

Linee Guida: Illuminazioni nelle stazioni e fermate medio/piccole



Direzione Produzione
Direzione Asset Management e Controllo di Gestione
Servizi per le Stazioni

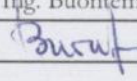
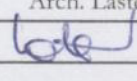
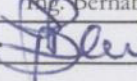
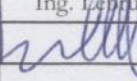
LINEA GUIDA

Codifica: **RFI DPR DAMCG LG SVI 008 A**

FOGLIO
1 di 91

ILLUMINAZIONE NELLE STAZIONI E FERMATE MEDIO/PICCOLE

PARTE	TITOLO
PARTE I	<p>I.1 SCOPO</p> <p>I.2 CAMPO DI APPLICAZIONE</p> <p>I.3 PRINCIPALI DOCUMENTI CORRELATI</p> <p>I.4 DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI</p>
PARTE II	<p>II.1 PRINCIPALI GRANDEZZE FOTOMETRICHE E RIFERIMENTI NORMATIVI</p> <p>II.2 SORGENTI LUMINOSE. PARAMETRI CARATTERISTICI E RIFERIMENTI NORMATIVI</p> <p>II.3 CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE E LORO IMPIEGO</p> <p>II.4 LA STRUMENTAZIONE FOTOMETRICA</p>
PARTE III	<p>III.1 CRITERI ED ELEMENTI PROGETTUALI PER LE AREE DI STAZIONE</p>
PARTE IV	ALLEGATI

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verifica Tecnica	Approvato	Autorizzato
A	29/10/2014	Emissione per applicazione	Firmato Ing. Buontempo	Firmato Arch. Lastei	Firmato Ing. Bernabei	Firmato Ing. Lebrato
						

PARTE I

I.1 SCOPO

Lo scopo del presente documento è quello di fornire una serie di elementi di base con cui individuare soluzioni progettuali in linea con le normative vigenti e le prescrizioni tecniche applicabili al fine di garantire una maggiore omogeneità nella progettazione degli impianti di illuminazione per le stazioni e fermate medio/piccole.

La progettazione dell'illuminazione delle stazioni deve trovare un giusto equilibrio tra sicurezza per chi lavora e comfort per chi viaggia. Inoltre l'ottimale contributo dato dalla luce artificiale è fondamentale per il riconoscimento della stazione come riferimento urbano. La scelta del tipo di apparecchio illuminante ed il relativo posizionamento deve essere effettuata in funzione dell'organizzazione dei percorsi pedonali di transito e di collegamento fra spazi scoperti o parzialmente scoperti (pensiline e marciapiedi) e spazi totalmente coperti (atri, eventuali aree dedicate all'attesa e servizi di stazione) con il duplice scopo di garantire i corretti livelli di illuminamento e di minimizzare gli effetti dell'abbagliamento a vantaggio del comfort.

Per quanto riguarda i livelli di illuminamento si farà senz'altro ricorso alle normative nazionali ed internazionali vigenti in ambito illuminotecnico. Per ciò che riguarda il controllo dell'abbagliamento, inoltre, sarà fondamentale pensare all'illuminazione verticale sulle pareti o sulle superfici verticali generalmente con flussi orientati in maniera opportuna. L'abbagliamento, infatti, determina una riduzione del comfort e può essere causato dagli stessi corpi illuminanti, se installati in posizione erranea, nonché da superfici circostanti con alta luminanza (abbagliamento diretto) o da riflessioni speculari di superfici circostanti lucide (abbagliamento indiretto). I valori del indice o grado di abbagliamento, determinabile con il metodo CIE Glare Rating (GR), variano su una scala con un minimo di 10 (nessun abbagliamento) ad un massimo di 90 (fortissimo abbagliamento). Per strutture come le stazioni si richiede solitamente un valore massimo dell'abbagliamento pari a 50. Un incremento del comfort visivo lo si può ottenere graduando la luminanza delle superfici caratterizzate da diversi livelli di illuminamento e che l'occhio del viaggiatore incontra transitando attraverso le zone poste all'interno della stazione. L'utilizzo di semplici strumenti di gestione della luce, in aggiunta, potrà aiutare a far dialogare meglio l'esterno e l'interno sia in condizioni di luce diurna che notturna. In termini di comfort e sicurezza nelle zone frequentate dai passeggeri, infine, la resa cromatica (Ra), indipendentemente dalle indicazioni normative, è sempre più importante. L'utilizzo di luce con tonalità bianca (da 3.000 a 4.000 K), difatti, migliora il contrasto e favorisce l'identificazione delle persone e degli oggetti.

I.2 CAMPO D'APPLICAZIONE

Le stazioni e fermate medio/piccole individuano la categoria di impianti ferroviari aperti al pubblico che, nell'ambito della Rete Ferroviaria Italiana, sono frequentemente oggetto di nuovi interventi realizzativi, ovvero di riqualificazioni e/o rifunzionalizzazioni. Tale categoria di impianti è costituita da fabbricati di varie dimensioni e tipologie e costituisce, numericamente, il sistema infrastrutturale di accesso al trasporto ferroviario più diffuso sul territorio.

Secondo la procedura in vigore che classifica gli impianti ferroviari aperti al pubblico, le categorie interessate dalla presente linea guida sono:

- **SILVER:** Categoria che comprende impianti caratterizzati di dimensioni medio/piccoli spesso impresenziate e prive di Fabbricato Viaggiatori e dotate unicamente di servizi regionali/metropolitani caratterizzati da elevate e consistenti frequentazioni (in alcuni casi > 4.000 frequentatori medi/giorno), ovvero stazioni e fermate caratterizzate da frequentazioni mediamente consistenti (> 500 frequentatori medi/giorno circa) e servizi per la lunga, media e breve percorrenza
- **BRONZE:** Categoria che comprende piccole stazioni e fermate caratterizzate da basse frequentazioni (generalmente < di 500 frequentatori medi/giorno), spesso impresenziate, prive di Fabbricato Viaggiatori e dotate di servizi unicamente per il traffico regionale/locale

I.3 PRINCIPALI DOCUMENTI CORRELATI

Linee guida per la progettazione

Servizi Igienici per il pubblico	Direzione Movimento Terminali Viaggiatori e Merci	Marzo 2002
Progettazione di piccole stazioni e fermate. Dimensionamento e dotazione degli elementi funzionali	Direzione Movimento Terminali Viaggiatori e Merci	26.04.2007
Indicazioni tecnico-funzionali per la progettazione della Sala Blu	Direzione Produzione Terminali e Servizi	12.09.2011
Accessibilità nelle stazioni a persone con disabilità e ridotta mobilità. Elementi per la progettazione	Direzione Produzione Terminali e Servizi	21.12.2011
Manuale di Progettazione per la riqualificazione delle stazioni di media importanza (1° Parte)	Direzione Produzione Terminali e Servizi	19.02.2013

Istruzioni, prescrizioni, procedure e norme RFI

Metodologia per la riqualificazione dei Fabbricati Viaggiatori	Direzione Movimento Terminali Viaggiatori e Merci	Marzo 2002
Specifica Tecnica di Fornitura – RFI DPRDIT STF IFS LF 627 A - Sistemi di telegestione ed efficientamento energetico degli impianti LFM ed utenze	Direzione Produzione Direzione Ingegneria e Tecnologie - Trazione Elettrica e SSE	30.04.2013
Procedura operativa direzionale – Classificazione degli impianti ferroviari aperti al pubblico	Da definire	29.07.2013

Principali Norme Tecniche Nazionali e Internazionali

Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le “Persone a Mobilità Ridotta” emissione del 2008	Unione Europea	21.12.2007
Norma UNI-EN 12464-1:2011 – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: Posti di lavoro in interni	Ente Nazionale Italiano di Unificazione	21.07.2011
Norma UNI-EN 12464-2:2008 – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 2: Posti di lavoro in esterno	Ente Nazionale Italiano di Unificazione	24.01.2008
Norma UNI-EN 12464-2:2014 – Lighting of work placet – Part 2: Outdoor work places	European Standard	13.03.2014
CEI EN 62471 - 2010 Sicurezza fotobiologica delle lampade e sistemi di lampade	Ente Nazionale Italiano di Unificazione	01.01.2010

Principale Normativa Nazionale

Dlgs 81/2008 - Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro	Repubblica Italiana	09.04.2008
DM 37/2008 – Disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all’interno degli edifici	Repubblica Italiana	22.01.2008
DM 10 marzo 1998 – Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell’emergenza nei luoghi di lavoro	Repubblica Italiana	10.03.1998
L.191/74 “Prevenzione degli infortuni sul lavoro nei servizi e negli impianti gestiti dall’Azienda Autonoma Ferrovie dello Stato”	Repubblica Italiana	08.06.1974

Documenti abrogati

Illuminazione per esterni: fabbricati viaggiatori aree a verde	Direzione Movimento Terminali Viaggiatori e Merci	Marzo 2002
Illuminazione nei fabbricati viaggiatori	Direzione Movimento Terminali Viaggiatori e Merci	Marzo 2002
Illuminazione nelle stazioni con tecnologia LED – Pensiline e sottopassaggi	Direzione Produzione Terminali e Servizi	30.11.2010

I.4 DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI

- F.V.: fabbricato viaggiatori;
- T.P.L.: Trasporto Pubblico Locale;
- PRM: Persona a Ridotta Mobilità ovvero una categoria di persone che hanno difficoltà ad utilizzare il treno e la relativa infrastruttura. Appartengono a questa categoria le persone su sedia a rotelle, le persone con problemi legati alla mobilità e le persone con disabilità sensoriali;
- STI-PRM: Specifica tecnica di Interoperabilità per le Persone a Ridotta Mobilità
- P.P.O.: Percorso Privo di Ostacoli ovvero un percorso totalmente accessibile alle persone con disabilità motorie e sensoriali che abbia origine all'ingresso dell'impianto ferroviario o nei punti d'interscambio - se presenti - che colleghi tutti i principali servizi dell'impianto ferroviario fino ai binari; in generale il Percorso Privo di Ostacoli dovrebbe collegare i seguenti servizi:
 - gli ingressi e le uscite dell'impianto ferroviario;
 - le fermate di altri modi di trasporto (taxi, bus, tram, metropolitana, ecc...);
 - il parcheggio autovetture;
 - l'ufficio informazioni e gli altri sistemi informativi;
 - le biglietterie;
 - i punti di assistenza per i passeggeri;
 - il deposito bagagli;
 - le aree di attesa;
 - i servizi igienici aperti al pubblico;

➤ i marciapiedi di stazione;

- Accessibilità delle stazioni ferroviarie: insieme delle caratteristiche dimensionali, informative, distributive ed organizzative dello spazio costruito in grado di consentire anche alle persone con difficoltà di movimento, menomazione psichica o sensoriale la fruizione agevole e sicura dei luoghi e delle attrezzature in esso presenti
- Pensilina: struttura generalmente a sbalzo, per lo più di ferro, acciaio o cemento armato, ma anche di materie plastiche, di dimensioni variabili, talvolta di ardita concezione architettonica, per proteggere dalla pioggia, dal sole e da altri agenti atmosferici le persone in sosta o in transito. La pensilina può essere anche una struttura indipendente, chiusa su due o tre lati e sostenuta da pilastri o colonnine, e talvolta dotata di illuminazione e sedili, se collocata alle fermate dei mezzi pubblici o sulle banchine ferroviarie;
- Banchina: marciapiede rialzato per agevolare l'accesso dei viaggiatori e delle merci.

PARTE II

II.1 PRINCIPALI GRANDEZZE FOTOMETRICHE E RIFERIMENTI NORMATIVI

Queste grandezze sono particolarmente utili per valutare, in termini qualitativi e quantitativi, le caratteristiche fisiche e funzionali della sorgente luminosa, dell'apparecchio illuminante e dell'impianto nel suo complesso. Ad ogni grandezza è associata la relativa unità di misura derivata dall'unità fondamentale fotometrica definita dal Sistema Internazionale (SI), la **candela**.

II.1.1 FLUSSO LUMINOSO

Data una sorgente di luce artificiale, il flusso luminoso Φ da essa generato è definito come la **quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo**. Il flusso è quindi la traduzione - in termini di radiazione visibile - di una potenza, ovvero la quantità di energia elettrica assorbita che la sorgente riesce a trasformare in energia luminosa, valutata tenendo conto della sensibilità dell'occhio. Non tutta l'energia assorbita - e di conseguenza restituita dalla sorgente - è trasformata in radiazione visibile. Una quota parte di essa, infatti, è trasformata in altre forme di energia non visibile dall'occhio umano (ultravioletti e infrarosso). E' per tale motivo che per misurare il flusso luminoso non si adotta direttamente il **watt**¹ bensì il **lumen** (simbolo **lm**). Il flusso luminoso è, quindi, legato alla potenza elettrica assorbita tramite una costante K_m .

II.1.2 INTENSITA' LUMINOSA

Una sorgente luminosa irradia generalmente il suo flusso in varie direzioni con diversa intensità.

¹ Il watt (simbolo **W**) è l'unità di misura della potenza nel Sistema Internazionale. La potenza nel SI è definita come il lavoro **L** (Joule, simbolo **J**) compiuto nell'unità di tempo **t** (secondo, simbolo **s**). In base al principio di uguaglianza tra lavoro ed energia, la potenza misura la quantità di energia scambiata nell'unità di tempo in un qualunque processo di trasformazione meccanico, elettrico, termico o chimico. Ricordiamo che il watt è una misura di potenza e non va confuso con il wattora (simbolo **Wh**) che, invece, è una misura di energia (potenza x tempo), ovvero l'energia prodotta dalla potenza di un watt per un'ora. Quindi una lampada che assorbe 100 W consuma, in due ore di funzionamento ordinario, 200 Wh. Il Wh non appartiene al SI in quanto contiene la misura del tempo espressa in ore e non in secondi. Frequentemente si utilizzano multipli del watt: il chilowatt (**kW**) equivalente a 1.000 W e il megawatt (**MW**) equivalente a 1.000.000 W. Analogamente avremo il chilowattora (**kWh**) equivalente a 1.000 Wh e il megawattora (**MWh**) equivalente a 1.000.000 Wh.

Nello studio dei fasci luminosi prodotti dalle sorgenti, quindi, è utile determinare come la quantità di flusso luminoso si propaga nello spazio.

In particolare è importante misurare la densità di flusso emessa da una sorgente contenuta idealmente in un cono (fig. II.1.2.1) che ha il vertice posto sulla sorgente luminosa e come asse una determinata direzione preferenziale. La grandezza fotometrica che descrive tale valore è l'**intensità luminosa I** definita dal rapporto fra flusso luminoso infinitesimale $d\Phi$ - emesso all'interno dell'angolo solido infinitesimale $d\Omega$ corrispondente all'angolo di apertura del cono ideale - e lo stesso $d\Omega$. L'intensità luminosa corrisponde, quindi, alla **quantità di flusso luminoso Φ per unità di angolo solido in una determinata direzione**; essa è necessariamente una grandezza vettoriale² poiché il proprio valore dipende, oltre che dal valore numerico reale, anche dalla "direzione" dello spazio in cui essa "misurata".

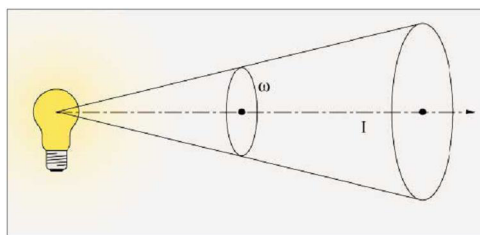


fig. II.1.2.1 - Visualizzazione del cono ideale emesso dalla sorgente luminosa nella direzione orizzontale ($\omega = \Omega$). "Al limite", assottigliando, cioè, sempre più l'apertura del cono, il valore dell'intensità luminosa I è pari al rapporto fra il flusso emesso dalla sorgente ϕ e l'angolo solido ω (fonte Internet)

L'unità di misura dell'intensità luminosa è la **candela** (simbolo **cd**). Nel SI la candela è l'unità fondamentale della fotometria, per cui è da essa, e non dal flusso luminoso, che si fanno derivare tutte le altre grandezze fotometriche.

Per evitare di utilizzare delle complicate tabelle che mostrano il valore dell'intensità luminosa dell'apparecchio illuminante per ogni direzione dello spazio (ricordiamo che I è una grandezza vettoriale e quindi non rappresentabile con un "semplice" numero reale) si suole rappresentare le intensità con segmenti di lunghezza proporzionale al valore dell'intensità luminosa. I segmenti sono tutti uscenti dal centro ideale della sorgente luminosa. L'insieme dei valori delle intensità luminose emesse da un apparecchio in ogni direzione dello spazio forma il cosiddetto **solido fotometrico** (fig. II.1.2.2).

Poiché risulta complicato rappresentare in maniera adeguata il solido fotometrico in tre dimensioni,

² Una grandezza scalare è una grandezza fisica che viene descritta, dal punto di vista matematico, da uno **scalare**, cioè da un numero reale associato ad una unità di misura. Viene così definita poiché il suo valore può essere letto su una scala graduata di uno strumento di misura e, a differenza delle grandezze vettoriali, non necessita di altri elementi per essere identificata. Una grandezza vettoriale è, al contrario, una grandezza fisica che viene descritta, dal punto di vista matematico, da un **vettore**. Tale grandezza, a differenza delle grandezze scalari, è definita non solo da un valore numerico reale (il suo modulo), ma anche dalla propria direzione e dal verso. Esempi di grandezze scalari sono la massa, la pressione, la temperatura, il volume. Esempi di grandezze vettoriali sono: la forza, la velocità, l'accelerazione.

vengono generalmente adottate rappresentazioni a due dimensioni. Per tale motivo nei cataloghi sono presentate le curve fotometriche ottenute come intersezione del solido fotometrico con due piani normali (ortogonali fra loro) rispettivamente il piano longitudinale e il piano trasversale passanti per il centro ottico dell'apparecchio. Si parlerà, quindi, di curva fotometrica (fig. II.1.2.3) che rappresenta, sotto forma di diagramma polare, la distribuzione delle intensità luminose di un apparecchio.

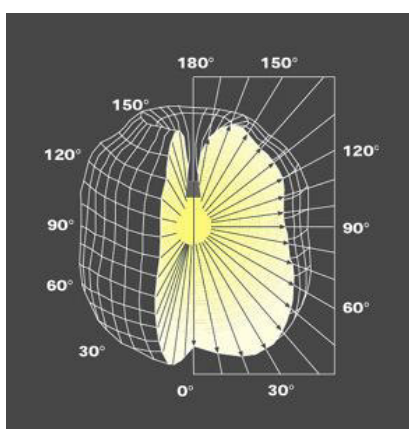


fig. II.1.2.2 – Esempio di solido fotometrico (fonte Internet)

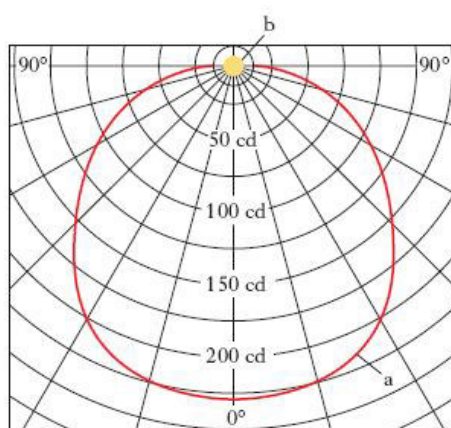


fig. II.1.2.3 – Esempio di curva fotometrica di un generico apparecchio riferita al piano trasversale (fonte Internet)

Osservando la curva fotometrica di un apparecchio si riesce a comprendere come avviene la distribuzione della luce nello spazio. Il sistema più diffuso per definire i piani di sezione su cui si tracciano le curve fotometriche è quello secondo il quale il solido fotometrico è rappresentato tramite un fascio di piani che hanno in comune un asse corrispondente all'asse ottico principale

uscite dall'apparecchio (fig. II.1.2.4). I piani vengono individuati con la sigla C, seguita dal valore dell'angolo che esprime la rotazione del piano rispetto al piano di riferimento; ad esempio i piani $C0^\circ$, $C90^\circ$, $C180^\circ$ e $C270^\circ$ individuano quelli di interesse principale (longitudinali e trasversali) come mostrato in fig. II.1.2.5.

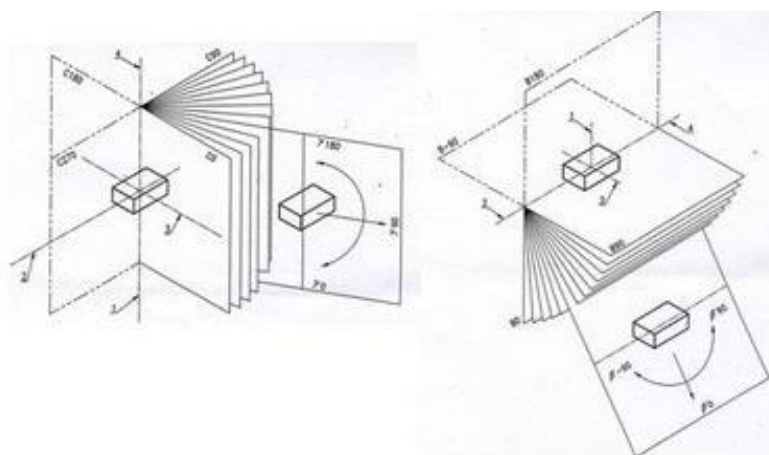


fig. II.1.2.4 – Scomposizione del solido fotometrico in infiniti piani trasversali e longitudinali (fonte Internet)

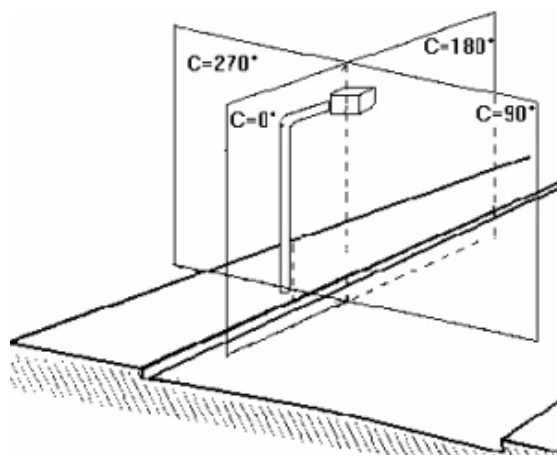


fig. II.1.2.5 – Individuazione dei piani trasversali e longitudinali (fonte Internet)

I valori di intensità giacenti su ciascun piano vengono indicati con la lettera greca γ seguita dal valore dell'angolo che ciascuna direzione forma con l'asse ottico di riferimento. Gli angoli partono dal valore 0° , che corrisponde all'asse ottico, e proseguono in senso antiorario con valori crescenti fino a 180° ; tale angolo coincide con la retta dell'asse ottico principale, ma in direzione opposta alla

precedente. Normalmente su uno stesso grafico si riportano i valori di due semipiani contrapposti (ad esempio C0-C180 piano longitudinale e C90-C270 piano trasversale), rispettivamente alla sinistra e alla destra dell'asse ottico.

Poiché spesso un apparecchio può essere equipaggiato con lampade diverse che hanno le medesime caratteristiche geometriche, ma che emettono una diversa quantità di flusso, si preferisce riportare sul grafico un valore relativo anziché un valore assoluto. Per questo motivo viene fornita una sola curva con i valori di intensità relativi a una lampada convenzionale di 1.000 lumen. Questo parametro permette di svincolare le curve fotometriche di un apparecchio dal tipo di lampada utilizzata. Invece di valori assoluti di candele, dunque, si forniscono le candele/chilolumen (cd/klm). Per ottenere la reale intensità in candele è sufficiente moltiplicare il valore espresso sul grafico per i kilolumen delle lampade utilizzate.

Se ad esempio prendiamo la curva fotometrica riportata nella fig. II.1.2.6 si può notare come l'intensità massima si attesta attorno ai 70° in direzione longitudinale rispetto alla verticale dell'apparecchio (piano C0-C180, di colore blu), con una intensità I pari a circa 720 cd/klm e cala rapidamente per direzioni più verticali fino a circa 180 cd/klm. Osservando invece il piano C90-C270, di colore rosso, ci si accorge che la luce è direzionata verso il basso con fascio di apertura molto stretto (circa 60°) di intensità pari a circa 180 lumen.

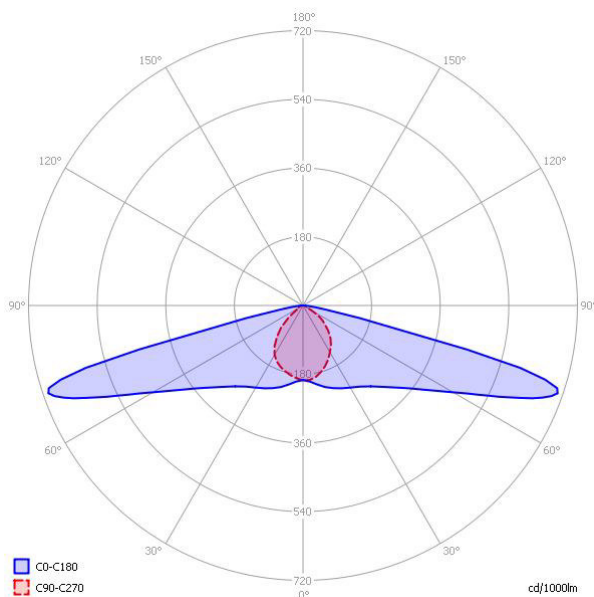


fig. II.1.2.6 – Esempio di curva fotometrica per i piani C0-C180 tratto blu e C90-C270 tratto rosso (fonte Internet)

II.1.3 LUMINANZA

Fino ad ora, per definire le grandezze ed unità di misura fotometriche, ci siamo riferiti a sorgenti idealmente puntiformi. Nella realtà i corpi che emettono luce hanno sempre dimensioni finite. A tale scopo è introdotta la **luminanza L** la cui unità di misura è la **candela al metro quadro** (cd/m^2 o nit). La luminanza, in sostanza, esprime la **quantità di luce prodotta (o riflessa) da una superficie irradiante (o riflettente) in una determinata direzione in rapporto all'area della superficie in questione percepita dal punto di vista dell'osservatore** (vale a dire secondo la proiezione geometrica della superficie perpendicolare all'asse di osservazione). Anche la luminanza è una grandezza vettoriale poiché la sua misura, come detto, si effettua lungo una direzione che è quella che congiunge la sorgente all'osservatore. L'indicazione della luminanza è utile a determinare la sensazione di luce percepita dall'osservatore oltre che l'eventuale disagio provocato dall'abbagliamento. Due sorgenti possono avere, in una stessa direzione, la medesima intensità luminosa, ma valori di luminanza molto diversi a seconda della dimensione della sorgente percepita dall'osservatore. Se, ad esempio, una delle due ha una estensione molto maggiore dell'altra (tubo fluorescente la prima e lampada a ioduri metallici la seconda), il flusso uscente che proviene dalla prima sorgente assume una minore luminanza rispetto alla seconda. Il fenomeno dell'abbagliamento (preso in considerazione dalle normative vigenti in materia di illuminazione) è molto importante nella progettazione e nella scelta degli apparecchi illuminati in quanto la presenza nel campo visivo di una zona con luminanza molto elevata, rispetto alla luminanza media del campo, riduce la capacità visiva dell'individuo con possibili ripercussioni sulla sicurezza o sulla salute propria dell'individuo. Tale circostanza si verifica, ad esempio, quando di notte incrociamo un veicolo con fari "alti" o quando le fonti luminose capitano, magari per riflessione su superfici lucide, nel nostro normale campo di osservazione. Si distinguono due tipi di abbagliamento: l'abbagliamento debilitante (disability glare) che consiste in un peggioramento istantaneo delle funzioni visive e l'abbagliamento molesto (discomfort glare) che si manifesta come un senso di disagio visivo che non sempre causa forti disturbi alla visione, ma che a lungo andare provoca fatica visiva, stress, difficoltà di concentrazione, riduzione della capacità di attenzione, aumento delle probabilità di errore diminuzione di rendimento. Se i limiti dell'abbagliamento molesto (quello diretto) sono soddisfatti, l'abbagliamento debilitante assume generalmente un'importanza trascurabile.

