporto di carichi o, in generale, di macchine la cui conduzione non può essere sospesa in modo imprevedibile ed immediato senza rischio per la sicurezza dei lavoratori.

I requisiti minimi dell'illuminazione delle aree ad alto rischio sono:

- a) *Livello di illuminamento*

L'illuminamento mantenuto sul piano di riferimento non deve essere inferiore al 10% dell'illuminamento previsto per l'attività e comunque non minore di 15 lx (escluso apporto della luce riflessa); la sorgente di luce di sicurezza deve essere tale da non causare effetti di distorsione della visione di oggetti in movimento, facendoli apparire fermi o con moto diminuito o invertito oppure a scatti (effetti stroboscopici).

- b) *Uniformità dell'illuminamento*

Nelle zone ad alto rischio il rapporto tra illuminamento massimo e minimo non deve essere superiore di 10:1.

- c) *Abbagliamento*

Per contenere l'abbagliamento debilitante, l'intensità luminosa non deve essere inferiore dei valori della Tabella 4.9.

Le zone di abbagliamento sono considerate quelle comprese nell'area tra 60° e 90° rispetto alla verticale e per qualunque angolo di osservazione (Figura 4.11).

**Tabella 4.9:** limiti dell'abbagliamento debilitante

<b>ALTEZZA DAL SUOLO DELL'APPARECCHIO h (m)</b>	<b>ILLUMINAZIONE AREE AD ALTO RISCHIO Intensità luminosa massima <math>I_{max}</math> (cd)</b>
<b><math>h &lt; 2,5</math></b>	<b>1000</b>
<b><math>2,5 \leq h &lt; 3,0</math></b>	<b>1800</b>
<b><math>3,0 \leq h &lt; 3,5</math></b>	<b>3200</b>
<b><math>3,5 \leq h &lt; 4,0</math></b>	<b>5000</b>
<b><math>4,0 \leq h &lt; 4,5</math></b>	<b>7000</b>
<b><math>h \geq 4,5</math></b>	<b>10000</b>

*d) Resa cromatica.*

Si veda illuminazione di sicurezza per l'esodo.

*e) Autonomia di funzionamento.*

Il tempo di funzionamento dell'illuminazione deve essere almeno pari al tempo necessario per l'arresto e la messa in sicurezza di tutte le fonti di potenziale pericolo.

*f) Tempo di intervento.*

In relazione ai potenziali pericoli, le lampade del sistema d'illuminazione di sicurezza delle aree a rischio devono essere alimentate con modalità di funzionamento permanente (sempre accese), oppure fornire l'illuminamento richiesto in tempi non superiori a 0,5 s.