



# Fondamenti di Illuminotecnica



# GLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE IN LUOGHI CON PERICOLO DI ESPLOSIONE FONDAMENTI DI ILLUMINOTECNICA

	<b>Pag.</b>
1. LA LUCE .....	IV
2. GRANDEZZE FOTOMETRICHE FONDAMENTALI .....	IV
3. QUALITÀ DELLA LUCE ARTIFICIALE .....	VII
4. SORGENTI LUMINOSE .....	VIII
5. APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE .....	XIV
6. PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE .....	XVIII

## INTRODUZIONE

Negli impianti elettrici in luoghi con pericolo di esplosione, ove normalmente sono presenti sostanze che generano un'atmosfera esplosiva, le caratteristiche di sicurezza delle apparecchiature installate sono sempre state considerate, dai tecnici e dai progettisti, più importanti delle caratteristiche funzionali. In particolare questo si è evidenziato nelle armature illuminanti che, per decenni, sono state progettate e costruite considerando tutti gli aspetti di sicurezza, ma tralasciando le caratteristiche illuminotecniche e funzionali. La frase più tipica per definire la specifica illuminotecnica di una lampada, da parte di un progettista era "...purché faccia luce".

Oggi, con l'applicazione di nuove tecnologie, l'utilizzo di materiali meglio lavorabili, leggeri, ma altrettanto sicuri di quelli che venivano utilizzati in passato, si sono potute realizzare armature illuminanti che nulla hanno da invidiare a quelle di tipo industriale, che normalmente vengono installate nelle zone non pericolose delle aziende.

Negli ultimi anni, inoltre, l'aspetto ergonomico delle postazioni di lavoro ha avuto un grande impulso e, anche negli impianti industriali, la sensibilità verso una illuminazione migliore, che garantisca la possibilità da parte del personale di operare nelle migliori condizioni, è notevolmente aumentata.

La trattazione che segue, cerca di fornire ai tecnici una sorta di linea guida per la lettura delle caratteristiche delle armature illuminanti e per indirizzare la scelta verso quei prodotti che maggiormente soddisfino i requisiti illuminotecnici per una particolare applicazione.

Lungi dal voler essere esaustiva, la trattazione è solamente un'introduzione all'interessante, ma complesso, mondo dell'illuminotecnica, un assaggio per invitare i professionisti ad approfondire gli argomenti qui trattati attraverso i testi riportati in bibliografia.

## 1. LA LUCE

La luce è una forma di energia, costituita da onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio alla velocità di 300.000 Km/s.

A parte le frequenze, che sono diverse, è molto simile alle onde radio.

Una radiazione elettromagnetica è costituita da un campo magnetico variabile con legge sinusoidale, al quale si concatena un campo elettrico variabile con una direzione perpendicolare e uno sfasamento di 90° (ossia nel momento in cui il campo magnetico raggiunge il valore minimo, quello elettrico è sul valore massimo e viceversa).

Questo sfasamento nel tempo e nello spazio sostiene il fenomeno chiamato "autoinduzione". Il campo magnetico estinguendosi produce quello elettrico e viceversa, trasmettendo a distanza l'energia prodotta dalla sorgente.

Le grandezze caratteristiche sono il valore massimo, o efficace della intensità dei due campi ( $\Sigma - \beta$ ) che sono correlati con l'intensità del fenomeno magnetico, e la lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) che è determinante per il colore della luce.

Ragionando in termini di tempo, la lunghezza d'onda  $\lambda$  trova equivalenza nel periodo (T) che rappresenta il tempo che passa tra l'assunzione di due valori massimi successivi dello stesso segno. La correlazione tra periodo T e lunghezza d'onda  $\lambda$  è del tutto ovvia essendo costante e conosciuta la velocità di propagazione c delle onde elettromagnetiche nello spazio: lo spazio  $\lambda$  è dato dalla velocità c per il tempo T.