II.1.3.1 Luminanza - Impianti di illuminazione per interni

La norma UNI EN 12464-1 descrive le modalità di limitazione dell'abbagliamento soprattutto quello causato direttamente dagli apparecchi di illuminazione introducendo l'**indice unificato dell'abbagliamento UGR** (Unified Glare Rating). L'UGR è un numero il cui valore cresce con l'abbagliamento e dipende dalla luminanza sia dell'apparecchio che dell'ambiente circostante, nonché dalla posizione dell'osservatore. Il valore di UGR è calcolato con opportuni software forniti dai costruttori ed è determinabile, in alternativa, applicando la norma EC 1-2012 UNI 11165:2005 "Illuminazione di interni – Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo

UGR³ o, in altri casi, è direttamente riportato nei cataloghi costruttori. L'indice UGR massimo per ciascun locale (in base all'attività svolta) non deve superare il valore limite di UGR_L imposto dalla norma. Generalmente, per limitare l'abbagliamento diretto, le sorgenti luminose a forte luminosità devono essere adeguatamente schermate con un angolo α di schermatura proprio dell'apparecchio illuminante in funzione della luminanza della sorgente (fig. II.1.3.1.1).

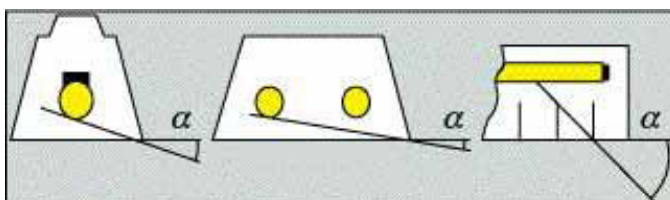


fig. II.1.3.1.1 – Angoli di schermatura α di alcuni apparecchi illuminanti (fonte Zumtobel Lighting)

La norma richiede valori di α minimi in funzione della luminanza della sorgente luminosa secondo la tabella seguente (fig. II.1.3.1.2):

Luminanza della lampada L [kcd/m ²]	Angolo minimo di schermatura
$20 \leq L < 50$	15°
$50 \leq L < 500$	20°
$L \geq 500$	30°

fig. II.1.3.1.2 – Angolo di schermatura minimo degli apparecchi illuminanti in funzione della propria luminanza (fonte Internet)

Quindi al crescere della luminanza delle sorgenti luminose, cresce l'angolo di schermatura α dell'apparecchio, che si traduce in una riduzione del fascio di apertura del cono illuminante.

³ La norma riporta la seguente formula, peraltro difficilmente applicabile, per il calcolo dell'indice UGR:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right)$$

dove L_b è la luminanza dell'ambiente in cui opera l'osservatore, L_i è la luminanza delle parti luminose di ogni apparecchio nella direzione dell'osservatore, ω_i è l'angolo solido delle parti luminose di ogni apparecchio nella direzione dell'osservatore, p_i è l'indice di Guth per ogni singolo apparecchio e n è pari al numero di apparecchi presenti in quel determinato ambiente. L'utente, però, non conosce il valore di p_i e quindi per calcolare l'UGR deve affidarsi ai software distribuiti dai produttori di apparecchi illuminanti.

II.1.3.2 Luminanza - Impianti di illuminazione per esterni

La norma UNI EN 12464-2 richiede di limitare genericamente l'abbagliamento per non incorrere in errori dovuti ad una visione distorta della realtà, all'affaticamento e in incidenti. Questa indicazione è particolarmente importante quando la direzione della visione è poco sopra l'orizzonte ottico dell'osservatore (poiché la possibilità di abbagliamento è maggiore), come accade, ad esempio, ai viaggiatori presenti sulle banchine sotto pensilina. Per tale motivo la norma impone un limite massimo all'indice di abbagliamento GR_L . L'abbagliamento, in tali casi, può essere limitato mediante:

- l'installazione degli apparecchi illuminanti in opportune posizioni
- la finitura delle superfici circostanti che devono essere il più possibile opache (meno riflettenti)
- la scelta di apparecchi a bassa luminanza
- l'aumento dell'area luminosa dell'apparecchio illuminante

Il primo punto sopra riportato è particolarmente importante nelle più recenti installazioni sotto pensilina, in virtù del fatto che l'abbagliamento prodotto da sorgenti luminose non puntiformi (gli apparecchi da esterno a LED privi di schermo), è decisamente superiore a quello prodotto da lampade a scarica con bulbo rivestito (lampade fluorescenti).

II.1.4 LIVELLI DI ILLUMINAMENTO E UNIFORMITA' DI ILLUMINAMENTO

Nella progettazione illuminotecnica è necessario valutare l'entità della luce che investe una determinata superficie o, in termini più generali, l'ambiente da illuminare (ad esempio l'ufficio in cui un lavoratore presta servizio). Se, pertanto, misuriamo la quantità di luce nell'unità di tempo (i lumen) prodotta da una sorgente luminosa puntiforme collocata al centro di una sfera ideale siamo in grado di calcolare il livello di illuminamento o più semplicemente l'**illuminamento E** (unità di misura **lux**, simbolo **lx**) di una parte unitaria della superficie interna alla sfera stessa. L'illuminamento è una grandezza scalare e **corrisponde al flusso luminoso di intensità pari ad 1 cd ricevuto da una superficie di 1 m²**. Solitamente, per caratterizzare il livello di illuminamento di un certo ambiente, ci si riferisce all'**illuminamento medio mantenuto E_m** che rappresenta il valore al di sotto del quale l'illuminamento medio non deve mai scendere, qualunque sia lo stato di installazione e l'età dell'impianto.

Il livello d'illuminamento, spesso considerato l'unico parametro interessante di un impianto, rappresenta, invece, solo una parte degli effetti prodotti dall'impianto di illuminazione stesso nei

confronti dell'osservatore. Ogni persona può gradire livelli d'illuminamento diversi e anche lo stesso individuo, in base al proprio temporaneo stato d'animo e fisico, può preferire un livello di illuminamento più o meno accentuato. L'occhio umano riesce a distinguere delle forme anche con solo 5 lux, percepire forme e colori con almeno 30 lux, leggere e lavorare da 150 lux in poi. In una giornata di sole all'aperto possiamo avere livelli di illuminamento pari anche a 100.000 lux.

Per valutare velocemente i livelli di illuminamento che una sorgente riesce a garantire sono spesso presenti nei cataloghi i cosiddetti diagrammi conici (fig. II.1.4.1) in cui vengono mostrati i valori di illuminamento medio ottenibili attraverso la conoscenza di alcune grandezze dimensionali fra cui l'altezza utile (distanza fra la superficie di emissione luminosa ed il piano di lavoro), il diametro del cono luminoso (caratterizzato dal fatto che sul margine del cono si ha la metà del valore di illuminamento massimo) e l'angolo di apertura del fascio luminoso.

h (m)	Ø (m)	$V=0.0 \quad \alpha=\beta=9^\circ$	Emed (lx)
4.00	0.63		706
8.00	1.27		176
12.00	1.90		78
16.00	2.53		44
20.00	3.17		28

h (m)	Ø (m)	$V=0.0 \quad \alpha=\beta=37^\circ$	Emed (lx)
1.00	0.69		1633
2.00	1.38		408
3.00	2.07		181
4.00	2.75		102
5.00	3.44		65

fig. II.1.4.1 – Esempi di diagrammi conici da cui si evince che l'apertura totale del fascio è, nel primo caso, 18° (fascio stretto/spot) e nel secondo 74° (fascio medio). L'illuminamento medio a terra, per un'altezza di installazione dell'apparecchio illuminante a fascio stretto pari a 4 metri, è 706 lux con una impronta a terra del diametro di 0,63 metri. L'illuminamento medio a terra, per un'altezza di installazione dell'apparecchio illuminante a fascio medio pari a 5 metri, è 65 lux con una impronta a terra del diametro di 3,44 (fonte Internet)

Questo tipo di diagramma è sempre suddivisibile sui piani trasversale e longitudinale ed è utilizzato soprattutto per apparecchi simmetrici (ad esempio i faretto).

II.1.4.1 Illuminamento e uniformità - Impianti di illuminazione per interni

Per conoscere i livelli di illuminamento medio mantenuto da garantire in ogni specifico ambiente interno si dovranno consultare le tabelle inserite nelle già citate normative UNI EN 12464-1

“Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: Posti di lavoro in interni” e la STI-PRM. La norma caratterizza le zone di lavoro distinguendole in base alla funzione che vi si svolge. Si parlerà, quindi, di:

- **zona del compito visivo⁴** (o in breve **zona di lavoro**): parte del luogo di lavoro dove il compito visivo viene espletato
- **zona immediatamente circostante**: la fascia di larghezza pari ad almeno 0,5 metri circostante la zona del compito visivo precedentemente definita

L’individuazione delle zone di lavoro riveste particolare importanza perché la norma richiede il rispetto dei livelli di illuminamento solo in tali zone e in quelle immediatamente circostanti. Se in un ambiente non sono definite puntualmente le aree in cui si svolge il lavoro, si assumerà che la zona di lavoro si estenda, ragionevolmente, a tutto l’ambiente con $U_0 > 0,4$. Nella zona di lavoro è richiesta una uniformità di illuminamento⁵ U_0 pari ad almeno 0,7. Nella zona immediatamente circostante la zona di lavoro, l’illuminamento mantenuto non deve essere inferiore ai valori della tabella II.1.4.1.1 e l’uniformità di illuminamento deve risultare almeno pari a 0,5.

Illuminance on the task area E_{task} lux	Illuminance on immediate surrounding areas lux
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

fig. II.1.4.1.1 – Valori minimi di illuminamento mantenuto nelle zone immediatamente circostanti le zone di lavoro in funzione dei valori di illuminamento delle zone del compito. Per valori di illuminamento medio mantenuto delle zone del compito visivo ≤ 150 lux, l’illuminamento medio mantenuto delle zone circostanti deve essere lo stesso del compito

⁴ Per compito visivo la norma intende l’insieme degli elementi che caratterizzano il lavoro da svolgere in quella determinata zona. Gli elementi presi in considerazione per determinare il compito sono: le dimensioni degli oggetti presenti nella zona, i dettagli, la luminanza degli oggetti e degli elementi circostanti, il contrasto rispetto allo sfondo, la durata del lavoro da svolgere e dunque dell’attività visiva, ecc...

⁵ L’uniformità di illuminamento U_0 di una superficie è il rapporto fra il valore di illuminamento minimo presente sulla superficie stessa e il valore di illuminamento medio.

Sono da considerare ambienti interni i seguenti:

- atri, sale di attesa;
- corridoi di collegamento e zone di circolazione coperte e chiuse su almeno tre lati;
- sottopassi, sovrappassi, passerelle aeree coperte;
- uffici, locali di lavoro;
- locali tecnici;
- servizi igienici.

II.1.4.2 Illuminamento e uniformità - Impianti di illuminazione per esterni

Per conoscere i livelli di illuminamento medio mantenuto da garantire in ogni specifico ambiente esterno si dovranno consultare le tabelle inserite nelle già citate normative UNI EN 12464-2 "Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: Posti di lavoro in esterno" e la STI-PRM. La norma individua la zona di lavoro in base alla funzione che vi si svolge. Si parlerà, quindi, di:

- **zona del compito visivo** (o in breve **zona di lavoro**): parte del luogo di lavoro che racchiude la superficie sulla quale viene svolta l'attività visiva. La zona di lavoro può essere costituita da una superficie sia verticale che orizzontale che obliqua;
- **zona circostante**: la fascia di larghezza pari ad almeno 2 metri circostante la zona del compito visivo precedentemente definita.

Illuminamento del compito	Illuminamento delle zone circostanti
> 500	100
300	75
200	50
150	30
$50 < E_{\text{compito}} < 100$	20
Uniformità: indicata per ogni singola attività	Uniformità: > 0,10

fig. II.1.4.2.1 – Valori minimi di illuminamento mantenuto nelle zone circostanti le zone del compito in funzione dei valori di illuminamento di quest'ultime. Per valori di illuminamento medio mantenuto delle zone del compito visivo <50 lux, la norma non specifica nulla (fonte Internet)

Nella zona circostante la zona di lavoro l'illuminamento mantenuto⁶ può essere inferiore di quello delle zone del compito secondo i valori riportati nella tabella II.1.4.2.1 mentre il grado di uniformità dell'illuminamento U_0 non deve essere comunque inferiore a 0,1.

Nei casi in cui non siano note le dimensioni e/o la disposizione della superficie sulla quale viene svolta l'attività, deve essere assunta come tale l'area che comprende le superfici sulle quali tale attività può aver luogo.

La norma, quindi, stabilisce che nella zona di lavoro siano garantiti livelli di illuminamento medio mantenuto E_m sotto i quali non è permesso scendere. Si può, però, aumentare l'illuminamento di almeno un gradino della scala degli illuminamenti⁷, in particolari condizioni, quali ad esempio:

- il compito visivo o il lavoratore sono in movimento;
- il lavoro è svolto per un tempi eccezionalmente lunghi;
- sono molto importanti accuratezza (ed alta produttività);
- gli errori sono costosi da correggere;
- il compito visivo è critico.

⁶ Per il calcolo e la verifica dei valori di illuminamento nella zona del compito visivo e nelle zone circostanti occorre utilizzare un sistema a griglia che abbia le caratteristiche riportate al par. 4.3.3 nella stessa UNI EN 12464-2. Per ottenere misure attendibili è possibile determinare indicativamente, secondo la tabella di seguito riportata, il numero di misure da effettuare e le dimensioni della griglia in funzione delle dimensioni dell'area da verificare. Il punto di calcolo deve essere baricentrico alla maglia (fonte Internet).

Length of the space in metres	Maximum distance between grid points in metres	Minimum number of grid points
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

⁷ La scala degli illuminamenti in lux raccomandati dalla norma è la seguente: 5-10-15-20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1.000-1.500-2.000 lux.

Viceversa è possibile ridurre l'illuminamento medio mantenuto quando:

- i dettagli del compito visivo sono eccezionalmente grandi o con contrasto particolarmente elevato;
- il lavoro è svolto per un tempo eccezionalmente breve o solo in rare occasioni.

E', pertanto, compito del progettista dell'impianto valutare, in funzione delle reali condizioni di esercizio dell'impianto stesso, l'opportunità di garantire livelli di illuminamento superiori o inferiori rispetto a quelli consigliati dalla norma.

Per garantire l'uniformità nelle zone del compito, in analogia con quanto riportato nella norma per i posti di lavoro in interno, la norma fissa un valore minimo del grado di uniformità U_0 . Per quanto riguarda l'abbagliamento, la norma impone un limite massimo all'indice di abbagliamento GR_L calcolato mediante il metodo CIE. Infine è richiesta una resa minima del colore delle lampade utilizzate caratterizzate dall'indice generale di resa del colore R_a . Nessuna indicazione è data circa la temperatura di colore delle sorgenti utilizzate.

Sono da considerare ambienti esterni i seguenti:

- pensiline e marciapiedi coperti o scoperti;
- aree esterne al fabbricato viaggiatori;
- aree di accesso in genere;
- parcheggi e zone all'aperto per la sosta temporanea;
- kiss and ride.

II.2 SORGENTI LUMINOSE. PARAMETRI CARATTERISTICI E RIFERIMENTI NORMATIVI

Le sorgenti di luce artificiale, opportunamente scelte ed inserite negli apparecchi di illuminazione, costituiscono i mezzi tecnici impiegati nella realizzazione dell'impianto di illuminazione. La scelta di un tipo di sorgente in luogo di un altro dipende da molteplici fattori ed è motivata da esigenze funzionali, impiantistiche, estetiche e di costo. L'impianto, infatti, deve garantire contemporaneamente comfort visivo e sicurezza delle persone che frequentano un determinato ambiente, far risaltare adeguatamente la plasticità e la cromaticità degli oggetti e in genere delle superfici illuminate, rappresentare un utile deterrente contro le azioni criminose e/o vandaliche, ottenere un significativo risparmio economico nel consumo di energia elettrica e semplificare, per quanto possibile, le periodiche operazioni di manutenzione e mantenimento in efficienza dell'impianto.

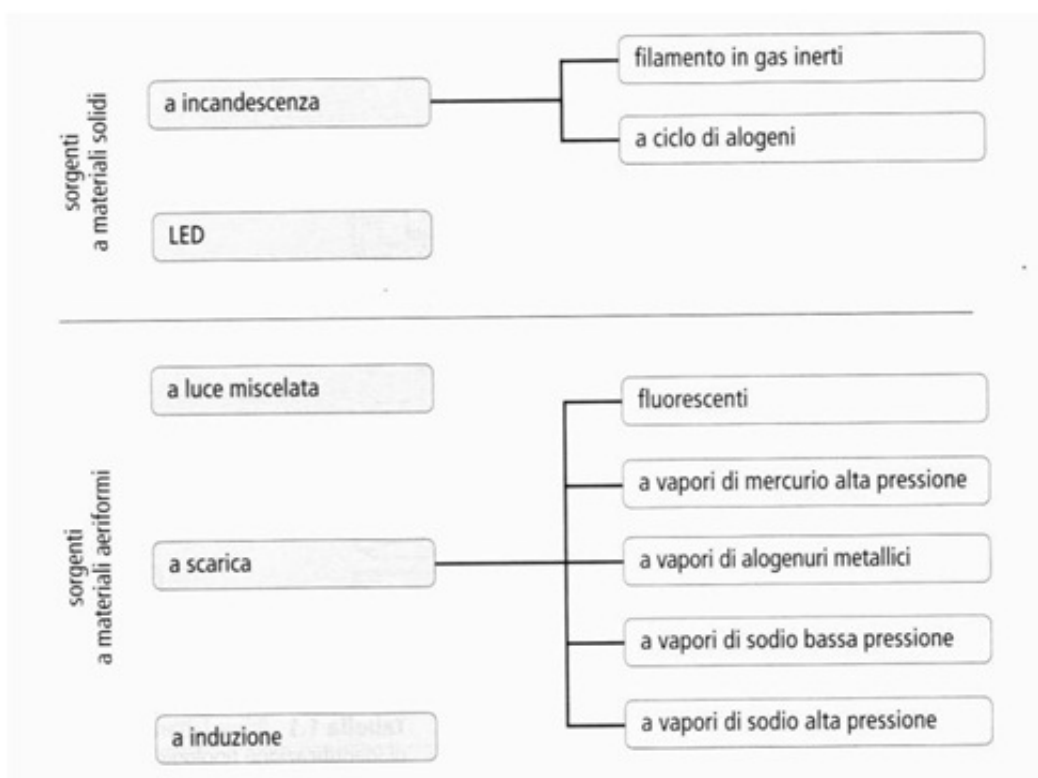


fig. II.2.1 – Esempio di classificazione delle sorgenti luminose (fonte Voltimum)

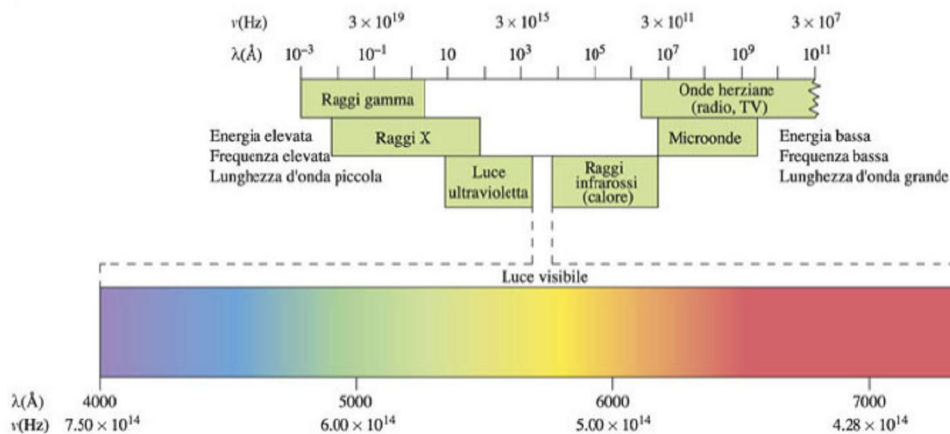
I parametri che permettono di comparare fra loro le diverse sorgenti luminose sono molteplici, così come anche le possibili scelte in base alle tipologie presenti in un mercato vasto ed in continua

evoluzione.

II.2.1 EFFICIENZA LUMINOSA

Le sorgenti di luce artificiale sono dispositivi composti da parti elettriche e meccaniche alle quali è affidato il compito di trasformare - nel rispetto delle leggi fisiche della termodinamica - l'energia elettrica di alimentazione in un flusso di radiazioni elettromagnetiche contenute nella banda spettrale del visibile⁸. Proprio l'applicazione delle leggi della termodinamica nelle trasformazioni dell'energia fra le diverse forme, però, comporta necessariamente la presenza di fenomeni dissipativi. L'energia, nel proprio passaggio dall'elettricità alla luce, si degrada in modo irreversibile in misura variabile a seconda del tipo di sorgente luminosa considerata. Non tutta l'energia impiegata per il funzionamento della sorgente di luce artificiale, perciò, sarà trasformata in energia luminosa utile. E' ben noto il fatto che una lampada durante il suo funzionamento si scalda; ebbene il calore emesso dalla lampada è l'indizio che parte dell'energia utilizzata per il funzionamento della lampada stessa si perde in maniera irreversibile senza dare un contributo attivo all'illuminazione. Questa esperienza comune introduce il concetto di **efficienza luminosa** η (unità di misura lumen/watt, simbolo lm/W) che, in altri termini, rappresenta il **rendimento della sorgente**. L'efficienza luminosa è espressa come rapporto fra il flusso luminoso emesso dalla sorgente in esame e la potenza elettrica assorbita. Il valore limite teorico di una sorgente luminosa è 683 lm/W, ma in pratica le sorgenti luminose di cui disponiamo attualmente posseggono efficienze luminose molto inferiori (fig. II.2.1.1).

⁸ La natura della luce è la stessa di altre radiazioni elettromagnetiche presenti nello spazio che ci circonda quali, per esempio, le onde radio, la luce ultravioletta, gli infrarossi, i raggi X e i raggi γ . Tutti questi tipi di radiazioni fanno parte di una gamma di radiazioni elettromagnetiche che compongono il cosiddetto "spettro elettromagnetico". Solo una piccola parte di quest'ultimo - collocata in una ben determinata banda dello spettro contraddistinta da un insieme di lunghezze d'onda compreso fra 380 nm e 780 nm - è, però, percepita dall'occhio umano sotto forma di luce e colori (fonte Internet).



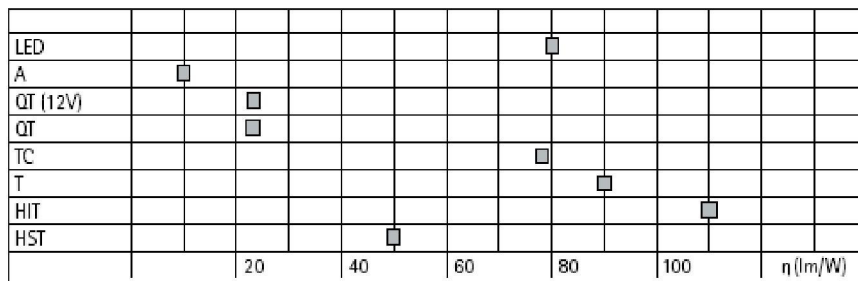


fig. II.2.1.1 – Tabella riepilogativa delle efficienze luminose. Legenda: A - incandescenza; QT - alogena; TC - fluorescente compatta; T - fluorescente lineare; HIT - alogenuri metallici; HST - vapori di sodio (fonte ERCO)

E' evidente che tale grandezza riveste grande importanza soprattutto negli impianti di illuminazione che utilizzano apparecchi di grande potenza con tempi di accensione prolungati (aree esterne al FV, parcheggi, sottopassi, pensiline).

II.2.2 DURATA MEDIA

Nei casi in cui l'impianto debba essere mantenuto in attività per lunghi periodi della giornata, oltre alla già citata efficienza luminosa, è utile prendere in considerazione la **durata media** (misurata in ore, simbolo h) delle sorgenti, ovvero il tempo di vita utile durante il quale la sorgente garantisce un livello minimo di flusso luminoso prima che esso decada, in maniera naturale, sotto un certo limite. Il dato di **decadimento del flusso luminoso** è un indice della qualità del prodotto; in presenza di lampade con forti decadimenti sorge il problema della coesistenza, in un impianto, di lampade nuove (perché appena sostituite) e lampade preesistenti. Queste ultime, ovviamente, emetteranno un flusso inferiore rispetto alle prime cosicché si presenteranno nello stesso impianto zone con livelli di illuminamento e luminanze differenti. Le durate medie sono riportate nella figura II.2.2.1.

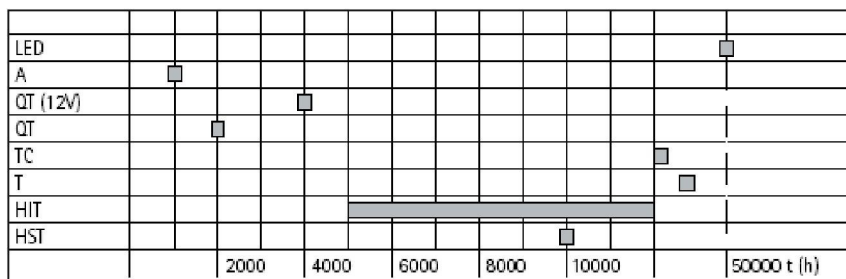


fig. II.2.2.1 – Tabella riepilogativa delle durate di vita media espresse in ore di funzionamento. Legenda: A - incandescenza; QT - alogena; TC - fluorescente compatta; T - fluorescente lineare; HIT - alogenuri metallici; HST - vapori di sodio (fonte ERCO)

II.2.3 TEMPERATURA DI COLORE

Allo scopo di stimare la *qualità* della luce ci si avvale di alcune grandezze che prendono in considerazione il proprio contenuto cromatico. Come espresso in precedenza, la luce è composta da radiazioni elettromagnetiche comprese in un intervallo di lunghezze d'onda λ che è compreso fra 380 nm e 780 nm. Ad ogni lunghezza d'onda corrisponde un certo colore, o per meglio dire, una tonalità di colore. Secondo una convenzione internazionale stabilita dalla CIE⁹ la tonalità di colore della luce si esprime attraverso una grandezza termica (la temperatura assoluta) misurata in **gradi Kelvin** (simbolo K).



fig. II.2.3.1 – Scala delle temperature di colore in gradi Kelvin (fonte Internet)

⁹ La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage secondo la dizione francese) o Commissione Internazionale dell'Illuminazione, sito ufficiale www.cie.co.at, è un'organizzazione con sede a Vienna sorta allo scopo di favorire la cooperazione mondiale e lo scambio di informazioni su tutte le questioni riguardanti la scienza e l'arte della luce e illuminazione, il colore e visione, fotobiologia e tecnologia delle immagini. Con forti basi tecniche, scientifiche e culturali, la CIE è un'organizzazione no-profit indipendente che presta servizio nei paesi membri su base volontaria. Fin dalla sua istituzione nel 1913, la CIE è un'organizzazione professionale accreditata ad essere la più importante autorità in tema dell'illuminazione e come tale è riconosciuta dalla ISO (l'organizzazione mondiale per la standardizzazione e normalizzazione) come organismo internazionale di normalizzazione.

Questa temperatura di riferimento è detta **temperatura di colore**¹⁰ ed è pari alla temperatura di un corpo nero¹¹ che irradia luce con la stessa tonalità di colore della luce emessa dalla sorgente in esame. Dire, quindi, che una lampada ha una temperatura di colore pari a 3.000 K, significa che la luce da essa prodotta ha la stessa tonalità di quella generata dal corpo nero portato alla temperatura di riferimento di 3.000 K (pari a circa 2.727 °C). Quanto più la temperatura di colore è bassa (<3.300 K), tanto più la luce ha tonalità calda (rosso/arancio). Al contrario tanto più la temperatura di colore è alta (>5.300 K), tanto più la luce ha tonalità fredda (blu). Alle temperature comprese fra 3.300 e 5.300 K corrispondono tonalità di colore della luce neutre.

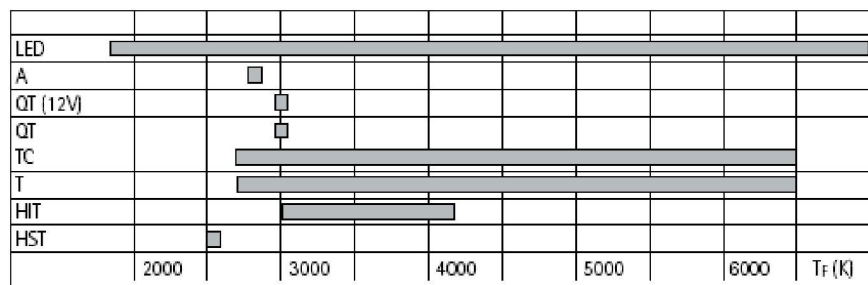


fig. II.2.3.2 – Valori di temperatura di colore in gradi Kelvin per diversi tipi di lampade. Legenda: A - incandescenza; QT - alogena; TC - fluorescente compatta; T - fluorescente lineare; HIT - alogenuri metallici; HST - vapori di sodio (fonte ERCO)

E' importante sottolineare che dal punto di vista psicologico esiste una stretta relazione fra la tonalità della luce ed il comfort ambientale. Ad esempio in ambiente ove siano previsti valori di illuminamento medio piuttosto modesti, è consigliabile utilizzare sorgenti luminose che emettono tonalità di luce calda anziché neutra o addirittura fredda. A tal proposito è utile consultare il seguente diagramma di Kruitof (fig. II.2.3.3).

¹⁰ In realtà le lampade hanno una distribuzione spettrale dell'energia luminosa irradiata diversa da quella del corpo nero (vedi punto successivo); soprattutto le lampade a scarica presentano una distribuzione spettrale a righe (bande di emissione). Si dovrebbe, a rigore, ricorrere alla Temperatura di colore prossimale T_{cp} , ossia la temperatura del corpo nero che irradierebbe una radiazione il cui colore, percepito dall'osservatore, si avvicina più a quello emesso dalla sorgente stessa. Per le sorgenti monocromatiche, quelle cioè che hanno una distribuzione spettrale molto concentrata su un'unica banda di lunghezze d'onda - come ad esempio le lampade al sodio a bassa pressione - la Temperatura di colore prossimale perde di significato e si può parlare semplicemente di Temperatura di colore.

¹¹ In fisica un corpo nero è un oggetto ideale che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente e quindi né riflette né trasmette alcuna energia appearing in prima approssimazione nero. In pratica, non riflettendo alcunché, il corpo nero assorbe tutta l'energia incidente; per tale motivo il corpo nero deve il suo nome unicamente all'assenza di riflessione. Lo spettro (cioè l'intensità della radiazione emessa ad ogni lunghezza d'onda) di un corpo nero ha una caratteristica forma a campana (più o meno asimmetrica e più o meno schiacciata) e dipende unicamente dalla propria temperatura e non dal materiale. La radiazione emessa da un corpo nero a una data temperatura, quindi, appare di una ben determinata tonalità cromatica, per tale motivo ad esso si fanno riferire le tonalità di luce. La differenza tra lo spettro di un oggetto reale e quello di un corpo nero ideale permette di individuare la composizione chimica di tale oggetto.

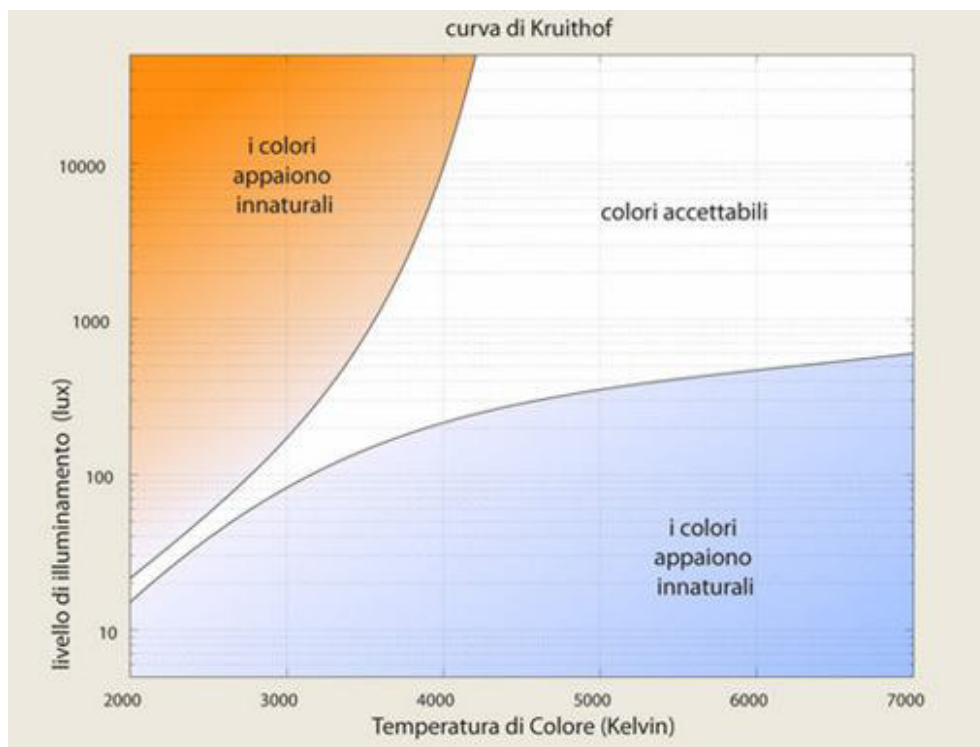


fig. II.2.3.3 – Diagramma di Kruitof che mette in relazione il comfort visivo di un osservatore con il livello di illuminamento medio (in ordinata) e la temperatura di colore delle sorgenti luminose (in ascissa). Le aree colorate risultano sgradevoli e poco fedeli in termini di restituzione dei colori reali; l'area bianca raccoglie le correlazioni giudicate soddisfacenti in termini di benessere e resa dei colori (fonte Internet)

II.2.4 RESA CROMATICA (O RESA DEI COLORI) E RIFERIMENTI NORMATIVI

Allo scopo valutare il grado di fedeltà della restituzione dei colori in rapporto ad una sorgente luminosa è stato elaborato un metodo rigoroso di analisi e di calcolo che esclude a priori l'aleatorietà del dato percettivo fornito dall'individuo. Il metodo si avvale di un diagramma cromatico¹² proposto e adottato dalla CIE. Tale diagramma è alla base per il calcolo della **resa**

¹² Nella sua versione standard il diagramma (derivato dal cosiddetto "spazio di cromaticità x,y,Y ", con Y che rappresenta la luminanza) è rappresentato nel piano da una curva a forma di campana sulla quale si raccolgono i valori delle lunghezze d'onda relative ai colori dello spettro dal blu al rosso con la loro massima saturazione (assoluti, cioè senza miscelazione con il bianco). All'interno della campana, invece, si trovano distribuiti su un'area tutte le combinazioni spettrali dei colori non saturi (derivanti – cioè – dalla miscelazione tra il bianco e i colori saturi precedentemente descritti e disposti sulla curva). Al centro del diagramma troviamo la zona del bianco – in cui sono riportate con una linea continua le temperature di colore T_C espresse in K - mentre sui bordi, come detto, sono presenti tutti i sette colori fondamentali non saturi dello spettro della luce bianca, con la relativa lunghezza d'onda. Gli assi principali del diagramma raccolgono i valori di rosso (x ascissa) e verde (y ordinata) le cui coordinate sono necessarie a identificare in termini quantitativi l'intera cromaticità della luce. Ogni colore, infatti, può essere considerato come la sintesi additiva dei tre colori che l'occhio percepisce come stimolo indipendente:

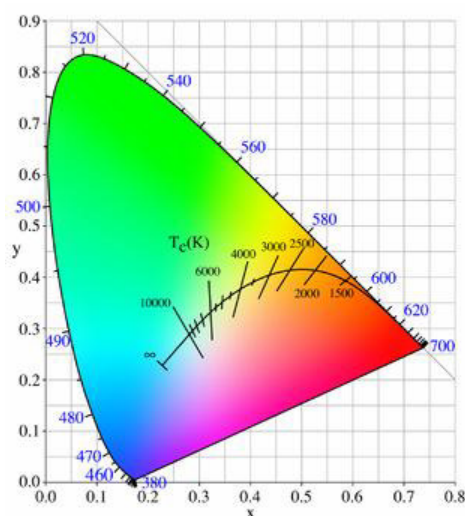
cromatica (o resa dei colori) di una sorgente luminosa, ovvero una indicazione oggettiva della proprietà di una determinata sorgente artificiale a restituire in modo naturale il colore degli oggetti da essa illuminati. La resa cromatica è espressa tramite un **indice di resa dei colori R_a** (CRI, Color Rendering Index nella terminologia anglosassone) che varia da 0 a 100 (R_a è un numero adimensionale, privo, cioè, di unità di misura); maggiore è l'indice di resa dei colori e migliore è la resa cromatica della sorgente luminosa. L'indicazione di R_a è riportata nei cataloghi dei costruttori delle sorgenti luminose ed è di seguito riassunta per i vari tipi di lampade (fig. II.2.4.1).

Indice di resa cromatica R_a	≥ 90	80-89	70-79	60-69	40-59	20-39
Luce diurna	•					
LED	•	•	•			
Lampada alogena	•	•				
Lampada fluorescente compatta	•	•				
Lampada fluorescente	•	•	-	-	-	
Lampada a vapori di mercurio alta pressione				-	-	
Lampada a ioduri metallici	•	•		-		
Lampada a vapori di sodio alta pressione		•		-	-	-

- = Vietata o sconsigliata dall'ordinanza UE 245/2009 (EUP) a causa della poca efficienza e della resa cromatica insufficiente.

fig. II.2.4.1 – Correlazione fra tipo di sorgente luminosa e indice di resa dei colori R_a . Come specificato nella tabella l'obbligo di utilizzare lampade con resa cromatica superiore ad un determinato valore (come espressamente richiesto dalla norma UNI EN 12464-2) in alcuni casi non è coerente con quanto previsto dal regolamento UE 245/2009 e dal successivo UE 347/2010 finalizzati a ridurre il consumo dei prodotti di illuminazione del settore terziario (fonte Zumtobel Lighting)

il blu, il rosso e il verde (fonte Internet).



La resa dei colori è correlata all'efficienza energetica delle sorgenti luminose. Le lampade ad alta resa di colore hanno una bassa efficienza energetica e viceversa.

II.2.4.1 Resa dei colori - Impianti di illuminazione per interni

Nei luoghi dove è prevista la presenza continuativa di persone per lunghi periodi, la norma UNI EN 12464-1 raccomanda di non utilizzare lampade con indice di resa del colore inferiore a 80. Le tabelle allegate alla norma riportano i valori limite di R_a raccomandati per ogni luogo o attività preso in considerazione.

II.2.4.2 Resa dei colori - Impianti di illuminazione per esterni

Anche nella UNI EN 12464-2 sono riportate tabelle in cui sono riportati i valori minimi dell'indice di resa dei colori a seconda del tipo di zona, compito o attività presa in considerazione. In particolare per esigenze di sicurezza, i colori devono essere chiaramente riconoscibili. Tale obiettivo è garantito solamente se si utilizzano sorgenti luminose con $R_a \geq 20$.

II.2.5 SICUREZZA FOTOBIOLOGICA

La fotobiologia è lo studio dell'interazione tra la radiazione ottica e gli organismi viventi. La radiazione ottica è definita come radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa fra i 100 nm (profondo UV) ed 1 mm (lontano IR). Spesso l'ampiezza dello spettro è limitata fra i 200 nm e 3 μ m per via dell'assorbimento atmosferico al di sotto dei 200 nm e degli effetti trascurabili a causa della bassa energia dei fotoni nel lontano IR.

La radiazione ottica è assorbita dai tessuti ed ha una capacità di penetrazione di pochi micron per gli UV e fino a qualche millimetro per gli IR; ne consegue che i rischi maggiori per l'uomo riguardano la pelle e gli occhi con interazioni fotochimiche alle basse lunghezze d'onda dove abbiamo fotoni con molta energia ed effetti termici alle lunghezze d'onda maggiori. Nelle interazioni fotochimiche la luce eccita gli elettroni delle molecole cellulari rompendo o riorganizzando i legami chimici. Questo può avere conseguenze dirette sul DNA e con altre cellule come i fotoricettori della retina dell'occhio causando, nei casi più gravi, danni irreversibili. Queste interazioni dipendono fortemente dalla lunghezza d'onda e sono riconducibili, in pratica, a tre tipi di pericoli: il rischio degli UV (o raggi attinici), il rischio da IR ed il rischio per la retina della luce blu.

Tralasciando - per ovvie ragioni - il pericolo derivante dall'esposizione della pelle ai raggi UV e IR, ci soffermeremo maggiormente sugli aspetti che riguardano l'esposizione della superficie esterna dell'occhio (cornea, congiuntiva e lenti) e della retina alla luce blu, oltre che ai citati raggi UV e IR. L'occhio ha diversi meccanismi di protezione, ma solo nei confronti della luce visibile. Questi includono la chiusura della palpebra e la restrizione della pupilla che evitano l'esposizione continua della retina alla luce.

Considerati i rischi fotobiologici della radiazione ottica, nel 2008 è stata pubblicata la versione europea della norma EN 62471 (recepita in Italia ed emessa con la codifica CEI EN 62471) che fornisce le linee guida per la valutazione e il controllo dei rischi fotobiologici derivanti da tutte le lampade e apparecchi di illuminazione alimentati elettricamente ad ampio spettro incoerente¹³ nella gamma di lunghezze d'onda da 200 nm a 3000 nm. Il testo unico sulla sicurezza, il D.Lgs. 81/2008, riprende questi limiti e li applica ai luoghi di lavoro obbligando il datore di lavoro a valutare il rischio da ROA (acronimo di Radiazione Ottica Artificiale) al quale sono esposti i lavoratori. Per tale motivo è emersa l'esigenza di ottenere, dai produttori di apparecchi di illuminazione, i dati di emissione idonei ai fini della valutazione del rischio per i lavoratori. La normativa italiana ed europea obbliga il produttore di apparecchi illuminanti, quindi, ad eseguire test di laboratorio e di riportare sull'apparecchio la classe di rischio, se essa è presente, in funzione di limiti di emissione di componenti dello spettro visibile ben precisi. I test da eseguire, le classi di rischio ed i limiti di emissione sono definiti nella citata normativa CEI EN 62471. Essi non sono di immediata comprensione poiché richiedono conoscenze tecniche specifiche e solamente alcuni laboratori attrezzati possono analizzare la pericolosità delle lampade.

La CEI EN 62471 classifica le sorgenti luminose e degli apparecchi illuminanti finiti individuando 4 gruppi di rischio (fig. II.2.5.1).

Gruppo di rischio	Tipo di rischio
Esente	Nessun rischio
GR 1	Nessun rischio in condizioni di utilizzo normale
GR 2	Nessun rischio in condizioni di riflesso naturale di avversione alla luce o effetti termici.
GR 3	Qualche pericolo in caso di breve esposizione. L'utilizzo di queste lampade non è consentito per la normale illuminazione.

fig. II.2.5.1 – Gruppi di rischio fotobiologico. Il gruppo esente da rischio può anche essere indicato con l'acronimo GR0. Inoltre, nella notazione anglosassone, l'acronimo GR è riportato con RG - Risk Group. (fonte Internet)

¹³ Si definiscono **coerenti** le sorgenti luminose che emettono radiazioni elettromagnetiche con onde tutte in fase fra di loro su un'unica e ben definita lunghezza d'onda. Al contrario le sorgenti si definiscono **non coerenti** quando emettono radiazioni elettromagnetiche ottiche comprese nello spettro del visibile allargato agli UV e agli IR distribuite su più lunghezze d'onda. Esempio classico di sorgente coerente è il Laser. Esempi di sorgenti non coerenti sono tutte le sorgenti luminose artificiali (LED compresi).

Il danno potenziale della radiazione luminosa varia con la lunghezza d'onda e con la dose ricevuta. La dose è data dalla potenza per il tempo di esposizione; ciò vuol dire che una radiazione intensa necessita di meno tempo per causare gli stessi danni di una di minore intensità applicata in un tempo più lungo.

II.2.5.1 Valutazione del rischio fotobiologico

Per valutare il rischio di esposizione alle ROA è necessario conoscere in maniera approfondita le sorgenti luminose acquisendo i dati tecnici e la specifica documentazione fornita dai costruttori. In molti casi, peraltro, non è necessario eseguire la valutazione del rischio in quanto lo stesso è definibile trascurabile a priori.

In quei pochi casi, però, ove non è possibile escludere a priori il rischio legato al pericolo fotobiologico (per la presenza di lampade ad alogenuri metallici e/o apparecchi illuminanti con tecnologia a LED abbinati alla presenza prolungata di personale in ambienti illuminati con luce artificiale della suddetta tipologia), occorre trattare l'argomento con il costruttore/fornitore di apparecchi illuminanti il quale è tenuto a fornire informazioni esaustive sull'argomento.

A titolo esemplificativo e non esaustivo, si riporta nella pagina seguente (fig. II.2.5.1.1) una tabella riepilogativa contenente i livelli di rischio attesi per le diverse tipologie di sorgente luminosa impiegata.

Tipo di sorgente luminosa	immagine	IR Pericoli legati all'infrarosso	Blu Pericoli dovuti alla luce blu	UV Pericoli dovuti alla radiazione UV
Lampade ad incandescenza IEC 60432-1		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade alogene per illuminazione domestica e similare IEC 60432-2		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade alogene per illuminazione generale IEC 60432-3		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade alogene per applicazioni speciali IEC 60432-3		Da valutare in accordo alle specifiche del costruttore	Da valutare in accordo alle specifiche del costruttore	Nessun rischio
Lampade a fluorescenza con alimentatore incorporato IEC 60968		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade fluorescenti a doppio attacco IEC 61195		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade fluorescenti con attacco singolo IEC 61199		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade al sodio alta e bassa pressione IEC 62035		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio
Lampade a scarica mercurio e MH opali o smerigliate IEC 62035		Nessun rischio	Nessun rischio	Nessun rischio (1)
Lampade a scarica MH chiare IEC 62035		Nessun rischio	Da valutare in accordo alla specifiche del costruttore (2)(3)	Nessun rischio (1)
Moduli LED IEC 62031		Nessun rischio	Da valutare in accordo alla specifiche del costruttore (2)(3)	Nessun rischio

fig. II.2.5.1.1 – Livelli di rischio attesi per tipologia di sorgente impiegata. Legenda: (1) le lampade possono avere un livello di emissione superiore al GR0, in tal caso l'apparecchio di illuminazione deve filtrare il contenuto UV riportando i livelli di radiazione nei limiti; (2) i prodotti che appartengono al GR1 e superiori hanno limitazioni di impiego e avvertenze d'uso; (3) la valutazione del rischio da luce blu (BLH acronimo di Blue Light Hazard) può essere eseguita valutando i livelli di illuminamento previsti all'altezza degli occhi dell'osservatore (fonte Internet)

II.3 CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE E LORO IMPIEGO

Il mercato delle sorgenti luminose è soggetto ad una evoluzione continua e inarrestabile. Le aziende produttrici sono dotate di centri di ricerca e innovazione e sono in grado di progettare e realizzare sorgenti sempre più performanti, ampliandone, così il campo tecnico, merceologico e applicativo. Proveremo a classificare le lampade in funzione dei parametri caratteristici che le contraddistinguono creando un legame fra questi ultimi e gli impieghi prevalenti che se ne fanno nelle applicazioni correnti.

II.3.1 PARAMETRI CARATTERISTICI DI VALUTAZIONE

Come descritto nei precedenti paragrafi, le sorgenti luminose si basano tutte sul principio di trasformazione di energia elettrica in radiazione luminosa percepibile dall'occhio umano. I principali parametri da tenere in considerazione nella scelta di una sorgente luminosa sono:

- l'**efficienza luminosa** η espressa in lumen/watt;
- la **temperatura di colore** T_c - espressa in gradi K - è riportata nel codice del colore della lampada. Il codice del colore è un numero di tre cifre che descrive la qualità della luce irradiata dalla lampada in cui la prima delle tre cifre indica la propria resa cromatica (vedi punto successivo) e le altre due la propria temperatura di colore. Ad esempio se la lampada riporta il numero 840, essa avrà resa cromatica maggiore di 80 e temperatura di colore pari a 4.000 K;
- la **resa cromatica** R_a espressa da un numero variabile da 0 a 100;
- la **vita media** e il **decadimento di flusso** espresse in ore di funzionamento ordinario;
- il **flusso luminoso** Φ emesso espresso in lumen;
- la **potenza elettrica** P assorbita espressa in watt comprensiva della potenza assorbita dal suo (eventuale) alimentatore;
- il **tempo di accensione a freddo** e **tempo di riaccensione a caldo** espresso in unità di tempo. Tutte le lampade, ma soprattutto quelle a scarica, hanno un tempo di accensione che varia da qualche frazione di secondo ad alcuni minuti prima che si scaldino e raggiungano, a regime, il flusso luminoso nominale (tempo di accensione). Quando le lampade a scarica vengono spente hanno bisogno di alcuni minuti per raffreddarsi prima di poter riprendere il normale funzionamento (tempo di riaccensione);
- la possibilità di **regolazione del flusso** luminoso emesso (il cosiddetto dimming o dimmerizzazione);

- la **posizione di funzionamento** specificata dai costruttori di lampade. Ci sono alcuni tipi di lampade, come quelle ad alogeni o a ioduri/alogenuri metallici, che possono essere montate solo in una certa posizione perché, altrimenti, potrebbero non funzionare correttamente. Le lampade fluorescenti compatte non hanno particolari problemi ad essere montate in qualsiasi posizione, benché, talvolta, subiscano alterazioni rilevanti in termini di flusso luminoso legato alla temperatura.

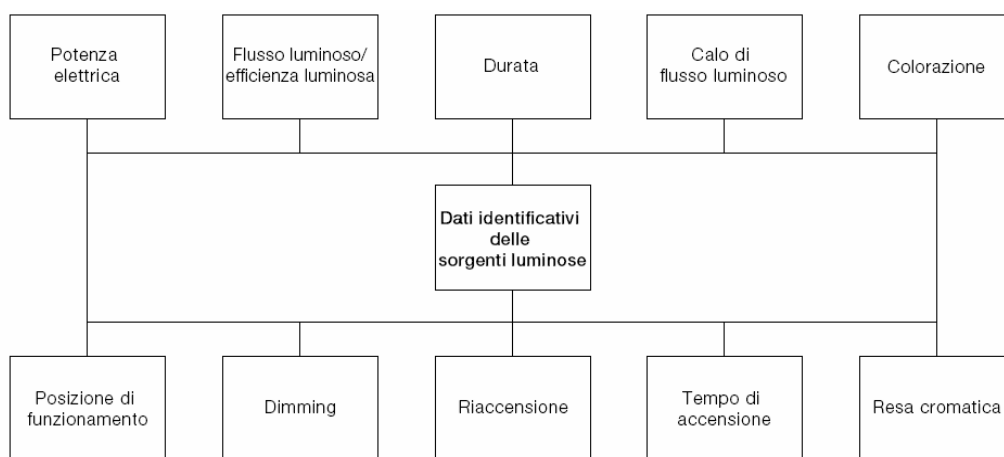


fig. II.3.1.1 – Schema dei dati identificativi delle sorgenti luminose. La “colorazione” deve esser letta come “temperatura di colore” (fonte Zumtobel Lighting)

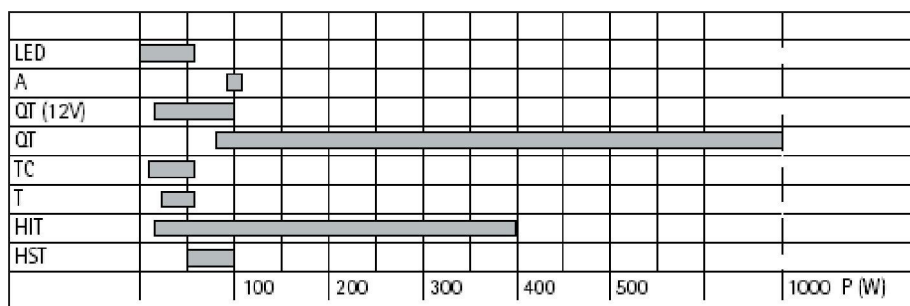


fig. II.3.1.2 – Tabella riassuntiva delle potenze elettriche ottenibili per i diversi tipi di sorgente. Legenda: A - incandescenza; QT - alogena; TC - fluorescente compatta; T - fluorescente lineare; HIT - alogenuri metallici; HST - vapori di sodio (fonte ERCO)

II.3.2 CLASSIFICAZIONE DELLE LAMPADE

La prima classificazione delle sorgenti luminose può essere fatta in base al principio di funzionamento. Abbiamo, quindi, quattro grandi famiglie:

- ad incandescenza** che emettono luce (e calore) grazie all’incandescenza di un filamento al

tungsteno attraversato dalla corrente elettrica;

- **a scarica** (in gas) ad alta o bassa pressione che emettono luce grazie alla presenza, all'interno di un bulbo di vetro (a volte rivestito internamente con materiali particolari, i fosfori) e contenente gas, di una scarica elettrica generata fra due elettrodi;
- **ad induzione** basate sulla scarica elettrica in un gas indotta da un campo magnetico esterno;
- **LED (Light Emitting Diode)** basato sull'emissione di luce prodotta dalla corrente elettrica che percorre parti di semiconduttore (fenomeno dell'elettroluminescenza).

Tralasciando volutamente le lampade ad induzione per lo scarsa penetrazione nel mercato terziario degli impianti di illuminazione, possiamo classificare schematicamente le sorgenti luminose come segue (fig. II.3.2.1):

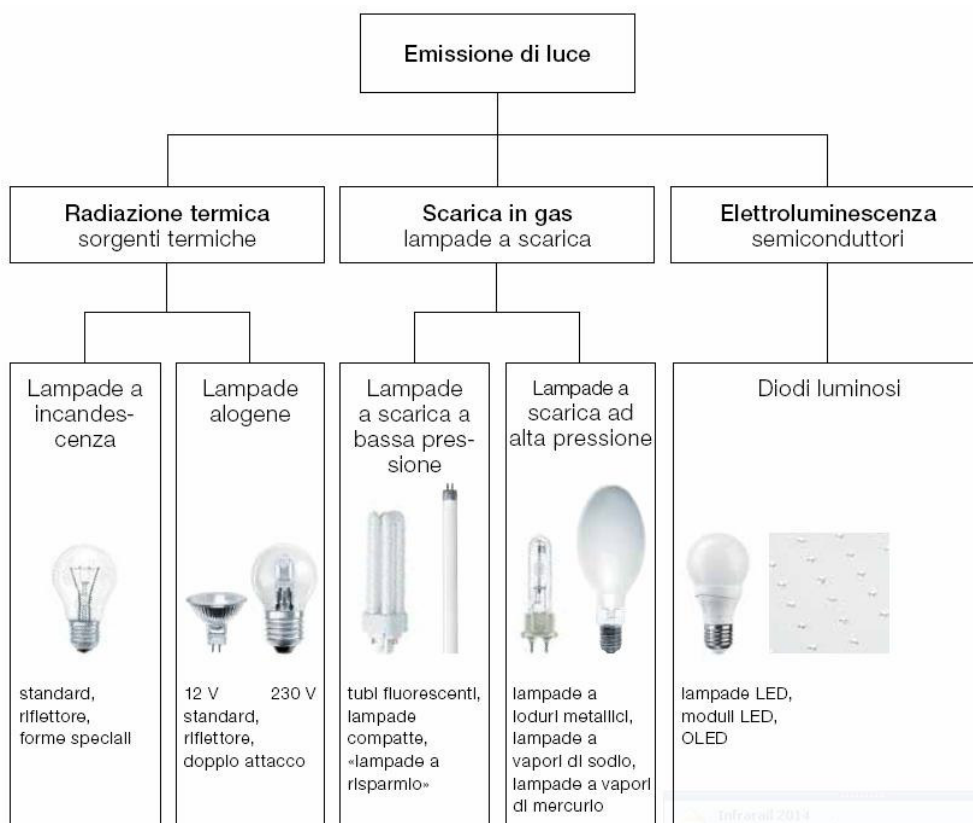


fig. II.3.2.1 - Classificazione schematica delle sorgenti luminose e forme assunte dalle lampade (fonte Zumtobel Lighting)

Di seguito si riportano le principali caratteristiche illuminotecniche delle sorgenti luminose più utilizzate nel campo impiantistico (fig. II.3.2.2).