Invece nel periodo T si utilizza la frequenza f, che si misura in Herz (Hz), che è l'inverso del periodo, cioè (1/T) che è una grandezza usata normalmente dagli elettrotecnici, con la differenza che, nel caso della luce, dobbiamo parlare di frequenze con migliaia di milioni di hertz.

## 2. GRANDEZZE FOTOMETRICHE FONDAMENTALI

Per misurare la luce si utilizzano alcune grandezze fondamentali che andremo qui di seguito a spiegare, che sono:

- Flusso luminoso
- Intensità luminosa
- Illuminamento
- Luminanza

### • Flusso luminoso

Il flusso luminoso rappresenta la misura della potenza luminosa, che è necessaria ai fini della visione.

Anche se la misura della potenza normalmente si esprime in Watt (W), nel caso della luce si usa il lumen (lm), che corrisponde a 1/680 Watt per la luce gialla corrispondente ad una radiazione avente lunghezza d'onda di 577 nm.

Il problema della conversione dei lumen in watt è molto complessa, in quanto l'occhio umano percepisce le radiazioni di lunghezza d'onda diversa da 577 nm con minore sensibilità.

All'aumentare e al diminuire della lunghezza d'onda, la sensibilità diminuisce fino ad annullarsi.

Il fattore di visibilità misura il rapporto tra la sensazione visiva, percepita per una determinata lunghezza d'onda e quella massima percepita per la luce gialla, pertanto tale fattore si annulla al di sotto di lunghezze d'onda di 380 nm (ultravioletto) e al di sopra di 760 nm (infrarosso), che sono le lunghezze d'onda della luce non più visibile all'occhio umano.

Potremmo quindi definire il flusso luminoso come la potenza delle radiazioni luminose emesse da una sorgente luminosa, moltiplicata per il fattore di visibilità e per il fattore di conversione tra watt e lumen (680).

Ad esempio, una sorgente luminosa che genera 10 W di radiazioni elettromagnetiche di lunghezza d'onda pari a 577 nm (luce gialla pura) emette un flusso luminoso di 6800 lm; se genera invece 10 W di radiazione verde, il cui fattore di visibilità è circa 0,65 emette un flusso di  $6800 \times 0,65 = 4420$  lm.

Se la lunghezza d'onda è maggiore di 760 nm (infrarosso) o minore di 380 nm (ultravioletto) qualsiasi sia la potenza elettrica, il flusso luminoso sarà sempre nullo. Da quanto detto, si comprende che, anche se esistono relazioni matematiche tra lumen e watt, non bisogna confondere la potenza assorbita dalle lampade elettriche con il flusso emesso, infatti soltanto una piccola parte della potenza assorbita si trasforma in radiazioni luminose visibili, inoltre è necessario precisare che la potenza trasmessa subisce attenuazioni quando incontra o attraversa mezzi dissipativi. Il flusso luminoso emesso da un apparecchio di illuminazione, quindi, è minore di quello emesso dalle lampade contenute per le perdite causate dall'assorbimento del riflettore, dal diffusore o da altri componenti dell'apparecchio.

La perdita di flusso luminoso a causa di ostacoli fisici posti dai componenti dell'apparecchio di illuminazione viene detto rendimento dell'apparecchio. In illuminotecnica non si tiene invece conto del flusso perso nell'attraversamento dell'aria perché, per tragitti dell'ordine dei metri, è trascurabile.