	LED	A	QT (12V)	QT	TC	T	HIT	HST
Lamp power P (W)	2-48	100	20-100	80-1000	9-55	24-54	20-400	50-100
Luminous flux (lm)	160-4800	1380	320-2200	1450-22000	600-4800	1750-4450	1800-35000	2400-4900
Luminous efficacy max. (lm/W)	100	15	22	22	78	90	114	50
Light colour	various	ww	ww	ww	ww, nw, dw	ww, nw, dw	ww, nw	ww
Colour temperature TF (K)	1700-10000	2700	3000	3000	2700-6500	2700-6500	3000-4200	2550
Colour rendition index Ra	1b	1a	1a	1a	1b	1b	1b	1b
Colour rendition index Ra	80-90	100	100	100	80-82	89	81-90	83
Service life t (h)	50000	1000	4000	2000	12000-13000	18000-20000	5000-15000	10000
Dimming behavior	+	+	+	+	+	+	-	-
Brilliance	+	+	+	+	-	-	+	+
Start up behavior	+	+	+	+	+	+	-	-

fig. II.3.2.2 - Tabella riassuntiva delle caratteristiche delle sorgenti luminose. Legenda: A - incandescenza, QT (12V) - alogeni bassa tensione, QT - alogeni 230/230V, TC: fluorescente compatta, T: fluorescente lineare, HIT: alogenuri/ioduri metallici, HST: sodio alta pressione, ww – tonalità di luce “bianca calda” inferiore ai 4.000 K, nw – tonalità di luce “bianca neutra” compresa fra 4.000 e 5.000 K, dw – tonalità di luce “diurna” superiore ai 5.000 K (fonte ERCO)

Nell’ultimo decennio il mercato illuminotecnico ha favorito un sostanziale orientamento del settore della produzione e della progettazione di impianti di illuminazione verso l’adozione di apparati basati sulla tecnologia LED che consentono non solo una più elevata efficienza energetica, ma anche un elevato grado di flessibilità in funzione delle esigenze tipiche di ciascuna realtà industriale e commerciale. I paragrafi che seguono offrono una classificazione degli apparecchi illuminanti in funzione dei parametri caratteristici che le contraddistinguono e forniscono informazioni circa gli impieghi prevalenti nelle applicazioni correnti specifiche per le stazioni ferroviarie.

Ogni sorgente luminosa (e l’eventuale relativo equipaggiamento esterno) è caratterizzata da una classe di efficienza. Il Regolamento UE n. 245/09 stabilisce tempi e modi dell’eliminazione dal mercato terziario delle lampade poco efficienti dal punto di vista energetico.

	A partire da Aprile 2010	2012	2015	2017
Lampade al sodio ad alta pressione*	Non interessate dalla messa al bando	Eliminazione delle lampade al sodio ad alta pressione con scarso rapporto lumen/watt (scarsa efficienza energetica)		
Lampade al sodio ad alta pressione con accenditore integrato	Non interessate dalla messa al bando	Eliminazione delle lampade al sodio con accenditore integrato e con scarso rapporto lumen/watt (scarsa efficienza energetica)		
Lampade a ioduri metallici*	Non interessate dalla messa al bando	Eliminazione delle lampade ai ioduri metallici con Ra ≤80 che non rispettano i requisiti minimi di efficienza energetica	Eliminazione delle lampade ai ioduri metallici con Ra >80 che non rispettano i requisiti minimi di efficienza energetica	Eliminazione di tutte le lampade ai ioduri metallici che non rispettano i requisiti minimi di efficienza energetica
Lampade a vapori di mercurio	Non interessate dalla messa al bando	Eliminazione di tutte le lampade ai vapori di mercurio		

*Introdotte per tutte le lampade al sodio ad alta pressione e lampade ai ioduri metallici, valori minimi di Lamp Lumen Maintenance Factor e di lamp Survivor Factor.

 Bando.
I prodotti indicati non possono più essere immessi sul mercato da parte dei produttori.

 Consentito.
Attenzione: il fattore determinante è il rapporto lumen/watt.

fig. II.3.2.3 - Tabella riassuntiva dei contenuti del Regolamento UE 245/09 (fonte Philips Lighting)

La fig. II.3.2.3 riassume i contenuti del citato Regolamento UE.

Dal 1° gennaio 2013, inoltre, sono entrate in vigore le nuove classi di efficienza e le relative definizioni. Ogni apparecchio illuminante in vendita deve essere dotato di una etichetta (fig. II.3.2.4) che riporta, oltre che la propria classe di appartenenza, anche il flusso luminoso emesso dalla sorgente espresso in lumen, la potenza elettrica assorbita espressa in watt e la durata di vita media espressa in ore. L'efficienza energetica è suddivisa in 7 classi dove la classe A++ è la più efficiente e la classe E la meno efficiente. Dal 2016 sarà possibile mettere in commercio apparecchi illuminanti non inferiori alla classe B.

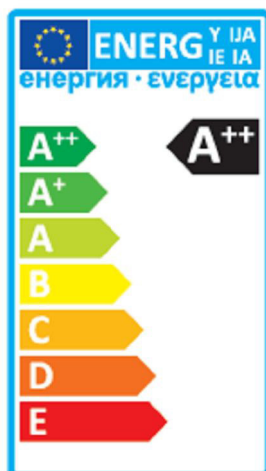


fig. II.3.2.4 - Tabella di efficienza energetica (fonte Internet)

II.3.2.1 Lampade ad alogeni (o alogene)

Questa famiglia di sorgenti luminose ha soppiantato interamente il mercato delle lampade ad incandescenza da quando, queste ultime, sono state messe al bando dalle recenti normative europee a causa dei bassissimi livelli di efficienza luminosa posseduti e per la scarsa durata di vita (circa 1.000 ore di funzionamento). Il principio di funzionamento delle lampade alogene è simile a quello delle lampade ad incandescenza; anche in questo caso la corrente elettrica transita attraverso un filamento che, riscaldandosi, produce radiazioni luminose e una certa quantità di calore (è una sorgente termica anch'essa). Tuttavia l'alogeno, il gas contenuto all'interno nel bulbo, ne incrementa l'efficienza e la durata di vita rispetto alle classiche sorgenti ad incandescenza grazie ad un meccanismo termodinamico di rigenerazione ciclica del filamento.

Le lampade ad alogeni emettono uno spettro di luce continuo ed hanno una resa cromatica eccellente (nominalmente pari a 100).

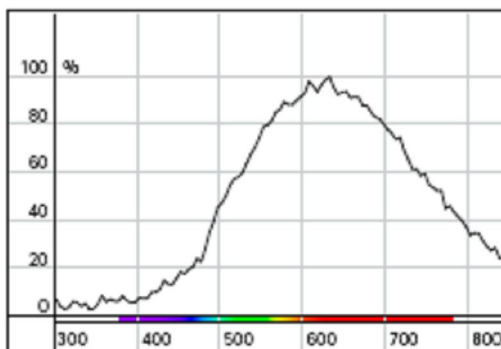


fig. II.3.2.1.1 – Spettro di emissione caratteristico di una lampada alogena (fonte ERCO)

La piccole dimensioni della lampada le consentono di essere montate su apparecchi illuminanti compatti ideali per un indirizzamento preciso e puntuale (spot) del fascio. Molto importante è il mantenimento della posizione di funzionamento indicata dal costruttore poiché, inclinazioni diverse, possono originare la deformazione del filamento per effetto della gravità con pericolo di rottura precoce dello stesso.

Le lampade ad alogeni possono essere suddivise in due grandi famiglie: le lampade alimentate a tensione di rete (220/230 V) e lampade a bassissima tensione (solitamente 12V). Queste ultime hanno la necessità di essere alimentate attraverso un trasformatore che, sebbene abbia piccole dimensioni, presenta comunque una complicazione in termini di ingombro e installazione. Entrambe le famiglie sono adatte alla regolazione di flusso tramite un dispositivo elettronico o

elettromeccanico denominato dimmer.



fig. II.3.2.1.2 – Esempi di lampade ad alogeni in cui sono evidenziate le numerose tipologie costruttive e le molteplici tipologie di attacco. A partire da sinistra possiamo individuare una lampada a bassa tensione bispina nuda, lampada con riflettore incorporato e vetro, lampada con riflettore incorporato, lampada alimentata a tensione di rete con attacco Edison, lampada lineare a doppio attacco, lampada con riflettore incorporato a vetro liscio e lampada con riflettore incorporato e schermo dicroico (fonte Zumtobel Lighting)

Alcuni svantaggi limitano l'utilizzo delle lampade alogene a specifiche applicazioni. Innanzitutto la loro durata di vita si aggira intorno alle 4.000 ore di funzionamento ordinario (molto dipende dalla qualità e stabilità dell'alimentazione); le alogene, quindi, poco si prestano ad un utilizzo intensivo e continuativo nell'arco delle 24 ore. Inoltre, facendo parte della famiglia delle sorgenti termiche, esse emettono una quantità di calore proporzionale alla potenza assorbita che incidono negativamente sul comfort specialmente nelle applicazioni in ambienti chiusi e con soffitti bassi. Inoltre il pericolo di esplosione della lampada dovuto all'arco elettrico che si innesca nel momento in cui il filamento si rompe (evento raro che, comunque, non è possibile escludere), potrebbe creare problemi dal punto di vista della sicurezza (innesci di incendio o ustioni al tatto). Le piccole dimensioni, poi, non consentono, per questioni legate allo smaltimento del calore, di raggiungere potenze elevate (al massimo 100 W tranne quelle per applicazioni particolari che raggiungono potenze maggiori con dimensioni delle lampade, però, decisamente più grandi).

Per i motivi sopra esposti, generalmente le applicazioni delle lampade ad alogeni sono le seguenti:

- illuminazione d'accento;
- scopi decorativi;

- alloggi;
- negozi.

II.3.2.2 Lampade fluorescenti lineari

Le lampade fluorescenti si sono affermate sul mercato per la loro efficienza luminosa piuttosto alta (intorno ai 90-100 lm/W) in relazione a costi di produzione decisamente bassi rispetto alle altre tipologie di lampade a scarica. L'utilizzo prevalente delle lampade fluorescenti lineari, quindi, è relativo all'illuminazione (utilizzando apparecchi anche piuttosto economici) comune per grandi superfici e uffici caratterizzati da utilizzi intensivi. Solo una parte dell'energia elettrica assorbita dal sistema lampada-reattore, però, è trasformata direttamente in luce (circa il 20%) con emissione su quattro linee visibili all'occhio umano (fig. II.3.2.2.1). La restante parte - circa l'80% - è trasformata sia in radiazione ultravioletta (a sua volta trasformata in radiazione luminosa grazie ai fosfori¹⁴ che rivestono internamente il tubo di vetro) che in calore (le lampade fluorescenti si scaldano) il quale viene smaltito nell'ambiente per conduzione, convezione o sotto forma di radiazione infrarossa.

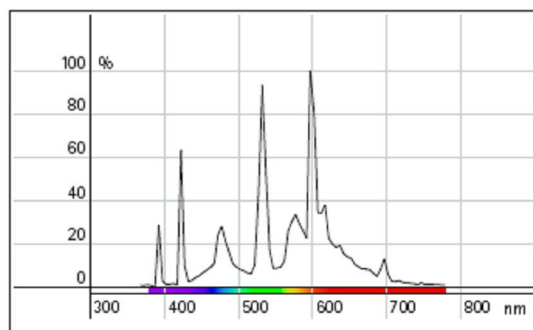


fig. II.3.2.2.1 – Spettro di emissione caratteristico di una lampada fluorescente (fonte ERCO)

La durata delle lampade fluorescenti è generalmente stimata intorno alle 12.000-15.000 ore e a fine vita il decadimento di flusso è calcolato intorno al 5%. Esistono in commercio prodotti garantiti per una durata di vita superiore alle 50.000 ore il cui costo, però, è circa 3 volte maggiore rispetto alle lampade fluorescenti di uso comune.

La vita media delle lampade è legata molto ai cicli di durata di accensione e spegnimento. La vita

¹⁴ Il colore apparente e la resa cromatica delle lampade fluorescenti dipendono dai fosfori impiegati; più sono i fosfori depositati sulle pareti interne del bulbo e maggiore è la gamma di colori interessata. Attualmente si trovano sul mercato lampade a tre o cinque fosfori che possono raggiungere ottimi valori di resa cromatica R_a pari a 90.

media dipende, cioè, dal numero di ore per le quali il tubo rimane acceso dopo ogni accensione. I costruttori forniscono dati e grafici riportanti la vita media delle lampade basati su cicli di accensione di tre ore.

Per quanto riguarda la temperatura di colore dei tubi fluorescenti, essa è suddivisa in tre classi:

- tonalità bianca calda al di sotto dei 3.300 K;
- tonalità bianca neutra compresa fra 3.300 e 5.300 K;
- tonalità bianca diurna oltre i 5.300 K.

La forma delle lampade fluorescenti è solitamente lineare con dimensioni standard legate alle potenze. Possiamo avere due famiglie di lampade in funzione del diametro delle lampade stesse:

- lampade T5 del diametro del tubo pari a 16 mm (individuate anche con la sigla T16);
- lampade T8 del diametro del tubo pari a 26 mm (individuate anche con la sigla T26).

La potenza elettrica P delle lampade fluorescenti è funzione delle dimensioni lineari L e del diametro del tubo D , nonché della pressione interna del gas (solitamente argon). La potenza assorbita dalla lampada, quindi, ne individua la lunghezza lineare; in generale avremo le seguenti combinazioni costruttive:

➤ tipo T5

- | | | |
|--------------|---------------|----------|
| • $D=16$ mm, | $L=560$ mm, | $P=14$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=860$ mm, | $P=21$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=560$ mm, | $P=24$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=1.160$ mm, | $P=28$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=1.460$ mm, | $P=35$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=860$ mm, | $P=39$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=1.460$ mm, | $P=49$ W |
| • $D=16$ mm, | $L=1.160$ mm, | $P=54$ W |

- D=16 mm, L=1.460 mm, P=80 W

➤ tipo T8

- D=26 mm, L=600 mm, P=18 W
- D=26 mm, L=1.200 mm, P=36 W
- D=26 mm, L=1.500 mm, P=58 W

Per il funzionamento di ogni lampada è necessario equipaggiare l'apparecchio luminoso di un alimentatore (non integrato nella sorgente luminosa come, invece, avviene per le fluorescenti compatte) di taglia associata alla potenza elettrica assorbita dal tubo. L'alimentatore, il cosiddetto **reattore**, ha la funzione di limitare e stabilizzare la corrente che sostiene l'arco elettrico all'interno del bulbo. La presenza del reattore introduce delle perdite di potenza (quantificabili con il 10-15% della potenza elettrica della lampada a seconda della tipologia di reattore impiegato – vedi paragrafo successivo) e uno sfasamento fra tensione e corrente prodotto dagli avvolgimenti del reattore che impone l'adozione di un condensatore di rifasamento collegato in parallelo all'apparecchio illuminante per ridurre la potenza reattiva¹⁵ assorbita. Le tipologie di reattore presenti in commercio sono:

- **reattore induttivo** (detto anche reattore elettromagnetico o elettromeccanico) il cui funzionamento è caratterizzato da alte perdite, rumorosità e basso fattore di potenza da cui il rifasamento. Inoltre questo tipo di reattore pone la necessità di utilizzare un altro dispositivo collegato in parallelo alla lampada: lo starter. La funzione dello starter è quella

¹⁵ La potenza elettrica che in ogni istante si trasferisce tra due sezioni circuitali bipolari (un generatore ideale che simula la rete di alimentazione e l'utilizzatore, che nel nostro caso è il corpo illuminante) è pari al prodotto della tensione $u(t)$ e della corrente $i(t)$, entrambi variabili nel tempo. Poiché l'intensità di corrente e la tensione elettrica assumono in alternata valori sia positivi che negativi, il loro prodotto, cioè la potenza istantanea $p(t)$, è un numero che può assumere anche valori negativi a seconda dello sfasamento presente fra le due grandezze $u(t)$ e $i(t)$. Ciò significa che nei circuiti in regime variabile (a correnti alternate) può esserci un intervallo di tempo in cui l'utilizzatore funziona da generatore a causa della presenza di elementi circuitali che accumulano energia magnetica (induttori) o elettrostatica (condensatori). Fisicamente vuol dire che tutta l'energia trasferita dalla rete ad un generico utilizzatore è composta da due termini: il primo che ha caratteristiche unidirezionali (denominato **potenza attiva P** misurata in watt, simbolo W) che può transitare unicamente dalla rete all'utilizzatore e mai viceversa. Il secondo termine di energia è quello che, al contrario, viene scambiato alternativamente fra la rete e l'utilizzatore (denominato **potenza reattiva Q** misurata in Volt Ampere reattivi, simbolo VAR). La potenza attiva è trasferita dalla rete ad un utilizzatore ed è quella in grado di compiere il lavoro utile (la rotazione di un albero motore, ad esempio); la potenza reattiva, invece, è energia che la rete e l'utilizzatore si scambiano ciclicamente fra di loro senza, però, produrre lavoro utile. Questo tipo di scambio, comunque, impegna la rete e introduce perdite energetiche che richiedono un generale sovradimensionamento degli impianti di generazione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. L'operazione che consente di ridurre il transito di potenza reattiva dalla rete all'utilizzatore (nel caso quest'ultimo sia di tipo induttivo) è detta **rifasamento** e consiste di collegare in parallelo all'utilizzatore stesso uno o più condensatori di capacità opportuna. Per le sue proprietà fisiche, il condensatore è un generatore di potenza reattiva che, se collegato direttamente in parallelo al carico induttivo, è in grado di compensare localmente la richiesta di potenza reattiva dell'utilizzatore, evitando, così, di farla transitare dalla rete.

di innescare, all'atto dell'accensione della lampada, le prime scariche all'interno del tubo preriscaldando gli elettrodi. Una volta innescato l'arco lo starter si disinserisce automaticamente;

- **reattore elettronico tradizionale** che abbate notevolmente le perdite rispetto al reattore induttivo e eliminano la necessità di rifasamento. Bisogna tuttavia porre una certa attenzione nel dimensionamento dell'interruttore automatico posto a protezione del circuito da cui sono derivate le alimentazioni dei corpi illuminanti. Infatti in un circuito composto da reattore induttivo/starter le lampade si accendono in tempi diversi; al contrario, in un circuito con alimentatore elettronico tutte le lampade fluorescenti si inseriscono contemporaneamente. I condensatori antidisturbo contenuti nell'alimentatore generano un impulso di corrente elevato che può far scattare l'interruttore automatico. Al fine di evitare questi inconvenienti alcuni costruttori di alimentatori forniscono il numero massimo di alimentatori collegabili al circuito in funzione del tipo di interruttore di protezione utilizzato;
- **reattore elettronico dimmerabile** ha caratteristiche simili ai reattore precedentemente descritti e in aggiunta, sfruttando l'elettronica con cui è realizzato il reattore, permette di modulare l'intensità luminosa emessa dal tubo fluorescente aumentando o diminuendo la frequenza della forma d'onda di alimentazione. Questa proprietà è detta dimerizzazione ed è gestibile tramite sistemi di comunicazione con protocolli standard. Per applicazioni tipicamente industriali, laddove la posa in opera di ulteriori cavi dedicati al controllo e alla diagnostica degli apparecchi illuminanti si presenti difficoltosa o particolarmente onerosa in termini economici, si privilegerà il sistema cosiddetto "ad Onde Convogliate" (*Power Line communications* nella terminologia anglosassone). Questo tipo di tecnologia consente di trasmettere dati - codificati e modulati in maniera opportuna - sulle linee elettriche di energia esistenti eliminando, di fatto, i costi di un ulteriore cablaggio. Una tecnologia alternativa che consente la regolazione e la telegestione degli impianti di illuminazione tramite protocollo standard è quella denominata DALI (Digital Addressable Lighting Interface) che è in grado di gestire scenari luminosi (memorizzati in una unità centrale di programmazione manuale) caratterizzati livelli di illuminamento desiderati di volta in volta richiamabili. Questo tipo di tecnologia può essere utilizzata nelle nuove realizzazioni per le aree di stazione caratterizzate da un maggior pregio architettonico.

Ogni tipo lampada fluorescente e il relativo reattore è caratterizzato da una classe di efficienza. Il Regolamento UE n. 245/09 stabilisce tempi e modi dell'eliminazione dal mercato terziario delle lampade e dei reattori poco efficienti dal punto di vista energetico. Di seguito (fig. II.3.2.2.2) una tabella riassuntiva dei contenuti del citato Regolamento UE relativa alle lampade fluorescenti.

A partire da aprile	2010	2012	2015	2017
Lampade fluorescenti - T8 e T5* - TL-E Circoline	Eliminazione di tutte le lampade fluorescenti con alofosfati inefficienti (scarso rapporto lm/W e scarsa resa cromatica) ovvero colorazione 33-640 e 54-765			
T12	Non interessate dalla messa al bando	Eliminazione di tutte le lampade fluorescenti T12 con alofosfati inefficienti (scarso rapporto lm/W e scarsa resa cromatica) ovvero colorazione 33-640 e 54-765		
Apparecchi con alimentazione convenzionale elettromagnetica (Cu-Fe) e reattori a bassa dispersione	Non interessate dalla messa al bando			Eliminazione degli apparecchi per lampade fluorescenti con alimentatori di classe B1, B2 ed elettronici A3

 Consentito. Attenzione: tutte le potenze sono indicative. Il fattore determinante è il flusso luminoso (lumen).	 Bando. I prodotti indicati non possono più essere immessi sul mercato da parte dei produttori.
--	--

* Fatta eccezione per lampade fluorescenti mini ≤ a 13W e per lampade >80W.

fig. II.3.2.2.2 - Tabella riassuntiva dei contenuti del Regolamento UE 245/09 (fonte Philips Lighting)

E' importante segnalare che le lampade fluorescenti contengono mercurio, una sostanza estremamente inquinante. Dopo il loro utilizzo, perciò, devono essere smaltite come materiali RAEE¹⁶.

II.3.2.3 Lampade fluorescenti compatte integrate e non integrate

Questo tipo di sorgente luminosa ha sostanzialmente le caratteristiche illuminotecniche delle lampade fluorescenti lineari. Le differenze sostanziali consistono nelle dimensioni ridotte e più compatte rispetto ai tubi lineari (il tubo è ripiegato su se stesso) e nel fatto che, nel caso di fluorescenti compatte integrate, il reattore è direttamente montato all'interno della base della lampada. In tal caso, questo tipo di sorgente luminosa, non ha necessità di ulteriori dispositivi per il

¹⁶ I rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche o semplicemente rifiuti elettronici (talvolta citati anche semplicemente con l'acronimo RAEE, in lingua inglese: Waste of Electric and Electronic Equipment, acronimo WEEE o e-waste), sono rifiuti di tipo particolare che consistono in qualunque apparecchiatura elettrica o elettronica di cui il possessore intenda disfarsi in quanto guasta, inutilizzata o obsoleta e dunque destinata all'abbandono. Il trattamento dei RAEE è svolto in centri adeguatamente attrezzati, autorizzati alla gestione dei rifiuti ed adeguati al "Decreto RAEE", che sfruttano le migliori tecniche disponibili. Le attività di trattamento prevedono varie fasi che indicativamente sono: la messa in sicurezza o bonifica, l'asportazione dei componenti pericolosi, lo smontaggio dei sotto-assiemi con separazione preliminare dei materiali e la lavorazione meccanica per il recupero dei materiali. Gli oneri di smaltimento sono caricati sul costo della lampada e, perciò, gravano sull'utente finale.

proprio funzionamento. Esteticamente la differenza fra le lampade integrate e non integrate sta nella forma della base e nel tipo di attacco rispettivamente quattro poli o a due poli (attacco E14 o E27). Di seguito (fig. II.3.2.3.1) sono riportate alcune tipologie e le relative potenze.

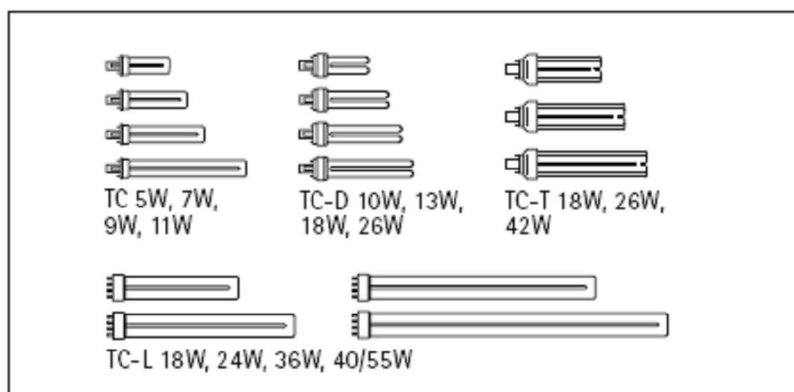


fig. II.3.2.3.1 – Tipologia, forme e potenze indicative di lampade fluorescenti compatte non integrate (fonte ERCO)

II.3.2.4 Lampade a vapori metallici (ioduri o alogenuri)

A differenza delle lampade a bassa pressione (fluorescenti), quelle ad alta pressione hanno uno spettro di emissione più completo e sono più compatte, ma emettono molti più raggi infrarossi ed infatti si scaldano molto. Le lampade a scarica in gas ad alta pressione vengono principalmente utilizzate negli impianti di illuminazione di dimensioni medio-grandi sia interni che esterni i quali richiedono sorgenti di luce piccole con potenze unitarie elevate, una ottima emissione sullo spettro visibile e lunga durata.

Questo tipo di sorgente ha, però, bisogno di un equipaggiamento esterno che le consente l'innesco della scarica. I metodi principali sono i seguenti:

- con elettrodo ausiliario;
- con pre-riscaldamento degli elettrodi;
- con accenditore.

Il metodo con accenditore è fra i più utilizzati. Le lampade a vapori metallici richiedono tempi di accensione di alcuni minuti ed una fase di raffreddamento ancora più lunga prima della riaccensione. In alcune versioni con accenditori elettronici è possibile una riaccensione pressoché immediata.

Questo tipo di lampade (fig. II.3.2.4.1) sono disponibili a forma di tubo monospina (HIT) o bispina (HIT-DE), a forma ellittica o come lampade con riflettore (HIPAR).

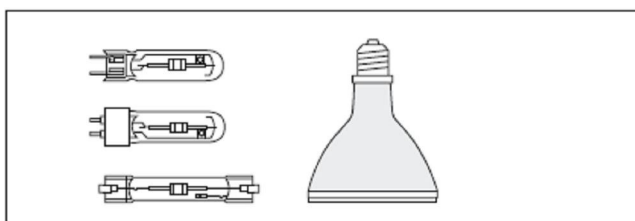


fig. II.3.2.4.1 – Tipologie indicative di lampade a vapori metallici (fonte ERCO)

La grande famiglia di lampade a vapori metallici si può suddividere in sorgenti con scarica in quarzo o ceramica. Il bruciatore ceramico, di più recente introduzione, consente di mantenere inalterata la stabilità del colore per tutta la durata di vita della lampada.

II.3.2.5 Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione

Le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione presentano un tubo interno di scarica realizzato in quarzo o in ceramica (il cosiddetto bruciatore) riempito di gas e vapori ad alta pressione contenuto in un'ampolla esterna di protezione in vetro rivestita internamente di polveri fluorescenti. Il tubo di quarzo o ceramica sopporta una temperatura dell'ordine di 1.000 °C dovuta alla presenza dell'arco elettrico che produce luce visibile e raggi UV; l'involucro esterno raggiunge una temperatura di circa 400 °C a causa dell'energia che degrada in calore durante il processo di trasformazione. Le lampade al mercurio, pur avendo un'efficienza piuttosto bassa e una resa di colore scarsa (R_a 40-60), sono state largamente utilizzate nell'illuminazione di siti industriali, capannoni, grandi spazi esterni, nonché per l'illuminazione stradale per le proprie elevate potenze unitarie (tipici valori di potenze sono 150, 250, 400 e 500 W). Proprio per le basse efficienze luminose raggiungibili (< di 60 lm/W) che vanno in contrasto con i principi di risparmio energetico, però, tali tipologie di sorgenti luminose subiranno la messa al bando a favore di lampade al sodio a bassa e alta pressione a più alta efficienza.



fig. II.3.2.5.1 – Esempio di lampada a vapori di mercurio ad alta pressione. La lunghezza di una lampada a vapori di mercurio da 400 W può raggiungere i 30 cm con un diametro di 12 cm (fonte OSRAM)

II.3.2.6 Lampade a vapori di sodio ad alta pressione

Anche in questo caso, come nelle lampade a vapori metallici, la scarica avviene in un tubo ceramico riempito di gas Xenon con amalgama di Sodio e Xenon compreso in due elettrodi di tungsteno. Il tubo è inserito in un bulbo di vetro all'interno del quale è praticato il vuoto. Le lampade al sodio necessitano di un accenditore e di un alimentatore esterno.



fig. II.3.2.6.1 – Tipologie indicative di lampade a vapori di sodio ad alta pressione. La lunghezza di una lampada a vapori di sodio ad alta pressione da 600 W (indicata con HST) può raggiungere i 30 cm con un diametro variabile da 5 a 12 cm (fonte Zumtobel Lighting)

Questo tipo di sorgente si presenta a forma di bulbo ovoidale con attacco tipo Edison utilizzato tipicamente nei riflettori industriali o tubolare cilindrica con doppio attacco a baionetta utilizzato nei proiettori. La resa del colore è migliorata molto nel tempo (soprattutto mediante l'aumento della pressione interna dei gas) passando dal classico colore giallo/arancione tipico

dell'illuminazione stradale e in galleria (in cui la resa dei colori era praticamente pari a zero) ad un colore sostanzialmente tendente al bianco raggiungendo valori di R_a pari a 65. Ottimo è il dato di efficienza luminosa (fino a 140 lm/W) e la durata di vita che può raggiungere anche le 30.000 h. Per tali ragioni le lampade al sodio ad alta pressione è utilizzata prevalentemente per l'illuminazione di grandi aree esterne e nell'illuminazione stradale, poiché rappresentano un giusto compromesso fra risparmio energetico, durata e resa del colore.

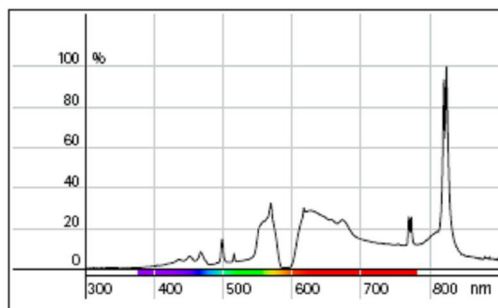


fig. II.3.2.6.2 – Spettro di emissione caratteristico di una lampada al sodio ad alta pressione (fonte ERCO)

II.3.2.7 Sorgenti a tecnologia LED

L'uso dei semiconduttori come dispositivi per l'emissione di luce risale agli anni '60; da allora l'evoluzione di questa tecnologia ha vissuto una costante crescita che ha portato negli ultimi anni ad una diffusione del LED enorme. Alla base del principio di funzionamento del LED c'è la teoria dei semiconduttori come il fosforo di gallio e l'arseniuro di gallio opportunamente disposti a formare delle giunzioni (ovvero delle regioni di semiconduttore di qualche decimo di millimetro aventi caratteristiche atomiche leggermente diverse fra di loro) che se attraversati da correnti elettriche anche molto deboli sono in grado di emettere radiazioni luminose percepibili dall'occhio umano.

Fondamentalmente esistono due tipologie costruttive di sorgenti LED:

- THT (acronimo di Through Hole Technology) in cui la giunzione è annegata in un materiale plastico di protezione trasparente con funzioni di riflettore del fascio luminoso da cui fuoriescono i terminali;
- SMD (acronimo di Surface Mount Device) in cui il semiconduttore è dotato di una lente integrata che è in grado di controllare la direzione di emissione del fascio luminoso ed è saldato direttamente sul circuito stampato;

- COB (acronimo di Chip on Board) in cui il semiconduttore è montato direttamente su un circuito stampato senza dotarlo di un proprio corpo; il tutto è poi inglobato in una colata di resina protettiva.

Esistono, poi, dispositivi COB o SMD denominati High Power LED la cui potenza è superiore ad 1 W in cui lo smaltimento del calore, principale parametro responsabile della durata del LED, è assicurato dal circuito stampato che agisce, pertanto, come un radiatore.

La luce bianca di un LED può essere ottenuta attraverso due metodi: il primo consiste nell'emissione di una miscela RGB (Red-Green-Blue) laddove il passaggio attraverso un triangolo di colori produce una colorazione bianca neutra. Il secondo metodo sfrutta la conversione di luminescenza analogamente a quanto avviene nelle lampade fluorescenti; la luce bluastro emessa dal LED è trasformata in luce bianca da uno strato luminescente di cui è ricoperta la resina di protezione che ingloba la giunzione.

I pregi delle sorgenti a tecnologia LED sono i seguenti:

- durata della vita media della sorgente stimata intorno alle 50.000 ore (va considerata, però, anche l'affidabilità dell'elettronica di comando i cui dati sono difficilmente reperibili);
- decadimento del flusso pressoché nullo nell'arco della vita del LED;
- emissione di luce priva di componenti nel campo Ultravioletto e Infrarosso;
- possibilità di dimmerizzazione e gestione dei colori per la generazione di effetti di luce dinamica. Generalmente per poter dimmerizzare un apparecchio a LED è necessario equipaggiarlo con un dispositivo che possiede caratteristiche elettriche e funzionali simili ai reattori elettronici dimmerabili per lampade fluorescenti precedentemente descritti. Tale dispositivo, denominato *Smart Driver*, consente di modulare l'intensità del flusso luminoso emesso dall'apparecchio consentendone, al contempo, il monitoraggio dello stato di funzionamento per diagnosticarne eventuali malfunzionamenti.
- ottima resistenza a urti e vibrazioni;
- possibilità di realizzazione di apparecchi illuminanti compatti e di forme particolari.

Di contro i difetti riscontrabili sono:

- efficienza luminosa buona ma non elevata (90-100 lm/W circa) con tendenza, però, al

miglioramento nel tempo a causa del rapido progresso tecnologico in questo campo;

- i LED soffrono le temperature ambiente elevate a causa della difficoltà a smaltire il calore prodotto dall'elettronica di alimentazione;
- costo di prima installazione elevato (anch'esso in rapida diminuzione) rispetto ad apparecchi illuminanti equipaggiati con sorgenti di luce tradizionali.

Di seguito è riportata una tabella (fig. II.3.2.7.1) di confronto fra LED e altre tipologie di sorgenti luminose.

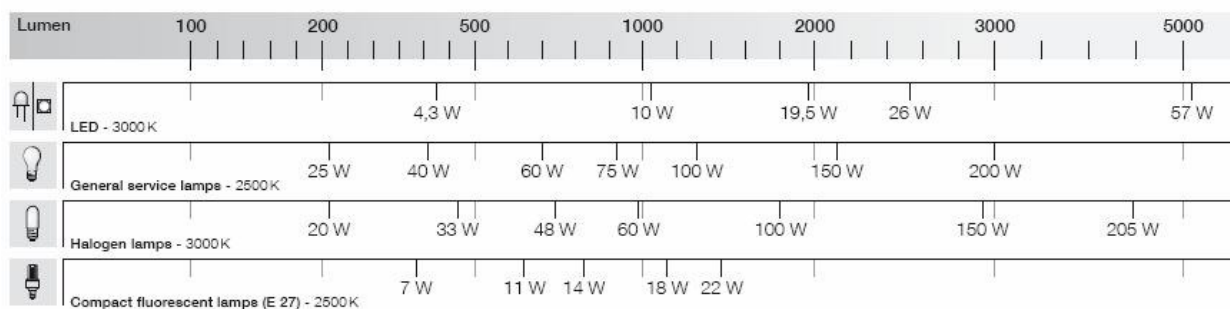


fig. II.3.2.7.1 – Tabella comparativa dell'efficienza luminosa delle sorgenti LED con altre sorgenti convenzionali di bassa potenza (fonte BEGA)

Le applicazioni tipiche di apparecchi illuminanti equipaggiati con sorgenti a LED sono:

- illuminazione generale per interni;
- illuminazione d'accento per arredi ed elementi decorativi;
- segnaletica in generale;
- illuminazione di sicurezza;
- illuminazione per esterni in aree coperte e scoperte;
- illuminazione stradale.

II.4 LA STRUMENTAZIONE FOTOMETRICA

I fotometri sono in generale strumenti che misurano l'energia radiante nel campo del visibile e sono a grandi linee composti da apparati sensibili alla luce, da un sistema di misura e conversione e da una unità di lettura digitale o analogica che mostra il dato misurato all'operatore. Vedremo, però, che gli strumenti di misura che interessano il progettista di impianti di illuminazione sono sostanzialmente due: il luminanzometro ed il luxmetro. E' bene specificare che tutti gli strumenti di misura, che devono essere conformi alla norma UNI 11142, hanno la necessità di essere periodicamente calibrati. La calibrazione è l'operazione in cui uno strumento di misura viene regolato in modo da migliorarne l'accuratezza¹⁷; l'operazione di calibrazione richiede il confronto con delle misure riferibili¹⁸ ad uno strumento campione. È importante evitare di confondere il concetto di calibrazione con quello di taratura. Quest'ultima, infatti, è un'operazione che permette di definire le caratteristiche metrologiche di uno strumento, allo scopo di definirne la precisione. La calibrazione, invece, ha come obiettivo quello di rendere lo strumento più accurato e spesso, conseguentemente, migliorarne la precisione. In altre parole, la prima fa una "fotografia" dello strumento, la seconda cerca di migliorarne le caratteristiche.

Giova ricordare che ad ogni misurazione è associata una incertezza di misura dovuta a cause accidentali ed estemporanee e a cause sistematiche proprie dello strumento di misura che contribuiscono a "spostare" le letture reali rispetto al valore "vero". Posto che gli errori accidentali possono essere ridotti con tecniche specifiche, per un corretto uso degli strumenti di misura è necessario conoscere il valore dell'incertezza di misura intrinseca dello strumento; tale indicazione è generalmente riportata sia nel certificato di taratura che sulla scheda tecnica che accompagna lo strumento e deve riportare la data dell'ultima operazione di taratura svolta e la matricola dello strumento stesso. Nel caso in cui la taratura avvenga nei laboratori accreditati del costruttore dello strumento, è importante che nel certificato di taratura vi sia l'indicazione del laboratorio nazionale rispetto al quale i campioni presenti in azienda sono riferibili. Per i luxmetri e i luminanzometri la

¹⁷ L'accuratezza è il grado di corrispondenza del dato teorico, desumibile da una serie di valori misurati (il campione di dati raccolti), con il dato di riferimento e indica la vicinanza del valore trovato a quello reale.

¹⁸ I risultati delle misurazioni devono essere rapportati a campioni di riferimento nazionale e internazionale attraverso una catena senza soluzione di continuità di confronti intermedi aventi tutti (i confronti) incertezze dichiarate; in tal senso si parla di **riferibilità** e di **catena di riferibilità**. Una legge dello Stato ha istituito nel 1991 il Sistema Nazionale di Taratura (SNT oggi impropriamente individuato con l'acronimo SIT) e designato gli istituti metrologici primari nei quali vengono conservati i **campioni di riferimento primari del Sistema Internazionale**. I campioni primari sono il primo anello della catena di riferibilità in quanto posseggono caratteristiche che li rendono "assoluti", ovvero che rappresentano fisicamente (e legalmente) l'unità di misura di riferimento del SI. Gli istituti designati dal SNT che custodiscono i campioni primari sono: l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino (IEN) e l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC) entrambi confluiti nell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM sito web www.inrim.it) e l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INRMI-ENEA sito web www.inmri.enea.it). Il Servizio di Taratura in Italia, o più brevemente SIT, è la struttura tecnica italiana che dal 2010 permetteva ai laboratori metrologici di essere accreditati per la taratura di strumentazione di misura, prova o collaudo. Il SIT (più propriamente individuato con l'acronimo LAT - laboratorio di taratura accreditato) è ora confluito nell'Ente unico di accreditamento italiano ACCREDIA con sede a Torino (sito web www.accredia.it) e continua ad operare come Dipartimento di Taratura (DT). L'accreditamento dei laboratori attesta la competenza tecnica del laboratorio ad effettuare tarature e garantisce la riferibilità dei campioni da essi utilizzati e la conformità alle norme internazionali. I campi di misura e le incertezze di misura di ogni laboratorio accreditato sono riportati in un'apposita tabella pubblicata sul sito Internet ACCREDIA. Solo i laboratori accreditati possono emettere **Certificati di Taratura**; tali documenti sono redatti secondo dettagliati canoni (dettati dal sistema di accreditamento) e possono riportare il logo ufficiale di ACCREDIA.

CIE ha individuato tre classi di precisione in funzione del tipo di impiego¹⁹; la taratura deve essere almeno biennale.

II.4.1 Luxmetri

Lo strumento più usato nel campo illuminotecnico per la misura dell'illuminamento nei rilievi, le verifiche ed i collaudi, è il **luxmetro**. Esso misura la densità di flusso luminoso incidente su una superficie e ne esistono di diverse tipologie (da banco, portatili, con sensore integrato o separato). Generalmente, per le misure in ambienti come possono essere le stazioni, si utilizza uno strumento costituito da una testa fotometrica (il sensore luminoso) collegato, tramite cavetto, allo strumento vero e proprio che analizza i dati raccolti dal sensore e mostra, tramite un display digitale, il valore di illuminamento misurato. L'elemento sensibile è una cellula fotoelettrica (fotodiodo) di tipo fotovoltaico che genera ai suoi capi una corrente elettrica proporzionale alla quantità di luce ricevuta. La luce che colpisce il sensore, infatti, dipende dall'angolo di incidenza. Il sensore è, perciò, corredato da uno schermo diffondente che raccoglie tutte le radiazioni che incidono, con angoli diversi, la fotocellula ed evita il formarsi di ombreggiature dovute ai bordi del sensore stesso che altererebbero i valori effettivi.

I luxmetri sono classificati a seconda della precisione che riescono ad ottenere. Il mercato offre diverse alternative con strumenti economici che consentono la misura in un intervallo che va da frazioni di lux ad alcune centinaia di migliaia di lux e sensibilità di 1/100 di lux.

¹⁹ La classe di precisione C_P di uno strumento di misura è un indice della propria accuratezza. Il valore di C_P è espresso in percentuale ed è pari alla differenza in valore assoluto fra il valore misurato ed il valore "vero" rapportato al fondo scala dello strumento. La tabella che segue riporta i valori di classe di precisione individuati dalla CIE in funzione del tipo di impiego dello strumento (fonte Voltimum).

Classe	Impiego	Limite di incertezza [%]	
		Luxmetri	Luminanzometri
A	Misure di precisione	5	7,5
B	Misure su impianti in esercizio	10	10
C	Misure orientative	20	20



fig. II.4.1.1 – Esempio di luxmetro digitale (fabbricante Amprobe) con sensore separato in cui si nota la particolare forma convessa dello schermo diffondente in grado di raccogliere le radiazioni luminose incidenti con diverse angolazioni secondo la legge del coseno per ottimizzare la misurazione ed il relativo coperchio di protezione del sensore (fonte Internet)

II.4.2 Luminanzometri

Il luminanzometro è uno strumento utile a misurare la luminanza emessa da superfici e solidi lungo una direzione del proprio campo ottico. Intuitivamente possiamo affermare che la luminanza dipende, quindi, dalla quantità di flusso luminoso che da un punto posto su una superficie riflettente raggiunge l'osservatore attraverso un angolo solido la cui ampiezza dipende dalla distanza. Lo strumento è in grado di focalizzare su di un dispositivo fotosensibile la luce proveniente da un angolo solido a sezione circolare o rettangolare. Tale elemento fotosensibile è normalmente connesso ad un apparato elettronico in grado di restituire in forma numerica il valore di luminanza espresso in cd/m^2 . Il luminanzometro generalmente è composto da un obiettivo, da un dispositivo di messa a fuoco, dal dispositivo fotosensibile, da una parte elettronica dotata di un display di interfaccia e da un mirino all'interno del quale l'operatore vede una macchia nera circolare o rettangolare che deve essere puntata verso la regione della quale, traguardando, si individua l'area di misurazione della luminanza. Il campo di misura della luminanza può essere compreso in un intervallo che va da frazioni di cd/m^2 ad alcune centinaia di migliaia di cd/m^2 e sensibilità di $1/10.000$ di cd/m^2 anche grazie all'inserimento, sull'obiettivo, di filtri neutri di attenuazione. Un aspetto fondamentale dello strumento è che la lettura dell'energia radiante deve essere corretta rispetto alla visione fotopica dell'occhio umano.



fig. II.4.2.1 – Esempio di luminanzometro (fabbricante Konica-Minolta). I modelli più evoluti permettono di misurare sorgenti luminose di ogni genere come, ad esempio, segnaletica fissa e variabile, semafori, apparecchi LED, apparati LCD/TFT, ecc... (fonte Internet)

PARTE III

III.1 CRITERI ED ELEMENTI PROGETTUALI PER LE AREE DI STAZIONE

A causa della vastità e complessità del tema dell'illuminazione di interni ed esterni, la presente linea guida non può essere considerata esaustiva per una progettazione illuminotecnica completa, ma deve essere affiancata da altri documenti simili, da prescrizioni e circolari emanate da RFI, nonché da norme di legge e regolamenti nazionali o locali in materia di illuminazione per aree coperte e scoperte e spazi aperti al pubblico nonché di sicurezza sui luoghi di lavoro in genere. In merito dovrà tenersi conto anche delle disposizioni relative alla predisposizione di sistemi di illuminazione sussidiaria in caso di necessità (all. IV "Requisiti dei luoghi di lavoro", punti 1.5.11 e 1.10.7 – del D.lgs. n. 81/2008); di illuminazione di emergenza di intensità sufficiente in caso di guasto all'impianto delle vie e uscite di emergenza che necessitano di illuminazione (all. XVIII, punto 1.9 "Viabilità nei cantieri, ponteggi e trasporto dei materiali" – del D.Lgs. n.81/2008); nonché di un sistema di illuminazione di sicurezza con inserimento automatico in caso di interruzione dell'alimentazione di rete per quanto riguarda le vie d'uscita, inclusi i percorsi esterni, nelle aree prive di illuminazione naturale o utilizzate in assenza di illuminazione naturale (All. III, punto 3.13 " Misure relative alle vie d'uscita in caso di incendio" – del D.M. 10 marzo 1998 concernente i "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro").

Pur non trattando argomenti relativi a materiali, tecniche costruttive e specifiche di fornitura, il presente documento evidenzia la necessità che in generale l'impianto di illuminazione (e più in particolare gli apparecchi illuminanti di cui ne sono parte sostanziale) assicuri criteri di durabilità, di resistenza ad eventuali atti di vandalismo, di economicità e manutenibilità in qualsiasi configurazione sia esso realizzato, comprese le situazioni rappresentate da specifici contesti architettonici dei complessi edilizi di stazione. Per questi ultimi casi si potranno adottare soluzioni progettuali e realizzative singolari, parzialmente o interamente non rispondenti alla presente linea guida. Si potrà inoltre prevedere, per talune aree, l'incremento dei valori minimi di illuminamento di progetto rispetto a quelli previsti dalla normativa vigente laddove specifiche e comprovate situazioni inerenti la sicurezza del viaggiatore lo rendano necessario.

La progettazione degli elementi componenti il sistema di illuminazione dovranno - per quanto possibile - seguire le linee di modularità e di standard per far sì che le medio-piccole stazioni e fermate si presentino come luoghi moderni e confortevoli e che rispondano ai seguenti requisiti:

- siano facilmente riconoscibili nel tessuto urbano o nel sistema infrastrutturale del quale fanno parte minimizzando le potenziali conflittualità derivanti dal contesto architettonico nel quale gli elementi impiantistici si inseriscono;

- siano facilmente accessibili e usufruibili da persone con ridotta mobilità;
- siano in grado di orientare facilmente gli utenti verso i servizi di cui l'impianto è dotato;
- perseguano i principi di contenimento energetico e di sostenibilità ambientale;
- limitino il più possibile i costi legati alle attività di manutenzione programmata o a guasto;
- siano percepiti dalla clientela come luoghi sicuri.

La scelta dell'ubicazione degli apparecchi illuminanti dovrà, peraltro, essere effettuata in maniera tale da evitare eventuali "zone d'ombra" che potrebbero inficiare la percezione di sicurezza del viaggiatore ovvero favorire fenomeni di degrado delle aree aperte al pubblico.

III.1.1 PIAZZALE ESTERNO ED EVENTUALE AREA DI INTERSCAMBIO MODALE

III.1.1.1 Contesto

In adiacenza alle stazioni e fermate sono di norma localizzate, in base al contesto di urbanizzazione locale e ad accordi specifici con gli Enti Locali, aree d'interscambio modale costituite da:

- parcheggi per auto, moto e biciclette;
- viabilità interna, corsie taxi e kiss and ride;
- percorsi pedonali;
- sistemazione a verde e arredo urbano.

L'impianto di illuminazione di tali aree richiederebbe un'analisi della mobilità locale che è condizionata da numerosi fattori tra cui:

- viabilità esistente;
- localizzazione dei servizi rispetto alla viabilità.

III.1.1.2 Obiettivi

I diversi luoghi e le situazioni che di volta in volta possono presentarsi devono essere affrontate nel progetto di illuminazione con lo scopo di valorizzare gli ambienti, di creare le condizioni di sicurezza per chi li frequenta, di promuovere l'immagine del trasporto ferroviario nei confronti dei cittadini e dei turisti. La finalità dell'illuminazione architettonica, inoltre, è quella di sottolineare con la luce gli aspetti significativi dell'edificio e della sua collocazione urbana al fine di supportarne il valore storico, artistico e sociale.

III.1.1.3 Criteri progettuali

La soluzione tecnica tradizionale nell'illuminazione urbana di ampi spazi e per l'illuminazione architettonica in genere, è l'installazione su palo di proiettori da esterno in formazione singola o a gruppi. Tale soluzione consente, da un lato, di avere a disposizione le migliori sorgenti per tonalità e per resa del colore della luce, dall'altro, di ottenere una elevata efficienza luminosa con conseguente riduzione dei consumi energetici. Le diverse ottiche impiegabili con tali apparecchi illuminanti e l'ampia gamma di potenze disponibili consentono di creare differenti distribuzioni luminose in linea con gli obiettivi attesi. L'utilizzazione degli apparecchi a tecnologia LED risponde all'esigenza di abbinare la qualità della luce e l'efficienza energetica.

Nel caso di porticati e di spazi architettonici aperti sull'esterno del fabbricato viaggiatori è indicato l'uso di proiettori, di sospensioni, di incassi e di plafoni da esterno (fig. III.1.1.3.1). Le altezze rilevanti dei soffitti (spesso a volta), la presenza nei volumi da illuminare delle strutture portanti degli edifici (pilastri e travature) e la coesistenza, nello stesso ambiente, di funzioni molto diverse, richiedono un approccio progettuale basato su soluzioni specifiche per la singola funzione, che risultino, però, integrate fra loro.

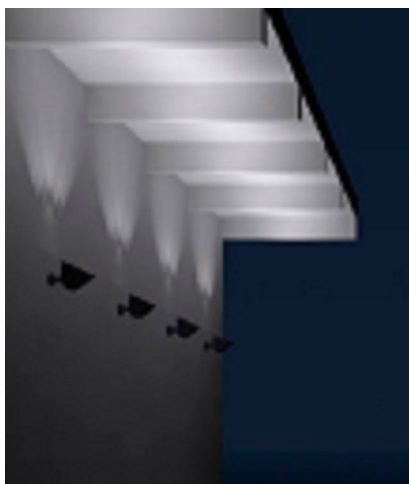


fig. III.1.1.3.1 – Esempio di illuminazione di porzioni di soffitto e travature realizzata con proiettori da esterno installati a parete (fonte ERCO)

L'illuminazione di aree esterne sistemate a verde richiede prodotti specifici come i camminamenti, le colonnine, gli incassi a parete (fig. III.1.1.3.2) o a terra (fig. III.1.1.3.3) o i proiettori di taglia medio-piccola capaci di creare le condizioni di luce adeguate per favorire l'orientamento e la sicurezza del viaggiatore. Particolare cura dovrà essere prestata nella salvaguardia delle apparecchiature da atti vandalici, furti e danneggiamenti, prevedendo, ove le circostanze lo permettano, soluzioni che contemplino l'installazione degli apparecchi illuminanti ad altezze da terra tali da impedirne la facile manomissione.



fig. III.1.1.3.2 – Esempio di illuminazione di orientamento realizzata con incassi a parete (fonte ERCO)

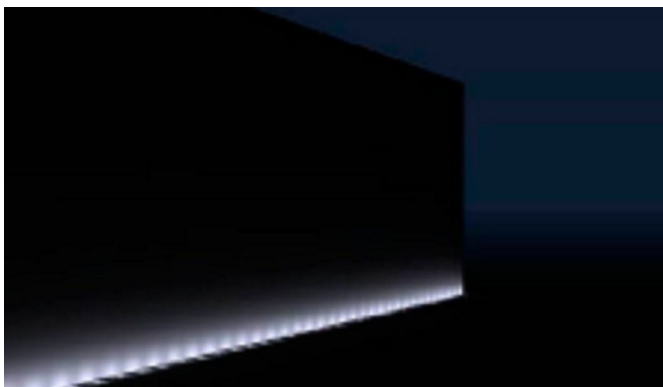


fig. III.1.1.3.3 – Esempio di illuminazione di orientamento realizzata con incassi a terra (fonte ERCO)

III.1.1.4 Riferimenti normativi

Un aspetto importante nella progettazione dell'illuminazione urbana di ampi spazi è quello relativo alle condizioni di visibilità per la sicurezza, la scorrevolezza e il comfort di marcia per gli automobilisti (se presenti corsie di marcia, accostamento, kiss&ride) e per l'attraversamento

pedonale. Nelle aree con prevalente o esclusivo traffico pedonale è fondamentale garantire la sicurezza e il comfort degli utenti che usufruiscono tali aree.

Per questo le normativa EN 12464-2:2014²⁰ nella tabella 5.1 “Aree di circolazione generale” prescrive i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_m , di uniformità U_0 , di abbagliamento limite R_{GL} e di resa del colore R_a . I riferimenti da tenere in considerazione nella progettazione degli impianti di illuminazione sono il 5.1.1 per i marciapiedi e delle aree pedonali esterne al fabbricato viaggiatori, il 5.1.2 per le corsie di accostamento o stazionamento dei veicoli nei pressi della stazione e per le piste ciclabili ed il 5.1.4 per i passaggi pedonali ed il kiss&ride.

Rif. numero	Tipo di zona, compito o attività	E_m (lx)	U_0	R_{GL}	R_a	Note
5.1.1	Marciapiede riservato ai pedoni	5	0,25	50	20	
5.1.2	Zone di circolazione di veicoli lenti: biciclette (max. 10 km/h)	10	0,40	50	20	
5.1.3	Aree con traffico veicolare regolare: automobili (max. 40 km/h)	20	0,40	45	20	
5.1.4	Passaggi pedonali, punti di salita e discesa	50	0,40	50	20	

Analogamente la tabella 5.9 “Parcheggi” riporta i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_m , di uniformità U_0 , di abbagliamento limite R_{GL} e di resa del colore R_a . Per quanto riguarda i piazzali e le aree esterne, quindi, il riferimento da tenere in considerazione è il 5.9.3 che rappresenta la situazione più conservativa anche in relazione alla specifica tecnica di interoperabilità STI-PRM:2008 che al punto 4.1.2.10 riporta quanto segue: *“l’illuminamento dei marciapiedi e delle aree esterne della stazione riservate ai passeggeri deve essere almeno 20 lux, misurati al pavimento, con un valore minimo di 10 lux”*.

Rif. numero	Tipo di zona, compito o attività	E_m (lx)	U_0	R_{GL}	R_a	Note
5.9.1	Traffico leggero, parcheggi di negozi, scuole, chiese ed edifici residenziali	5	0,25	55	20	
5.9.2	Traffico medio, parcheggi di supermercati, palazzi uffici, edifici sportivi e polifunzionali	10	0,25	50	20	
5.9.3	Traffico pesante, parcheggi dei centri commerciali, grandi edifici sportivi e polifunzionali	20	0,25	45	20	

²⁰ La norma EN 12464:2014, alla data di redazione del presente documento, non è stata ancora recepita dall’UNI e pertanto è presente in commercio solamente in lingua inglese; alcune traduzioni contenute in questo testo, pertanto, potranno risultare non conformi con quanto verrà riportato nella corrispondente norma italiana UNI EN 12464:2014 quando questa verrà emessa

Nella progettazione dell'illuminazione urbana è molto importante prendere in considerazione il problema dell'inquinamento luminoso, fenomeno che avviene quando la luce emessa dagli apparecchi illuminanti è rivolta verso l'alto e di conseguenza dispersa. Questo fenomeno crea danni di vario genere, quali:

- ambientali per l'uomo con l'alterazione dei ritmi circadiani²¹;
- ambientali per la fauna notturna con la possibilità di perdita dell'orientamento;
- culturali e scientifici per la sparizione del cielo stellato;
- economici per la perdita di energia elettrica impiegata per zone che non necessitano di illuminazione.

Le leggi contro l'inquinamento luminoso vietano, in generale, l'utilizzo di apparecchi che emettono flussi luminosi con componenti che superano i 90° rispetto alla verticale (figg. III.1.1.4.1/2/3) , tranne rare eccezioni legate, soprattutto, all'illuminazione di aree archeologiche e di edifici di pregio storico-culturale. Per ovviare a questo tipo di problema, gli apparecchi illuminanti devono essere dotati di opportuni sistemi di schermatura o essere installati in maniera corretta. La norma di riferimento per questo tipo di applicazione è la UNI 10819:1999 "Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso" integrata (e talvolta sovrastata) dalle leggi regionali.

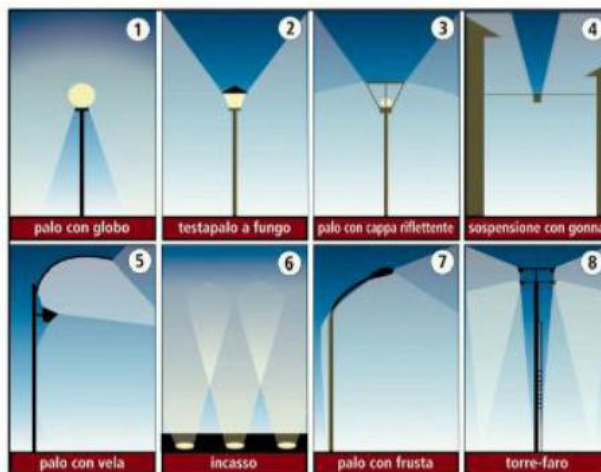


fig. III.1.1.4.1 – Esempio di installazione non conforme alla norma UNI 10819 (fonte ENEA - MISE - Università La Sapienza)

²¹ Il ritmo circadiano è un ciclo che si compie orientativamente ogni 24 ore (il termine "circadiani", coniato da Franz Halberg, viene dal latino *circa diem* e significa appunto "intorno al giorno"). Nell'uomo, e più in generale negli animali, il ritmo circadiano è il ciclo con cui si ripetono regolarmente certi processi fisiologici (ciclo sonno-veglia, la produzione di alcuni ormoni, ecc...). I ritmi circadiani sono regolati da fattori interni (il cosiddetto orologio biologico) che risulta essere sincronizzato da fattori esterni (ciclo naturale del giorno e della notte percepito mediante stimoli ambientali come la luce solare e la temperatura ambientale).

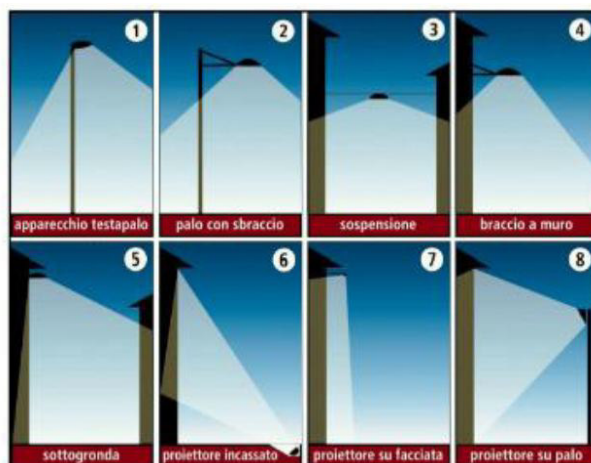


fig. III.1.1.4.2 – Esempio di installazione conforme alla norma UNI 10819 (fonte ENEA - MISE - Università La Sapienza)

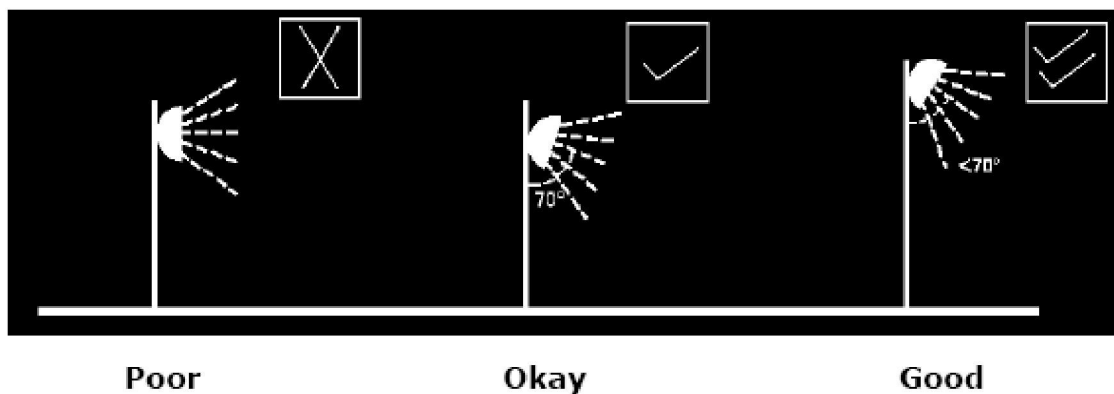


fig. III.1.1.4.3 – Angoli di installazione dei proiettori su palo che generalmente minimizzano la dispersione del flusso luminoso verso l'alto. Angoli di installazione non superiori a 70° sono consigliati; angoli di installazione inferiori a 70° risultano ottimali (fonte Internet)

In linea di principio la scelta dei componenti dell'impianto deve orientarsi verso prodotti standard industrializzati da primarie marche costruttrici. In genere dovrebbero esser scelte sorgenti luminose caratterizzate da:

- una efficienza luminosa non inferiore agli 80-100 lm/W;
- flussi luminosi unitari elevati tali da permettere l'installazione del minor numero di punti luce garantendo, al contempo, i valori di uniformità richiesti dalle normative;
- temperature di colore adeguate alle caratteristiche fisiche e architettoniche dell'ambiente da illuminare;
- una vita media di almeno 10.000-12.000 ore.

Le lampade che garantiscono i valori di cui sopra risultano essere quelle a vapori di sodio ad alta pressione, le lampade ad alogenuri metallici e, ovviamente, gli apparecchi a LED. Altre scelte possono essere fatte in relazione a specifiche situazioni.

Gli apparecchi illuminanti devono, inoltre, possedere le seguenti caratteristiche costruttive:

- grado di tenuta idoneo alla penetrazione di polvere e liquidi non inferiore all'IP55 quando essi risultano anche parzialmente protetti dalla pioggia e ad altri agenti atmosferici per mezzo di elementi architettonici o strutturali. E' comunque consigliabile l'utilizzo di apparecchi con indice di protezione pari a IP65 per quelli esposti direttamente agli agenti atmosferici e IP67 e IP68 per gli incassi a terra in cui è possibile il verificarsi l'effetto di immersione in acqua - anche prolungata - dell'apparecchio;
- una buona e comprovata resistenza alla corrosione e all'ossidazione;
- una adeguata resistenza alle sollecitazioni meccaniche;
- facilità di installazione, manutenzione e pulizia;
- adeguata resistenza ad eventuali atti vandalici.

III.1.2 BANCHINE FERROVIARIE DI STAZIONE AD USO DEI VIAGGIATORI

III.1.2.1 Contesto

Le banchine di stazione ad uso dei viaggiatori assumono un ruolo fondamentale nella progettazione dell'infrastruttura ferroviaria. Le situazioni che possono presentarsi, però, sono

numerose e piuttosto eterogenee sia in termini di dimensioni che di caratteristiche costruttive e prevedere una sola tipologia di impianto per illuminarle in maniera adeguata, pertanto, non sempre è possibile.

Normalmente le banchine ad uso dei viaggiatori nelle nuove stazioni hanno, in conformità con le prescrizioni e normative specifiche, altezza pari a 550 mm sul piano di rotolamento. Rete Ferroviaria Italiana sta attuando un grande sforzo dal punto di vista economico e organizzativo per uniformare a tale altezza anche le banchine delle stazioni in esercizio innalzandoli dall'attuale e più tradizionale altezza di 250 mm. Gli eventuali marciapiedi di servizio, invece, hanno e manterranno, generalmente, altezza pari a 250 mm.

Le lunghezze standard delle banchine sono pari a 125, 250 e 400 m in funzione della tipologia di traffico ferroviario che sono destinati a servire. La larghezza, invece, è solitamente commisurata ai flussi viaggiatori previsti oltre che alle dimensioni delle fasce di sicurezza (in funzione della velocità della linea), agli ingombri degli ostacoli fissi ed alle relative distanze dalla striscia gialla. E' proprio in funzione del volume e della tipologia dei flussi viaggiatori che il legislatore ha diversificato i valori minimi di illuminamento medio e uniformità da garantire sul piano di calpestio delle banchine.

III.1.1.2 Obiettivi

L'obiettivo primario dell'impianto di illuminazione a servizio delle banchine a servizio dei viaggiatori è quello di assicurare all'utente, in particolare per il PRM, adeguati standard in termini di comfort e sicurezza, nella fattispecie durante la sosta, l'attesa e la circolazione del passeggero lungo il marciapiede, nonché nel corso delle fasi di salita e discesa a bordo del treno.

III.1.2.3 Criteri progettuali

Le soluzioni tecniche utilizzate nell'illuminazione delle banchine a servizio dei viaggiatori sono legate alla tipologia di infrastruttura presente.

Nel caso di banchina scoperta l'illuminazione, in genere, è realizzata utilizzando armature stradali montate su palo o da plafoniere da esterno montate su palina (fig. III.1.2.3.1) . Data la potenza ridotta delle sorgenti luminose necessarie a questo tipo di impiego e la vasta gamma di armature e di ottiche disponibili, la tendenza è quella di impiegare apparecchi a LED con potenze variabili fra 50 e 100 W a seconda delle altezze di installazione.



fig. III.1.2.3.1 – Immagine di un palo di altezza pari a 5,7 metri che monta ad una altezza di 5,5 metri da terra una armatura stagna con ottica stradale adatta ad aree urbane e pedonali e relativo apparecchio a LED da 48 W. L'interdistanza dei pali è di circa 13,00 metri. Questo tipo di apparecchio è impiegato per il tratto scoperto della banchina nella stazione di Tortoreto Lido appartenente alla linea Ancona-Foggia (fonte RFI)

Più articolata è la situazione nel caso di banchina coperta nella quale giocano un ruolo fondamentale la forma e le dimensioni della pensilina. Solitamente l'illuminazione è diretta e la posizione degli apparecchi illuminanti è centrata in senso longitudinale rispetto alla banchina così da mantenere una distanza di sicurezza dalla linea di contatto idonea per le fasi di manutenzione e sostituzione delle lampade. Le ottiche utilizzate sono a fascio largo per coprire al meglio tutta la larghezza del marciapiede; nei casi in cui la banchina ha dimensioni trasversali molto ampie, però, i livelli di illuminamento presenti sul bordo del marciapiede ed in corrispondenza della linea gialla di sicurezza potrebbero non essere conformi alle normative vigenti.

Soluzioni alternative già adottate e replicabili sono quelle che sfruttano l'illuminazione diretta/indiretta per distribuire maggiormente il fascio luminoso verso il bordo del marciapiede e per "ammorbidire", al contempo, la resa ottica con vantaggi sul piano del comfort dei viaggiatori. Ovviamente dovranno essere presi gli opportuni accorgimenti per evitare la posa di volatili sugli apparecchi illuminanti ed il deposito di sporcizia.

Altra soluzione è quella di utilizzare piccoli apparecchi o strisce a LED che, grazie alla scarsa manutenzione richiesta da questo tipo di tecnologia, possono essere installate sotto la pensilina fin quasi sulla verticale della striscia gialla di sicurezza (fig. III.1.2.3.2).

Si dovranno, comunque, tenere in considerazione, laddove le circostanze lo permettano, soluzioni che contemplino l'installazione degli apparecchi illuminanti ad altezze da terra tali da impedirne, senza difficoltà, il danneggiamento e la manomissione. Al contrario, gli apparecchi installati ad altezze da terra facilmente accessibili dovranno possedere un'adeguata resistenza agli urti ed essere dotati di sistemi anti-svitamento. E', infine, possibile equipaggiare l'impianto di illuminazione con sistemi di rilevazione di presenza in grado di comandare l'accensione parzializzata limitatamente alle zone in cui normalmente, a causa della bassa frequentazione di viaggiatori, non è necessario garantire elevati livelli di illuminamento.



fig. III.1.2.3.2 – Immagine della pensilina della stazione di Rimini Fiera che adotta apparecchi illuminanti a LED posti in prossimità del bordo della pensilina per incrementare i livelli di illuminamento sulla striscia gialla di sicurezza e apparecchi a illuminazione diretta/indiretta per garantire un idoneo e più uniforme illuminamento medio sulla banchina (fonte Internet)

III.1.2.4 Riferimenti normativi

L'aspetto legato alla sicurezza è fondamentale nella progettazione dell'illuminazione delle banchine ad uso dei viaggiatori; ciò è legato principalmente al pericolo rappresentato dalla presenza del binario con il transito del treno e dalla discontinuità costituita dall'altezza del gradino che il marciapiede costituisce con il piano del ferro. Per tale motivo sia la normativa UNI EN 12464-1 che la UNI EN 12464-2 prendono in considerazione le banchine ferroviarie prescrivendo per tali aree livelli di illuminazione più o meno restrittivi in funzione della tipologia di stazione e del volume di traffico viaggiatori previsto.

La tabella 5.53 "Trasporti – Stazioni ferroviarie" contenuta nella UNI EN 12464-1:2011, riporta i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_{mv} , di uniformità U_0 , di abbagliamento UGR_L e di resa del colore R_a . I punti da tenere in considerazione per le banchine a servizio dei viaggiatori

LINEA GUIDA

Codifica: RFI DPR DAMCG LG SVI 008 A

FOGLIO
64 di 91

sono i riferimenti 5.53.1 per le stazioni con basse frequentazioni e 5.53.2 per le stazioni con alte frequentazioni.

Rif. numero	Tipo di interno, compito o attività	E_m (lx)	U_0	UGR_L	R_a	Note
5.53.1	Banchine, bassa densità di persone	100	0,40	-	40	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. Evitare abbagliamento ai conducenti dei mezzi. Illuminazione misurata a terra
5.53.2	Banchine, alta densità di persone	200	0,40	-	40	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. Evitare abbagliamento ai conducenti dei mezzi. Illuminazione misurata a terra

Analogamente la tabella 5.12 “Ferrovie e tramvie” della EN 12464-2:2014 individua i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_m , di uniformità U_0 , di abbagliamento limite R_{GL} e di resa del colore R_a per varie zone e attività di cui riportiamo solamente quelle che interessano gli impianti ferroviari aperti al traffico passeggeri. L’avvertenza generale è quella di evitare l’abbagliamento ai veicoli stradali che circolano in prossimità dell’impianto ferroviario. Per completezza di informazione occorre tenere presente che U_d è pari a E_{min}/E_{max} .

Rif. numero	Tipo di zona, compito o attività	E_m (lx)	U_0	R_{GL}	R_a	Note
5.12.1	Piattaforme scoperte per stazioni e fermate con traffico passeggeri estremamente ridotto	5	0,20	55	20	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. $U_d \geq 1/10$
5.12.6	Piattaforme scoperte per stazioni che effettuano collegamenti locali con ridotto traffico passeggeri	10	0,25	50	20	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. $U_d \geq 1/8$
5.12.8	Attraversamenti a raso	20	0,40	45	20	
5.12.9	Piattaforme scoperte per stazioni che effettuano servizio suburbano, regionale o intercity con medio traffico passeggeri	20	0,30	45	20	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. $U_d \geq 1/6$

- segue -

Rif. numero	Tipo di zona, compito o attività	E_m (lx)	U_0	R_{GL}	R_a	Note
5.12.16	Piattaforme scoperte per stazioni che effettuano servizio intercity con alto traffico passeggeri	50	0,40	45	20	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. $U_d \geq 1/5$
5.12.17	Piattaforme coperte per stazioni che effettuano servizio suburbano, regionale o intercity con ridotto traffico passeggeri	50	0,40	45	40	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. $U_d \geq 1/5$
5.12.19	Piattaforme coperte per stazioni che effettuano servizio intercity con alto traffico passeggeri	100	0,50	45	40	Prestare attenzione al bordo della piattaforma. $U_d \geq 1/3$

In aggiunta ai valori sopra elencati, il documento STI-PRM:2008, come detto, prescrive al punto 4.1.2.10 che: *“l’illuminamento dei marciapiedi e delle aree esterne della stazione riservate ai passeggeri deve essere almeno 20 lux, misurati al pavimento, con un valore minimo di 10 lux”²²*.

Come si può facilmente osservare le tre normative applicabili per la progettazione degli impianti di illuminazione delle banchine delle stazioni e fermate medie e piccole lasciano ampio spazio all’interpretazione e forniscono valori di illuminamento differenti. Il buon senso e l’esperienza in questo tipo di realizzazione portano ad affermare che, per garantire la sicurezza, il comfort e le esigenze di contenimento dei costi di installazione ed esercizio abbinati al risparmio energetico, il progettista dovrà fare riferimento ai seguenti valori:

- illuminamento medio mantenuto per le banchine scoperte di fermate e stazioni: non inferiore a 50 lux (e le altre caratteristiche illuminotecniche richiamate al punto 5.12.16 della EN 12464-2:2014);
- illuminamento medio mantenuto per le banchine coperte di fermate e stazioni: non inferiore a 100 lux (e le altre caratteristiche illuminotecniche richiamate al punto 5.12.19 della EN 12464-2:2014);
- illuminamento medio mantenuto per le banchine in stazioni e fermate sotterranee: non inferiore a 100 lux (e le altre caratteristiche illuminotecniche richiamate al punto 5.53.2 della UNI EN 12464-1:2011).

²² L’apparente contraddizione contenuta nella seconda parte della frase richiamata è interpretabile come segue: il valore dell’illuminamento medio delle banchine deve essere almeno pari 20 lux misurati a terra. La misurazione deve essere effettuata secondo una griglia sovrapposta alla superficie della banchina la cui maglia, definita dalle normative specifiche (vedasi a tal proposito la nota a piè di pagina numero 6), individua i punti ove effettuare la misura dell’illuminamento. Ebbene, in nessun punto di misura individuato da tale griglia deve risultare un livello di illuminamento inferiore ai 10 lux. Ciò equivale a dire che l’illuminamento differenziale U_d deve risultare pari ad almeno 0,5

Generalmente la scelta dei componenti dell'impianto per questo tipo di applicazione deve orientarsi verso prodotti standard industrializzati da primarie marche costruttrici. La scelta delle sorgenti luminose dovrebbe rispettare i seguenti parametri:

- potenze unitarie ridotte per consentire valori di uniformità adeguati;
- una efficienza luminosa non inferiore agli 80-100 lm/W;
- temperature di colore rispondenti alle normative;
- una vita media di almeno 10.000-12.000 ore;
- tempi di riaccensione nulli.

Le lampade che possiedono le caratteristiche di cui sopra risultano essere quelle fluorescenti lineari (più raramente quelle compatte) e gli apparecchi a LED. Altre scelte possono essere fatte in relazione a specifiche situazioni.

Gli apparecchi illuminanti devono, inoltre, possedere le seguenti caratteristiche costruttive:

- grado di tenuta idoneo alla penetrazione di polvere e liquidi non inferiore all'IP55;
- una buona e comprovata resistenza alla corrosione e all'ossidazione derivante anche dalla presenza di polveri ferromagnetiche;
- una adeguata resistenza alle sollecitazioni meccaniche;
- facilità di installazione, manutenzione e pulizia.

III.13 AREE INTERNE AL FABBRICATO VIAGGIATORI, ATRI, CORRIDOI E ZONE DI CIRCOLAZIONE

III.13.1 Contesto

Per aree interne al fabbricato viaggiatori si intendono le zone di circolazione che i viaggiatori impegnano nel compiere il percorso che, dall'esterno della stazione, li conduce fino verso le banchine e i marciapiedi di binario inclusi gli spazi riguardanti i servizi offerti dalla stazione (con configurazioni più o meno articolate) ai quali il viaggiatore ha la necessità o solamente

l'opportunità di accedere. Ci si riferisce, in particolare, a:

- la biglietteria;
- le attività commerciali;
- la sala di attesa;
- i servizi igienici;
- il deposito bagagli.

Da questa categoria di superfici coperte sono esclusi i sottopassi e le passerelle aeree per i quali seguirà una trattazione specifica.

III.1.3.2 Obiettivi

L'obiettivo primario dell'impianto di illuminazione interno al fabbricato viaggiatori è quello di orientare il viaggiatore lungo tutte le zone di circolazione garantendo favorevoli condizioni sia dal punto di vista del comfort che della sicurezza. Particolare attenzione dovrà essere prestata per quella categoria di persone a mobilità ridotta che dovranno essere agevolate - anche grazie ad una corretta illuminazione dei volumi e delle superfici di stazione - durante le proprie fasi di sosta, attesa e movimento, sia in condizioni ordinarie che in condizioni straordinarie di afflusso di passeggeri.

III.1.3.3 Criteri progettuali

La scelta del tipo di apparecchio illuminante ed il relativo posizionamento devono essere effettuati in funzione dell'organizzazione dei percorsi di transito e di collegamento fra gli spazi scoperti (accesi esterni e banchine) e gli spazi coperti (corridoi, atri, aree dedicate all'attesa e servizi di stazione) con il triplice scopo di garantire i corretti livelli di illuminamento, di minimizzare gli effetti dell'abbagliamento e quelli della disuniformità. Le soluzioni tecniche da utilizzare sono intrinsecamente legate alla tipologia di infrastruttura esistente e alla distribuzione delle aree all'interno del fabbricato viaggiatori.

Una illuminazione generale diretta dal soffitto, ampiamente distribuita e orientata verso il pavimento crea un effetto omogeneo sul piano orizzontale consentendo un facile orientamento, una buona percezione delle forme, delle strutture e delle superfici calpestabili. L'uniformità cresce all'aumentare dell'altezza dei soffitti e all'ampiezza dell'angolo di apertura del fascio. Le pareti chiare possono contribuire a diffondere la luce in maniera più "morbida" a scapito, però, della

capacità di modellazione delle forme che risultano meno accentuate. L'illuminazione diretta, peraltro, si contraddistingue per la sua efficienza energetica. Gli apparecchi utilizzati possono essere del tipo a plafone, da incasso a soffitto (figg. III.1.3.3.1/2) o a sospensione. Per applicazioni particolari è possibile utilizzare applique a parete.

Questo tipo di illuminazione generalmente è utilizzato per illuminare gli atri, le sale di attesa, i corridoi e le aree di transito in genere. La scelta delle sorgenti luminose da utilizzare può ricadere sia su sorgenti a tecnologia LED che fluorescenti compatte e lineari; la convenienza dell'una rispetto all'altra deve essere attentamente valutata in funzione delle ore di funzionamento giornaliero previsto e delle condizioni ambientali in cui l'impianto di inserisce.

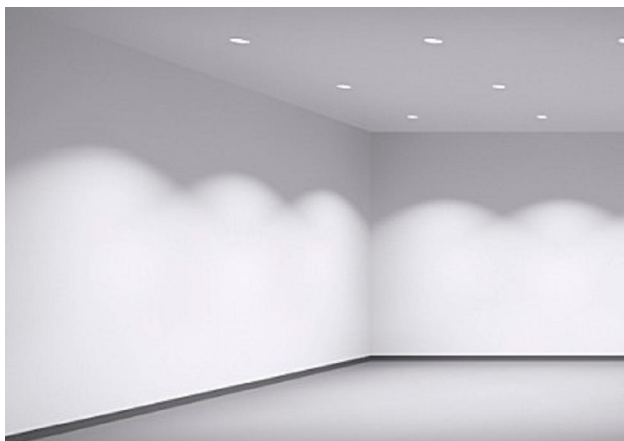


fig. III.1.3.3.1 – Illuminazione diretta orientata realizzata con apparecchi da incasso a soffitto down-light (fonte ERCO)

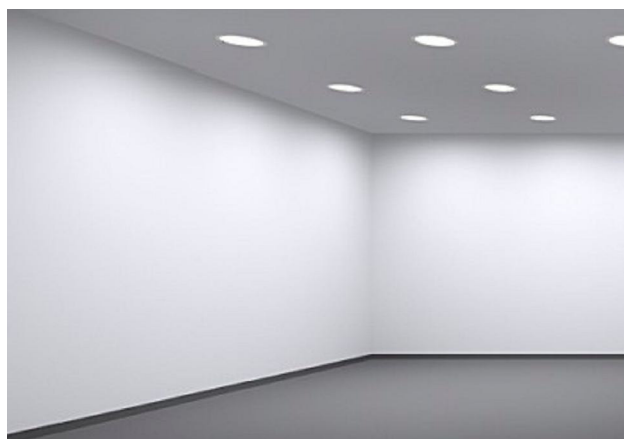


fig. III.1.3.3.2 – Illuminazione diretta a luce diffusa realizzata con apparecchi da incasso a soffitto down-light (fonte ERCO)

Gli apparecchi down-light proiettano verso il basso un cono di luce perpendicolare o orientabile rotazionalmente simmetrico. Possono avere una distribuzione della luce a fascio stretto, largo, simmetrico o asimmetrico. L'angolo di distribuzione definisce il cono luminoso ed è determinato dal riflettore interno al corpo illuminante. Dato il loro angolo di schermatura, i down-light a fascio stretto non abbagliano; nei down-light con riflettore dark-light si ha la massima ampiezza della distribuzione con un rendimento ottico ottimizzato e bassissimo abbagliamento.

Per ottenere una luminosità equilibrata fra parete e pavimento, la distanza di installazione degli apparecchi dalla parete dovrebbe essere pari a circa la metà della interdistanza tra gli apparecchi stessi (fig. III.1.3.3.3). Per ottenere una illuminazione omogenea a pavimento la distanza d tra gli apparecchi non dovrebbe essere maggiore di 1,5 volte l'altezza di installazione h . Se $h=d$ si ottiene una omogeneità ottimale (fig. III.1.3.3.4).

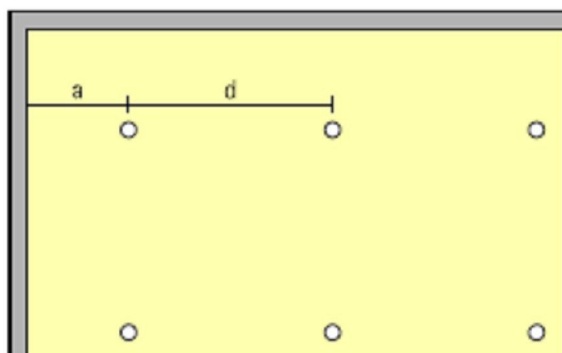


fig. III.1.3.3.3 – La distanza a di installazione degli apparecchi dalla parete è legata al passo d esistente fra gli stessi. Generalmente, per ottenere una uniforme illuminazione delle pareti, si dispongono gli apparecchi in modo che risulti $a \leq 0,5 \cdot d$ (fonte ERCO)

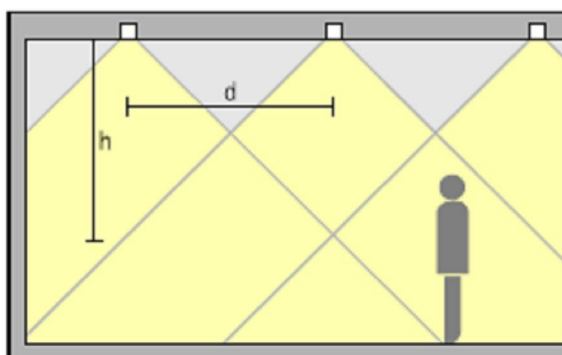


fig. III.1.3.3.4 – L'interdistanza d degli apparecchi è legata all'altezza h di installazione degli stessi. Generalmente, per ottenere una buona uniformità di illuminazione a pavimento, si dispongono gli apparecchi in modo che risulti $d \leq 1,5 \cdot h$ (fonte ERCO)

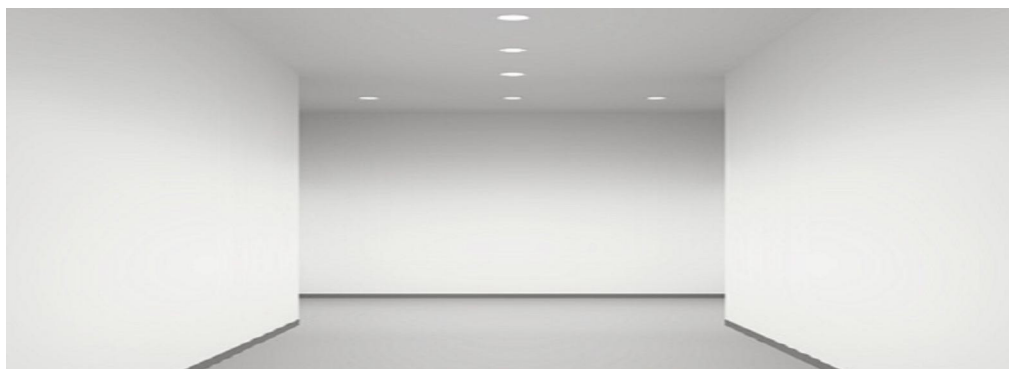


fig. III.1.3.3.5 – L’illuminazione diffusa nei corridoi conferisce alle pareti parallele una luminosità uniforme ed omogenea che esalta la sensazione di ampiezza e profondità. La chiara strutturazione degli spazi favorisce l’orientamento (fonte ERCO)

Il montaggio a sospensione (fig. III.1.3.3.6) consente di impostare l’altezza del punto luce al fine di ottenere una proiezione ottimale del cono luminoso in funzione dell’altezza del soffitto del locale oltre che un buon controllo dell’abbagliamento. Il rendimento del sistema di illuminazione viene migliorato con l’ottimizzazione della tecnica di riflessione.

Apparecchi a sospensione da interno montano, generalmente, sorgenti fluorescenti compatte, ad alogenuri metallici e a LED. Anche in questo caso la scelta della sorgente deve esser fatta tenendo conto delle condizioni di utilizzo giornaliere dell’impianto di illuminazione e delle potenze necessarie a garantire i livelli luminosi di progetto.



fig. III.1.3.3.6 – Illuminazione diretta orientata realizzata con apparecchi a sospensione nel caso in cui i soffitti risultino particolarmente alti (fonte ERCO)

L'illuminazione dei soffitti con apparecchi che montano ottiche capaci di emissione indiretta (figg. 1.3.3.7/8) produce la sensazione di un volume di altezza maggiore rispetto alla realtà fornendo l'impressione di un ambiente aperto. L'illuminazione indiretta rimuove le ombre troppo accentuate e ammorbidisce le sagome e i volti presenti. In confronto all'illuminazione diretta, con quella indiretta è necessario produrre un flusso luminoso decisamente superiore per ottenere gli stessi livelli di illuminamento a terra. Il soffitto, in tal caso, sarebbe illuminato "a giorno" con il rischio di mettere in evidenza eventuali depositi di sporcizia e altre imperfezioni. Inoltre il soffitto stesso dovrebbe avere un grado di riflessione piuttosto elevato. Per ovviare a queste problematiche si può optare per una illuminazione mista diretta/indiretta (fig. III.1.3.3.9) con apparecchi a sospensione che emettono contemporaneamente il flusso verso l'alto (più attenuato) e verso il basso.

Gli apparecchi da parete sono in linea di massima definiti per il loro tipo di montaggio più che per le caratteristiche della loro illuminazione. Sono possibili diversi tipi di distribuzione della luce: a fascio stretto, largo, simmetrico, asimmetrico ed orientato in diverse direzioni a seconda delle necessità. L'installazione dei washer per soffitto deve rispettare ad alcuni criteri fondamentali fra cui quello che gli apparecchi devono essere posti ad una altezza superiore a quella della linea degli occhi dell'osservatore (fig. 1.3.3.10). Questo tipo di illuminazione generalmente è utilizzato per illuminare gli atri e le sale di attesa.

Si dovranno comunque tenere in considerazione, laddove le circostanze lo permettano, soluzioni che prevedano l'installazione degli apparecchi illuminanti ad altezze da terra tali da impedirne il facile danneggiamento e la manomissione.

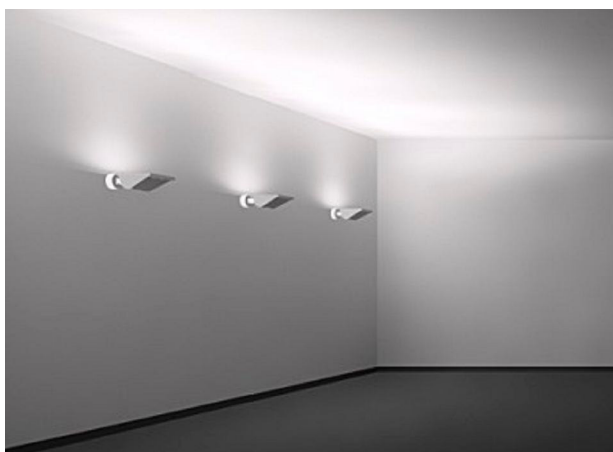


fig. III.1.3.3.7 – Illuminazione a luce indiretta realizzata con apparecchi a parete washer per soffitto tipo up-light e ottica asimmetrica (fonte ERCO)

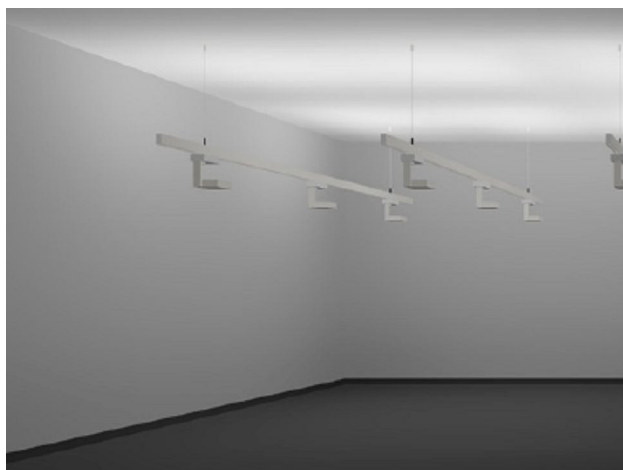


fig. III.1.3.3.8 – Illuminazione a luce indiretta realizzata con apparecchi a sospensione (fonte ERCO)

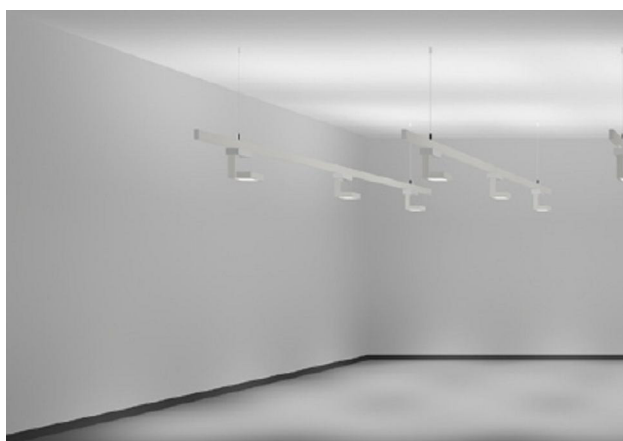


fig. III.1.3.3.9 – Illuminazione a luce mista diretta/indiretta realizzata con apparecchi a sospensione (fonte ERCO)

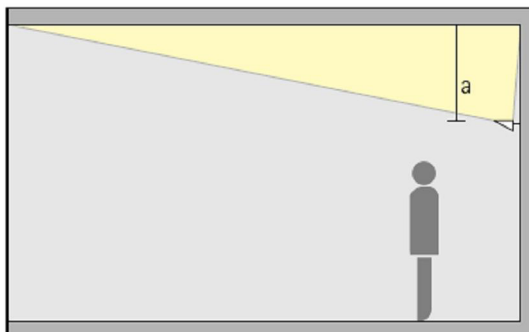


fig. III.1.3.3.10 – L'altezza di installazione da terra dei washer per soffitto deve risultare sopra la linea degli occhi. La distanza a degli apparecchi dal soffitto dipende dall'omogeneità con cui si vuole illuminare il soffitto stesso e comunque generalmente si pone $a > 0,8$ metri (fonte ERCO)

III.1.3.4 Riferimenti normativi

All'aspetto connesso al comfort del viaggiatore, più che a quello della sicurezza, è legata la progettazione dell'illuminazione delle aree interne al Fabbricato Viaggiatori. Trattandosi di aree esclusivamente interne la normativa di riferimento in questo tipo di applicazione è la UNI EN 12464-1.

La tabella 5.53 "Trasporti – Stazioni ferroviarie" contenuta nella UNI EN 12464-1:2011, riporta i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_m , di uniformità U_0 , di abbagliamento UGR_L e di resa del colore R_a . I punti da tenere in considerazione per le aree aperte al pubblico sono: il 5.53.5 per quanto riguarda le biglietterie (con la possibilità - da parte delle imprese ferroviarie che gestiscono tali aree commerciali - di modificare tali valori in funzione di specifiche esigenze tecniche, estetiche e funzionali), il 5.53.6 per il deposito bagagli e relativa cassa, il 5.53.7 per le sale di attesa e il 5.53.8 per gli ingressi principali e atri. Per ragioni di carattere tecnico-economico si consiglia di limitare, per quanto possibile, le zone con livelli di illuminamento di 200 lux (in particolare per gli atri o comunque le zone in cui i viaggiatori transitano solamente e hanno poche occasione per sostare) e di trattarli alla stregua zone di circolazione. Il passaggio dalle zone di ingresso con livelli di illuminamento di 200 lux alle aree di circolazione con livelli pari a 100 lux deve essere sufficientemente graduale in modo da evitare nel viaggiatore la sensazione di un brusco calo di luminosità.

Rif. numero	Tipo di interno, compito o attività	E_m (lx)	U_0	UGR_L	R_a	Note
5.53.5	Biglietterie	200	0,50	28	40	
5.53.6	Deposito bagagli e cassa	300	0,50	19	80	
5.53.7	Sale di attesa	200	0,40	22	80	
5.53.8	Ingressi, atri	200	0,40	-	80	

Nella tabella 5.53 non è presente alcuna indicazione attinente le aree di circolazione e le zone di transito in genere (compresi i corridoi). Per tale motivo si può ragionevolmente applicare il punto 5.1.1 della più generica tabella 5.1 "Zone di circolazione all'interno di edifici" contenuta nella UNI EN 12464-1:2011.

Rif. numero	Tipo di interno, compito o attività	E_m (lx)	U_0	UGR_L	R_a	Note
5.1.1	Zone di circolazione e corridoi	100	0,40	28	40	L'illuminamento è misurato a pavimento. R_a e UGR devono essere simili alle aree adiacenti.

Per quanto riguarda i servizi igienici la normativa applicabile non contiene alcuna indicazione in merito. Si consiglia, pertanto, di predisporre un impianto di illuminazione con un UGR_L 25, un coefficiente di uniformità pari 0,4 una resa del colore non inferiore a 80 ed un illuminamento generale medio di 200 lux che può scendere a 150 lux all'interno delle singole celle servizi per le quali, laddove specifiche e comprovate situazioni di sicurezza lo richiedano, è possibile prendere in considerazione l'utilizzo di sorgenti luminose di colore blu al fine di impedire l'utilizzo dei locali per scopi differenti da quelli previsti. A completamento dei riferimenti normativi relativi alle aree interne al Fabbricato Viaggiatori, si segnala che la STI-PRM prescrive che dall'ingresso accessibile alle persone con ridotta mobilità fino al punto di accesso al marciapiede di binario, il Percorso Privo di Ostacoli deve avere un illuminamento minimo di 100 lux misurati a pavimento. Se è necessario ricorrere all'illuminazione artificiale per raggiungere tali livelli di illuminamento a terra, come nella stragrande maggioranza dei casi, il livello di illuminamento richiesto deve essere di almeno 40 lux superiore al livello di illuminamento circostante e avere una temperatura di colore più fredda. In linea generale la scelta dei componenti dell'impianto per questo tipo di applicazione deve orientarsi verso prodotti standard esteticamente validi e industrializzati da primarie marche costruttrici. La scelta delle sorgenti luminose dovrebbe rispettare i seguenti parametri:

- temperature di colore rispondenti alle normative;
- una vita media di almeno 10.000 ore;
- tempi di riaccensione brevi.

Gli apparecchi illuminanti devono, inoltre, possedere le seguenti caratteristiche costruttive:

- grado di tenuta idoneo agli ambienti interni e quindi non inferiore all'IP20. Una garanzia maggiore contro la penetrazione di liquidi e solidi porta, comunque, a consigliare l'utilizzazione di apparecchi con indice di protezione massimo pari all'IP41;
- una adeguata capacità di resistenza alla manomissione da parte di personale non addetto;
- facilità di installazione, manutenzione e pulizia.

III.1.4 SOTTOPASSI E PASSERELLE AEREE COPERTE

III.1.4.1 Contesto

I sottopassaggi a servizio dei viaggiatori (più raramente le passerelle aeree coperte) sono elementi infrastrutturali quasi sempre presenti negli impianti ferroviari. Le situazioni che possono

presentarsi, tuttavia, sono molto differenti ed eterogenee sia dal punto di vista delle dimensioni (altezza e larghezza) che dei materiali di finitura utilizzati per i pavimenti e le pareti.

La larghezza dei sottopassaggi è, teoricamente, commisurata ai flussi viaggiatori. Generalmente si rileva una larghezza pari ad almeno 3 metri e una altezza netta fra pavimento e soffitto non inferiore a 2,50 m. Situazioni molto differenti possono, comunque, presentarsi.

III.1.4.2 Obiettivi

I sottopassaggi e le passerelle aeree sono zone di circolazione che per la propria stessa conformazione presentano un rischio intrinseco legato alla sicurezza. Gli obiettivi dell'impianto di illuminazione nei sottopassi e nelle passerelle aeree coperte sono, pertanto, finalizzati sia a creare le migliori condizioni di sicurezza per chi li frequenta che per orientare il viaggiatore lungo tutto lo sviluppo del sottopasso. Ciò al fine di garantire favorevoli condizioni di comfort e sicurezza nelle zone collegamento con le scale fisse e mobili che portano alle banchine con particolare attenzione alle categorie di persone a mobilità ridotta.

III.1.4.3 Criteri progettuali

L'ubicazione dei dispositivi di illuminazione dovrà consentire, fra l'altro, il fluido e sicuro transito dei viaggiatori attraverso un "corridoio libero da ostacoli" di altezza non inferiore a 2,30 m e di larghezza minima di 2,60 m.

La scelta del tipo di apparecchio illuminante ed il relativo posizionamento sono legate alla tipologia di infrastruttura esistente ed devono essere funzionali all'organizzazione dei percorsi di transito e di collegamento del sottopasso con le banchine. Per ottimizzare l'efficienza luminosa dell'impianto, l'illuminazione dovrà essere diretta dal soffitto verso il pavimento con apparecchi a plafone o, laddove sia presente un controsoffitto ad incasso. Particolare attenzione dovrà essere prestata ai valori di uniformità a pavimento utile a creare un effetto omogeneo sul piano orizzontale consentendo un facile orientamento dei viaggiatori. Pareti chiare possono contribuire a diffondere maggiormente la luce.

III.1.4.4 Riferimenti normativi

Trattandosi di aree di circolazione esclusivamente coperte, la normativa di riferimento in questo tipo di applicazione è la UNI EN 12464-1.

La tabella 5.53 "Trasporti – Stazioni ferroviarie" contenuta nella UNI EN 12464-1:2011, riporta i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_{mv} , di uniformità U_0 , di abbagliamento UGR_L e di

resa del colore R_a distingue i sottopassi in due categorie: a bassa e ad alta densità di frequentazione non specificando, però, i criteri con cui differenziare le due casistiche. I punti da tenere in considerazione sono il 5.53.3 e 5.53.4. Per analogia è possibile estendere tali valori anche alle passerelle aeree coperte.

Rif. numero	Tipo di interno, compito o attività	E_m (lx)	U_0	UGR_L	R_a	Note
5.53.3	Sottopassi, bassa densità di persone	50	0,50	28	40	Illuminamento misurato a pavimento
5.53.4	Sottopassi, alta densità di persone	100	0,50	28	40	Illuminamento misurato a pavimento

Si consiglia, comunque, di applicare il punto 5.53.4 in qualsiasi condizione di frequentazione.

In linea generale la scelta dei componenti dell'impianto per questo tipo di applicazione deve orientarsi verso prodotti di tipo industriale standard realizzati primarie marche costruttrici. La scelta delle sorgenti luminose dovrebbe rispettare i seguenti parametri:

- potenze unitarie ridotte per consentire valori di uniformità adeguati;
- una efficienza luminosa non inferiore agli 80-100 lm/W;
- una vita media di almeno 10.000-15.000 ore;
- tempi di riaccensione nulli.

Gli apparecchi illuminanti devono, inoltre, possedere le seguenti caratteristiche costruttive:

- grado di tenuta idoneo alla penetrazione di polvere e liquidi non inferiore all'IP55;
- una adeguata resistenza alle sollecitazioni meccaniche;
- una adeguata capacità di resistenza alla manomissione da parte di personale non addetto;
- una buona e comprovata resistenza all'ossidazione e corrosione;
- dimensioni e forme costruttive adatte alla geometria dell'infrastruttura.

III.1.5 STRUTTURE PER IL SUPERAMENTO DEI DISLIVELLI: SCALE FISSE E MOBILI, RAMPE E TAPPETI MOBILI

III.1.5.1 Contesto

Le scale fisse e mobili, le rampe e i tappeti mobili, sono elementi infrastrutturali sempre presenti negli impianti ferroviari. Essi svolgono l'importante funzione di collegamento fra le diverse quote dell'impianto alle quali il viaggiatore può accedere, consentendo l'eliminazione delle barriere architettoniche costituite dai dislivelli.

Nello specifico le rampe e i tappeti mobili consentono il superamento di modesti dislivelli ed hanno uno sviluppo longitudinale dipendente proprio dal dislivello da colmare, mentre le scale fisse e mobili consentono, al viaggiatore, di superare dislivelli decisamente maggiori a fronte di uno sviluppo longitudinale generalmente maggiore e meno lineare. Entrambi questi elementi, comunque, possono essere considerati come parte integrante dei percorsi principali che conducono il viaggiatore dall'esterno dell'impianto fin verso le banchine e i marciapiedi di binario.

III.1.5.2 Obiettivi

L'obiettivo primario dell'impianto di illuminazione in prossimità delle scale fisse e mobili, delle rampe e dei tappeti mobili è quello di favorire l'individuazione, da parte del viaggiatore, di tale elemento di collegamento verticale, sia in condizioni ordinarie di afflusso di passeggeri.

Le rampe e le scale, inoltre, assumono particolare importanza in particolare nelle situazioni di emergenza in quanto esse costituiscono una discontinuità dei percorsi di esodo orizzontale che i viaggiatori utilizzano per raggiungere un luogo sicuro in condizioni di emergenza caratterizzate da alto afflusso di passeggeri, scarsa visibilità e possibilità di spostamento difficoltosa.

III.1.5.3 Criteri progettuali

Come detto le scale fisse e mobili, le rampe e i tappeti mobili, possono essere considerati come parte integrante dei percorsi principali che conducono il viaggiatore dall'esterno dell'impianto fin verso le banchine e i marciapiedi di binario. La scelta del tipo di apparecchio illuminante ed il relativo posizionamento, quindi, devono essere effettuati in funzione del contesto generale in cui tali elementi di collegamento si inseriscono. L'obiettivo essenziale è quello di favorire l'individuazione attraverso corretti livelli di illuminamento, valori di luminanza ottimali e coefficienti di uniformità di illuminazione delle aree circostanti adeguati definiti dalle normative.

Un ausilio all'individuazione delle scale fisse mobili, delle rampe e dei tappeti mobili, può venire

dall'utilizzo di piccoli apparecchi di orientamento (i cosiddetti "segnapasso") incassati sui lati delle rampe ed in prossimità dei gradini delle scale (fig. III.1.5.3.1) i quali creano una sorta di guida ottica e aumentano il contrasto di luminanza²³ fra l'ambiente e la discontinuità presente.



fig. III.1.5.3.1 – Immagine di un corpo scala di collegamento fra l'atrio della stazione di Torino Porta Susa e la Metropolitana Automatica di Torino. I segnapasso sono realizzati utilizzando apparecchi illuminanti a LED rettangolari di medie dimensioni posti in prossimità dei gradini ad una distanza di circa 1,5 metri l'uno dall'altro. Apparecchi da incasso di dimensioni più piccole possono essere installati ad una interdistanza minore (generalmente un apparecchio ogni tre gradini). La presenza dei segnapasso favorisce l'individuazione dei gradini grazie all'aumento del contrasto di luminanza fra i gradini stessi della scala (fonte Internet)

²³ Il contrasto di luminanza, o meglio la distribuzione delle luminanze nel campo visivo, è un fattore estremamente importante nella definizione della qualità di un impianto illuminotecnico. Se i contrasti sono troppo bassi l'ambiente apparirà piatto, insignificante e senza punti di riferimento. Viceversa livelli di contrasto troppo elevati risultano fastidiosi, distraggono e causano problemi di adattamento per il continuo sforzo muscolare nel passaggio da un compito visivo ad un altro. Livelli adeguati di contrasto di luminanza, invece, garantiscono una scena visiva armoniosa, confortevole e piacevole aumentando la percezione delle forme e degli spazi e favorendo la nitidezza degli oggetti

III.1.5.4 Riferimenti normativi

Trattandosi di aree di circolazione non necessariamente coperte, le normative di riferimento per questo tipo di applicazione sono le UNI EN 12464-1:2011 e la EN 12464-2:2014.

La tabella 5.1 “Zone di circolazione all’interno degli edifici” contenuta nella UNI EN 12464-1:2011, riporta i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_m , di uniformità U_0 , di abbagliamento $UGRL$ e di resa del colore R_a :

Rif. numero	Tipo di interno, compito o attività	E_m (lx)	U_0	UGR_L	R_a	Note
5.1.1	Scale, tappeti mobili	100	0,40	25	40	E' richiesto un maggiore contrasto sui gradini

La tabella 5.12 “Ferrovie e tramvie” contenuta nella EN 12464-2:2014, riporta i seguenti valori di illuminamento medio a terra E_m , di uniformità U_0 , di abbagliamento R_{GL} e di resa del colore R_a :

Rif. numero	Tipo di zona, compito o attività	E_m (lx)	U_0	R_{GL}	R_a	Note
5.12.15	Scale in stazioni con ridotto numero di passeggeri	50	0,40	45	40	
5.12.20	Scale in stazioni con grande numero di passeggeri	100	0,50	45	40	

Si consiglia, comunque, di far convergere i valori dell’impianto di illuminazione relativo alle scale fisse e mobili, alle rampe e ai tappeti mobili, al punto 5.12.20, in qualsiasi condizione di frequentazione, tanto nelle installazioni all’interno che in quelle all’esterno.

Generalmente la scelta dei componenti dell’impianto per questo tipo di applicazione deve orientarsi verso prodotti standard industrializzati da primarie marche costruttrici. La scelta delle sorgenti luminose dovrebbe rispettare i seguenti parametri:

- potenze unitarie ridotte per consentire valori di uniformità adeguati;

LINEA GUIDA

Codifica: RFI DPR DAMCG LG SVI 008 A

FOGLIO
80 di 91

- tempi di riaccensione nulli.

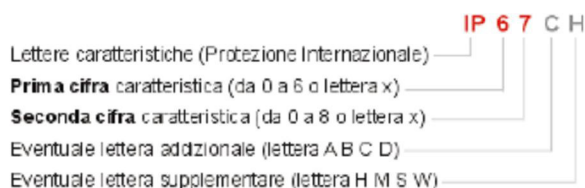
Gli apparecchi illuminanti devono, inoltre, possedere le seguenti caratteristiche costruttive:

- grado di tenuta idoneo alla penetrazione di polvere e liquidi nel punto di installazione;
- dimensioni e forme costruttive adatte alla geometria dell'infrastruttura.

ALLEGATI

A.1 GLI INDICI DI PROTEZIONE IP SECONDO LA NORMA UNI EN 60529

Il grado IP è indicato con due cifre caratteristiche più eventuali due lettere aggiuntive.



La prima cifra indica il grado di protezione contro la penetrazione di corpi solidi estranei.

IP	Significato
0	nessuna protezione
1	protetto contro corpi solidi superiori a 50 mm di diametro
2	protetto contro corpi solidi superiori a 12 mm di diametro
3	protetto contro corpi solidi superiori a 2,5 mm di diametro
4	protetto contro corpi solidi superiori a 1 mm di diametro
5	protetto contro le polveri (nessun deposito nocivo)
6	totalmente protetto contro le polveri

La seconda cifra indica il grado di protezione contro la penetrazione di liquidi.

IP	Significato
0	nessuna protezione
1	protetto contro le cadute verticali di gocce d'acqua
2	protetto contro le cadute di gocce d'acqua o pioggia fino a 15° dalla verticale
3	protetto contro le cadute di gocce d'acqua o pioggia fino a 60° dalla verticale
4	protetto contro gli spruzzi d'acqua da tutte le direzioni
5	protetto contro i getti d'acqua
6	protetto contro i getti d'acqua potenti
7	protetto contro gli effetti delle immersioni temporanee
8	protetto contro gli effetti delle immersioni continue

La lettera aggiuntiva indica il grado di protezione contro l'accesso a parti pericolose.

IP	Significato
A	protetto contro l'accesso con la mano
B	protetto contro l'accesso il dito
C	protetto contro l'accesso con attrezzo
D	protetto contro l'accesso con filo

La lettera supplementare fornisce informazioni relative alla protezione del materiale.

IP	Significato
H	adatto per apparecchiatura ad alta tensione
M	provato contro gli effetti dannosi dovuti all'ingresso d'acqua quando le parti mobili dell'apparecchiatura sono in moto
S	provato contro gli effetti dannosi dovuti all'ingresso d'acqua quando le parti mobili dell'apparecchiatura non sono in moto
W	adatto all'uso in condizioni atmosferiche specificate e dotato di misure o procedimenti aggiuntivi

fig. A.1.1 – Tabella di riferimento per la determinazione degli indici di protezione degli apparecchi illuminanti (fonte Internet)

Di seguito una tabella che riporta gli indici di protezione più utilizzati e la corrispondente interpretazione pratica.

1a cifra: Grado di protezione contro l'ingresso di oggetti solidi		2a cifra: Grado di protezione contro l'ingresso di liquidi								
		Non protetto	Protetto contro acqua gocciolante	Protetto contro acqua gocciolante con un angolo entro ±15°	Protetto contro acqua spruzzata con un angolo entro ±60°	Protetto contro spruzzi d'acqua da qualsiasi direzione	Protetto contro getti d'acqua pompati da qualsiasi direzione	Protetto contro forti getti d'acqua da qualsiasi direzione e acqua di mare	Protetto contro brevi immersioni (fino a 1 mt di profondità)	Protetto contro la prolungata immersione in acqua (oltre 1 mt di profondità)
		IPx0	IPx1	IPx2	IPx3	IPx4	IPx5	IPx6	IPx7	IPx8
Non protetto	IP0x	IP00	IP01	IP02						
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 50 mm Ø (es. una mano)	IP1x	IP10	IP11	IP12	IP13					
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 12 mm Ø (es. un dito)	IP2x	IP20	IP21	IP22	IP23					
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 2,5 mm Ø (es. fili, attrezzi)	IP3x	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 1 mm Ø (es. fili, attrezzi)	IP4x	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	IP45	IP46		
Protezione contro la polvere tale da non interferire con il funzionamento del dispositivo. Depressione atmosferica 200mm colonna d'acqua. Flusso d'aria pari a 80 volte il volume della custodia	IP5x					IP54	IP55	IP56		
Completamente ermetico a polveri e fumi	IP6x					IP64	IP65	IP66	IP67	IP68

fig. A.1.2 – Tabella contenente gli indici di protezione più utilizzati e la corrispondente interpretazione ai fini pratici (fonte Internet)

A.2 MANUTENZIONE DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE SECONDO LA NORMA UNI EN 12464-1:2011

La manutenzione degli impianti di illuminazione è essenziale per mantenere inalterate nel tempo le prestazioni entro i limiti progettuali e per promuovere un uso efficiente dell'energia elettrica.

Il livello di illuminazione, infatti, decresce gradualmente nel corso della vita dell'impianto; il parametro che descrive questo fenomeno è il fattore di manutenzione (acronimo italiano FM) definito come il rapporto tra l'illuminamento medio sul piano di lavoro dopo un certo periodo di funzionamento dell'impianto (la prima manutenzione) e il valore medio dell'illuminamento calcolato alle stesse condizioni ad impianto nuovo, ovvero:

$$FM = \frac{E_m}{E_{in}}$$

con E_m pari all'illuminamento medio mantenuto misurato alla scadenza del primo periodo di manutenzione e E_{in} pari all'illuminamento medio mantenuto misurato in concomitanza con la prima accensione dell'impianto. E' evidente che il fattore di manutenzione FM assumerà sempre valori non superiori all'unità e avrà andamento decrescente durante ogni intervallo di manutenzione (fig. A.2.1).

Il progettista, secondo quanto prescritto dalla UNI EN 12464-1:2011, dovrà indicare nel progetto il valore del fattore di manutenzione calcolato ed elencare tutte le ipotesi che lo determinano; il progettista, inoltre, dovrà farsi carico di redigere un programma di manutenzione in cui devono essere indicati:

- la frequenza di sostituzione delle lampade;
- gli intervalli di pulizia degli apparecchi illuminanti e degli ambienti in cui essi sono installati;
- il metodo di pulizia più adeguato.

In sostanza il fattore di manutenzione FM serve a valutare il degrado complessivo della prestazione dell'impianto e dipende da come viene gestito l'impianto durante il proprio ciclo di vita. Per il calcolo del fattore di manutenzione FM si può far riferimento alla pubblicazione CIE 97/2005 "Guida alla manutenzione dei sistemi di illuminazione degli interni". Simili considerazioni possono essere fatte anche per gli impianti in luoghi di lavoro all'esterno.

La guida mostra come il fattore di manutenzione è pari al prodotto di quattro fattori.

$$FM = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$$

in cui

- il termine LLMF è il fattore di manutenzione del flusso luminoso che indica la riduzione del flusso specifico per il tipo di lampada utilizzata;
- il termine LSF è il fattore di durata delle lampade che indica la percentuale di lampade ancora funzionanti dopo un certo intervallo di manutenzione;
- il termine LMF è il fattore di manutenzione dell'apparecchio illuminante che indica il calo di efficienza dell'apparecchio dovuto alla sporcizia che si accumula sullo stesso fra due intervalli di manutenzione successivi;
- il fattore RSMF è il fattore di manutenzione del locale nel quale è installato l'apparecchio illuminante e indica il calo degli indici di riflessione delle superfici perimetrali dovuto alla sporcizia che si accumula sulle pareti stesse fra due intervalli successivi di pulitura del locale.

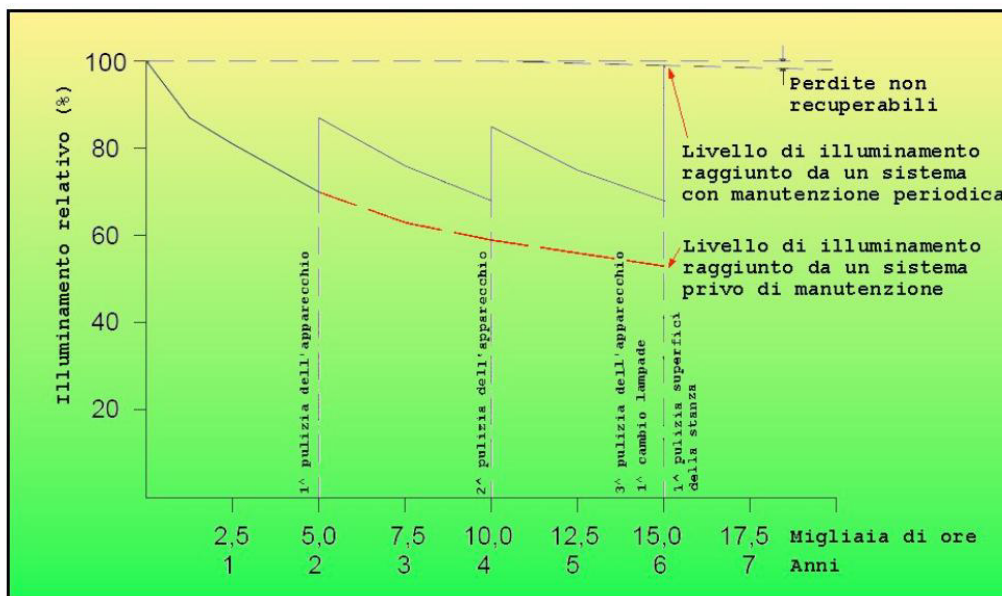


fig. A.2.1 – Grafico che rappresenta la variazione del livello di illuminamento durante il ciclo di vita dell'impianto di illuminazione. In assenza di manutenzione, l'illuminamento, dopo un periodo di 6 anni, decresce del 50% rispetto ai valori iniziali. Una manutenzione programmata per le lampade, gli apparecchi ed il locale di installazione riporta i valori di illuminamento misurati sul piano di lavoro prossimi a quelli iniziali (fonte Voltimum)

Le tabelle seguenti, contenute nella pubblicazione CIE 97/2005, sono utili a determinare i fattori precedentemente descritti.

Durata di esercizio in 1000 ore		0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	20	30
Tipo lampade	Fattore												
Incandescenza	LLMF	1,00	0,97	0,93									
	LSF	1,00	0,98	0,50									
Alogene	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,95								
	LSF	1,00	1,00	0,78	0,50								
Fluorescenti trifosforo	LLMF	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,94	0,50	
Fluorescenti alofosfati	LLMF	1,00	0,98	0,96	0,95	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75		
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,92	0,50		
Fluorescenti compatte	LLMF	1,00	0,98	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85				
	LSF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,86	0,50				
Vapori di mercurio alta pressione	LLMF	1,00	0,99	0,97	0,93	0,85	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	
	LSF	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	0,86	0,79	0,69	0,50	
Ioduri metallici	LLMF	1,00	0,98	0,95	0,90	0,87	0,83	0,79	0,65	0,63	0,58	0,50	
	LSF	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,92	0,86	0,80	0,73	0,66	0,50	
Vapori di sodio alta pressione	LLMF	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94	0,90
	LSF	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,92	0,50

tab. A.2.2 – Tabella di calcolo del fattore di manutenzione del flusso luminoso (LLMF) e del fattore di durata delle lampade (LSF) per diversi tipi di sorgenti luminose in funzione della durata di esercizio attesa in ore. Se è prevista la sostituzione singola delle lampade, il fattore di durata LSF sarà sempre pari a 1. Per i LED è necessario far riferimento ai dati forniti dai costruttori. Si ricorda che per convenzione un anno solare è equivalente a 8.760 ore (fonte Voltimum)

Intervallo di pulizia degli apparecchi (anni)	0	0,5				1,0				1,5				2,0				2,5				3,0			
	Qual-siasi	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S
Tipo apparecchi																									
A	1	0,98	0,95	0,92	0,88	0,96	0,93	0,89	0,83	0,95	0,91	0,87	0,80	0,94	0,89	0,84	0,78	0,93	0,87	0,82	0,75	0,92	0,85	0,79	0,73
B	1	0,96	0,95	0,91	0,88	0,95	0,90	0,86	0,83	0,94	0,87	0,83	0,79	0,92	0,84	0,80	0,75	0,91	0,82	0,76	0,71	0,89	0,79	0,74	0,68
C	1	0,95	0,93	0,89	0,85	0,94	0,89	0,81	0,75	0,93	0,84	0,74	0,66	0,91	0,80	0,69	0,59	0,89	0,77	0,64	0,54	0,87	0,74	0,61	0,52
D	1	0,94	0,92	0,87	0,83	0,94	0,88	0,82	0,77	0,93	0,85	0,79	0,73	0,91	0,83	0,77	0,71	0,90	0,81	0,75	0,68	0,89	0,79	0,73	0,65
E	1	0,94	0,96	0,93	0,91	0,96	0,94	0,90	0,86	0,92	0,92	0,88	0,83	0,93	0,91	0,86	0,81	0,92	0,90	0,85	0,80	0,92	0,90	0,84	0,79
F	1	0,94	0,92	0,89	0,85	0,93	0,86	0,81	0,74	0,91	0,81	0,73	0,65	0,88	0,77	0,66	0,57	0,86	0,73	0,60	0,51	0,85	0,70	0,55	0,45
G	1	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,96	0,93	0,99	0,97	0,94	0,89	0,99	0,96	0,92	0,87	0,98	0,95	0,91	0,86	0,98	0,95	0,90	0,85

tab. A.2.3 – Tabella di calcolo del fattore di manutenzione dell'apparecchio (LMF) in funzione del tipo di apparecchio (vedi tabella precedente), delle condizioni dell'ambiente in cui gli apparecchi sono installati e dell'intervallo atteso di pulizia degli apparecchi. La descrizione delle condizioni dell'ambiente è riportata nella tabella seguente (fonte Voltimum)

Condizioni dell'ambiente (grado di sporcizia derivante dall'uso che viene fatto di un locale)	Intervallo massimo di manutenzione	Settori lavorativi
Molto pulito (MP)	3 anni	Ambienti asettici, centri di calcolo, reparti di assemblaggio di componenti elettronici, cliniche ospedaliere (qui per motivi igienici possono essere richiesti intervalli di manutenzione più brevi)
Pulito (P)		Uffici, scuole, reparti ospedalieri
Normale (N)	2 anni	Negozi, laboratori, ristoranti, magazzini, capannoni di montaggio
Sporco (S)	1 anno	Acciaierie, impianti chimici, fonderie, impianti metallurgici, lavorazione del legno

tab. A.2.4 – Tabella di riferimento necessaria a determinare le condizioni dell'ambiente. Tendenzialmente gli ambienti ferroviari possono essere classificati come normali (N) (fonte Voltimum)

Intervallo di pulizia del locale (anni)		0	0,5				1,0				1,5				2,0				2,5				3,0			
Condizioni dell'ambiente		Qual-siasi	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S	MP	P	N	S
Fattori di riflessione di soffitto/pareti/pavimento	Tipo di illuminazione																									
0,8/0,7/0,2	Diretta	1,00	0,97	0,93	0,88	0,81	0,96	0,92	0,86	0,80	0,95	0,91	0,86	0,80	0,95	0,91	0,85	0,80	0,95	0,91	0,85	0,80	0,95	0,91	0,85	0,80
	Diretta/Indiretta	1,00	0,95	0,90	0,81	0,70	0,94	0,88	0,78	0,67	0,93	0,87	0,77	0,67	0,93	0,87	0,77	0,67	0,93	0,87	0,77	0,67	0,93	0,87	0,77	0,67
	Indiretta	1,00	0,93	0,86	0,72	0,54	0,91	0,82	0,67	0,50	0,90	0,81	0,66	0,49	0,90	0,81	0,66	0,49	0,90	0,81	0,66	0,49	0,90	0,81	0,66	0,49
0,7/0,5/0,2	Diretta	1,00	0,98	0,96	0,92	0,87	0,97	0,95	0,91	0,86	0,97	0,94	0,90	0,86	0,97	0,94	0,90	0,86	0,97	0,94	0,90	0,86	0,97	0,94	0,90	0,86
	Diretta/Indiretta	1,00	0,97	0,93	0,87	0,77	0,96	0,91	0,84	0,75	0,95	0,91	0,84	0,75	0,95	0,91	0,83	0,75	0,95	0,91	0,83	0,75	0,95	0,91	0,83	0,75
	Indiretta	1,00	0,95	0,89	0,77	0,60	0,93	0,86	0,73	0,56	0,92	0,85	0,72	0,55	0,92	0,85	0,72	0,55	0,92	0,84	0,72	0,55	0,92	0,84	0,72	0,55
0,5/0,3/0,2	Diretta	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,99	0,97	0,95	0,92	0,98	0,97	0,95	0,92	0,98	0,97	0,95	0,92	0,98	0,97	0,95	0,92	0,98	0,97	0,95	0,92
	Diretta/Indiretta	1,00	0,98	0,96	0,92	0,85	0,97	0,95	0,90	0,84	0,97	0,94	0,90	0,84	0,97	0,94	0,90	0,84	0,97	0,94	0,90	0,84	0,97	0,94	0,90	0,84
	Indiretta	1,00	0,96	0,91	0,81	0,66	0,95	0,89	0,78	0,62	0,94	0,88	0,77	0,61	0,94	0,88	0,77	0,61	0,94	0,88	0,77	0,61	0,94	0,88	0,77	0,61

tab. A.2.5 – Tabella di calcolo del fattore di manutenzione del locale (RSMF) in funzione delle condizioni dell'ambiente e dei fattori di riflessione del locale in cui gli apparecchi sono installati, dell'intervallo atteso di pulizia del locale e del tipo di illuminazione prevista (fonte Voltimum)

Intervallo di pulizia degli apparecchi	3 anni			2 anni			1 anno		
Condizioni dell'ambiente	MP P	N	S	MP P	N	S	MP P	N	S
Tipo apparecchi									
A - Supporti a fascio libero	X				X				X
B - Riflettori aperti verso l'alto (a ventilazione naturale)	X				X				X
C - Riflettori chiusi verso l'alto (non ventilati)	X			(X)				X	
D - Apparecchi IP2X chiusi	X			(X)				X	
E - Apparecchi IP5X antipolvere	X	X				X			
F - Apparecchi a luce indiretta				X			(X)	X	
G - Apparecchi a ventilazione forzata	X	X				X			

tab. A.2.6 – Tabella di calcolo dell'intervallo di pulizia degli apparecchi in funzione delle condizioni dell'ambiente in cui gli apparecchi sono installati e del tipo di apparecchio illuminante. Questa tabella vale per fattori di manutenzione $\geq 0,8$ e va utilizzata con le tabelle A.2.3 e A.2.5. La (X) indica che l'apparecchio individuato nelle righe della tabella è sconsigliato in quel determinato ambiente di installazione riportato nelle colonne (fonte Voltimum)

Attività lavorativa	Durata di accensione		Comando sulla base della luce diurna (le lampade si accendono automaticamente quando la luce diurna è insufficiente) *	Durata di esercizio per lampada (ore di accensione)
	Giorni di accensione all'anno	Ore al giorno		
Industria				
Turni 24 ore su 24. Comando/controllo del sistema	365	24	No	8760
	365	24	Si	7300
Doppi turni, 6 giorni alla settimana	310	16	No	4960
	310	16	Si	3720
Turno unico, 6 giorni alla settimana	310	10	No	3100
	310	10	Si	1760
Turno unico, 5 giorni alla settimana	258	10	No	2580
	258	10	Si	1550
Vendita al dettaglio				
6 giorni alla settimana	310	10	No	3100
Uffici				
5 giorni alla settimana	258	10	No	2580
	258	10	Si	1550

tab. A.2.7 - Tabella di riferimento necessaria a determinare la durata di esercizio delle sorgenti luminose (da utilizzare con la tabella tab.A.2.2) in funzione del tipo di attività lavorativa prevista (fonte Voltimum)

Di seguito (fig. A.2.8) si riporta un diagramma di flusso che riporta passo passo le azioni necessarie a determinare il fattore di manutenzione FM di un impianto.

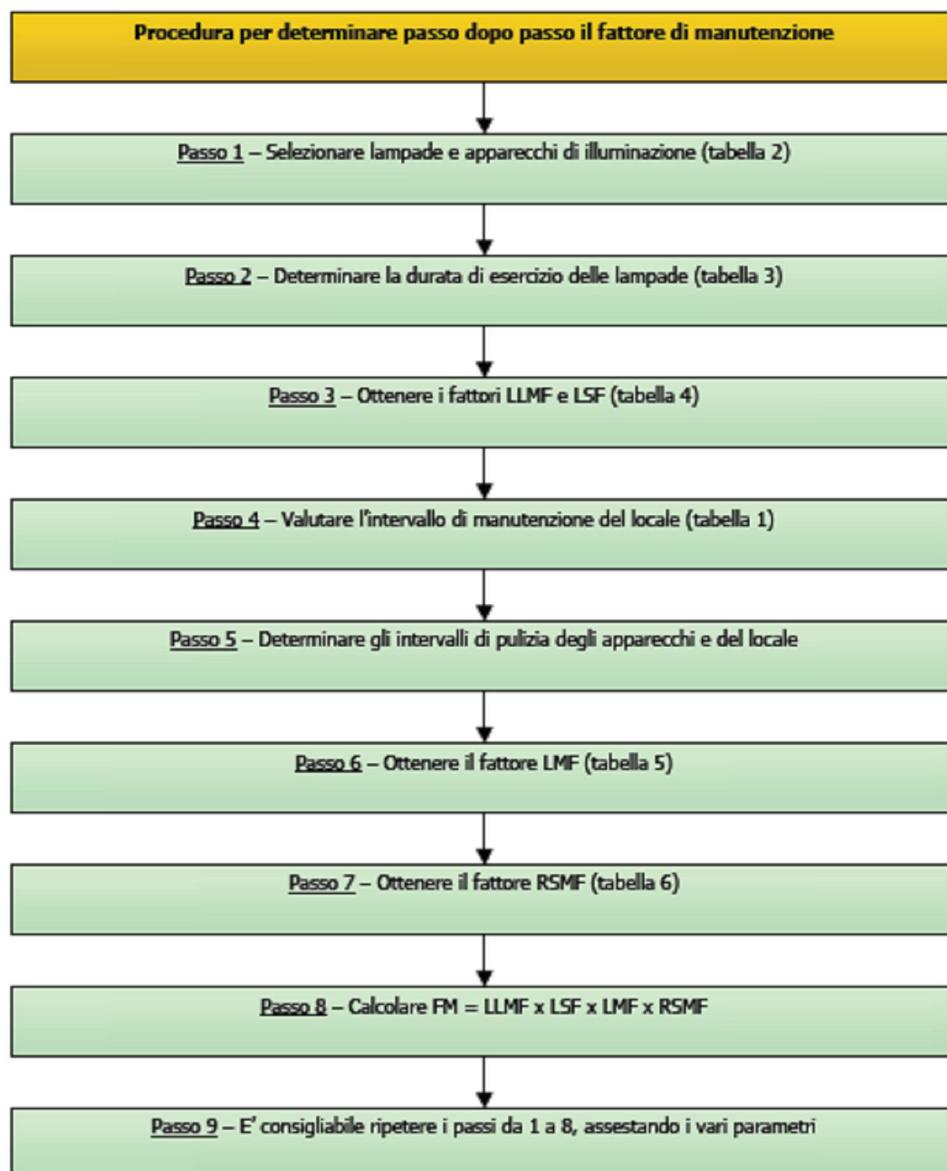


fig. A.2.8 - Diagramma di flusso per il calcolo del fattore di manutenzione. Il riferimento delle tabelle è ad un altro documento (fonte Voltimum)

Esempio applicativo:

1. Luogo di installazione dell'impianto: fermata ferroviaria urbana
2. Tipologia del locale: sottopasso viaggiatori
3. Fattori di riflessione del locale: 0,5 soffitto/0,3 pareti/0,2 pavimento
4. Sistema di illuminazione: lampade fluorescenti trifosforo ad illuminazione diretta e apparecchi stagni IP56
5. Ore di accensione: h24 per 365 giorni all'anno (pari a 8.760 ore di funzionamento annue)
6. Calendario di manutenzione: Pulizia e cambio lampade ogni 2 anni
7. Calendario di pulizia: Pulizia del locale ogni 5 anni

Passo 1 - selezione delle sorgenti: fluorescenti compatte

Passo 2 – determinazione della durata di esercizio: le lampade restano accese 8.760 ore/anno e sono sostituite ogni 2 anni. La durata di esercizio è, utilizzando la tab. A.2.7, pari a 17.520 ore

Passo 3 – calcolo del LLMF e LSF tramite la tab. A.2.2: incrociando il dato di durata precedentemente calcolato e il tipo di lampada si determina i fattori LLMF = 0,90 e LSF = 0,94

Passo 4 – valutazione dell'intervallo di manutenzione del locale: come detto il locale può essere classificato come normale (N) con intervallo massimo di manutenzione e pulizia pari a 5 anni

Passo 5 – valutazione degli intervalli di pulizia degli apparecchi e del locale: gli apparecchi saranno puliti in coincidenza con gli intervalli di sostituzione lampade (2 anni) benché sia consigliato (vedi tab. A.2.6) un intervallo massimo pari a 3 anni. La pulizia del locale sarà realizzata ad intervalli di 2 anni (vedi tab. A.2.4)

Passo 6 – calcolo del fattore LMF: tramite la tabella A.2.3 si determina il fattore LMF = 0,86 incrociando il tipo di apparecchio (stagno quindi tipo E), l'intervallo di pulizia degli apparecchi (2 anni) e l'ambiente di installazione (tipo normale N)

Passo 7 – calcolo del fattore RSMF: tramite la tabella A.2.5 si determina il valore di RSMF = 0,95 ricordando che i coefficienti di riflessione sono 0,5/0,3/0,2 e che l'illuminazione è di tipo diretto

Passo 8 – calcolo del fattore di manutenzione: $MF = 0,90 * 0,94 * 0,86 * 0,95 = 0,68$

A.3 BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI A TESTI, ARTICOLI E RIVISTE DI SETTORE

- Pietro Palladino, "Manuale di illuminazione", Tecniche Nuove, Milano, 5/2005
- Gianni Forcolini, "Illuminazione di interni", Hoepli, Milano, 1992
- Gianni Forcolini, "Illuminazione di esterni", Hoepli, Milano, 2002
- Silvio De Ponte, "Architetture di luce", Gangemi Editore, Roma, 6/1996
- ASSIL Technical statement n.7, "criteri di valutazione del rischio fotobiologico delle lampade per illuminazione generale usate negli ambienti di lavoro: aggiornamento normativi in corso", 2013
- ASSIL Associazione Nazionale Produttori Illuminazione, "Guida al regolamento CE 245/2009, modificato dal regolamento CE 347/2010, sui prodotti per l'illuminazione del settore terziario, 10/2010
- ASSIL Associazione Nazionale Produttori Illuminazione, "Utilizzo dei moduli LED per illuminazione generale", Cromografica Europea, Rho, 5/2003
- Lighting Europe - The voice of the lighting industry, "Guide on photobiological safety in general lighting products for use in working places", 2/2013
- Arcesilai - Lucedesign, "La luce e le grandi stazioni ferroviarie", 4/2008
- ETAP – Excellent lighting, saving energy, "Dossier EN 12464-1. Concise description of the standard", 6/2012
- ILP – Institution of lighting professionals, "Guidance notes for the reduction of obtrusive light", 1/2011
- Gianfranco Ceresini, "L'illuminazione nei luoghi di lavoro in interni. UNI EN 12464-1:2011", Voltimum, 2/2012
- Gianfranco Ceresini, "L'illuminazione nei luoghi di lavoro in esterno. UNI EN 12464-2", Voltimum, 9/2008
- Ceresini-Saveri, "Guida all'illuminazione degli ambienti interni (parte prima)", Voltimum, 10/2007
- Euro Settimelli - Asatecno s.a.s, "Appunti sulle radiazioni ottiche artificiali (R.O.A.)", 3/2010
- Pinto-Bogi-Stacchini – Laboratorio agenti fisici ASL7 Siena, "Criteri di valutazione del rischio fotobiologico delle lampade per illuminazione generale"

LINEA GUIDA

Codifica: **RFI DPR DAMCG LG SVI 008 A**

FOGLIO
91 di 91

- Bisegna-Gugliermetti-Barbalace-Monti, "Metodologie di progettazione e valutazione di sistemi di illuminazione pubblica", ENEA-MISE-Univ. La Sapienza Roma, 2010
- Vito Carrescia, Tuttonormel, "Guida all'applicazione delle norme nel settore elettrico", TNE, Torino, 10/2004, 10/2010, 3/2011, 5/2014
- ERCO, "Guida", 01/2013
- GE Lighting, "Guida alla lampada fluorescente lineare", 1/2010
- Philips Lighting, "Lampade e accessori. Edizione 2013"
- Philips Lighting, "Grandezze fotometriche"
- Zumtobel Lighting GmbH, "Manuale illuminotecnico pratico", 10/2013
- Zumtobel – Bettiol, "La luce. UNI 12464-1:2011", 9/2012
- Zumtobel Lighting GmbH, "Manuale Led. Guida al progetto ed installazione di impianti LED, accorgimenti e consigli utili", 10/2008