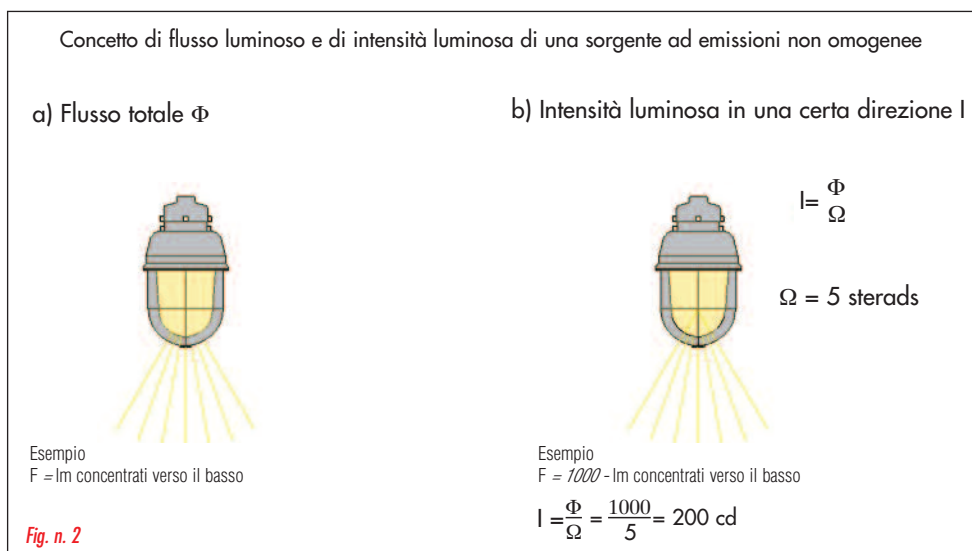
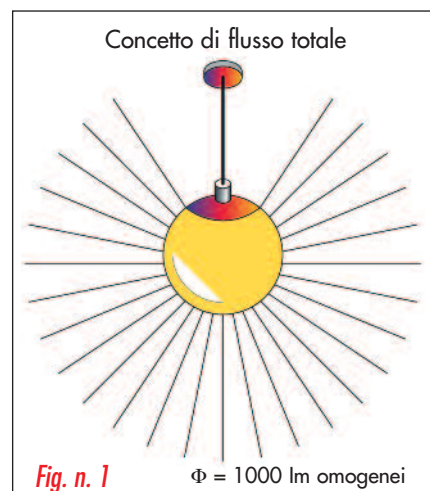
Per concludere, per semplicità, si usa definire il flusso luminoso la quantità di luce emessa da una lampada.

### • Intensità luminosa

L'intensità luminosa indica la potenza luminosa dei raggi emessi in una determinata direzione dalla sorgente.

Immaginando una sorgente sferiforme, per esempio un globo opalino (vedi fig.1), che diffonde uniformemente la luce nell'intero angolo solido di 12,56 sterad (angolo tridimensionale misurato in steradiani). Se il flusso luminoso totale è, per esempio di 1000 lumen, in ogni direzione si avrà un'intensità luminosa di  $1500:12,56$  candele (simbolo cd) cioè circa 119,42 cd.

L'intensità luminosa (simbolo I) può essere definita come il rapporto infinitesimale tra il flusso luminoso e l'angolo nel quale viene emesso. Si tratta di una grandezza che misura con metodo matematico l'intensità di un raggio di luce pertinente a una determinata direzione e potrebbe rappresentarsi con un vettore (freccia) tanto più lungo quanto maggiore è la sua intensità. L'intensità luminosa viene misurata in candele (cioè in lm/sterad). Molto spesso questa grandezza è attribuita ad una lampada immaginando che questa sia una sorgente di luce emessa uniformemente: in questa ipotesi una candela equivale a 12,56 lumen.



Il concetto di intensità luminosa è la base di tutto il calcolo illuminotecnico fondato su elementi fisicamente definiti, detto calcolo punto per punto. È importante, perciò, approfondire tale concetto estendendolo a sorgenti direzionali. Per chiarire con un esempio, si supponga di montare una lampada da 1500 lm in un diffusore a coppa profonda che sia in grado di indirizzare tutto il flusso, in modo uniforme, verso il basso con un angolo solido di 5 sterad (vedi fig.2).

Trascurando le attenuazioni di riflessione e la perdita del diffusore, il flusso di 1500 lm viene diviso non più per 12,56 ma solo per 5 sterad dando luogo a raggi con intensità luminosa di 300 cd anziché di 119,42 come nel caso di figura 1.

Questo esempio fa comprendere come, mentre il flusso è una caratteristica tipica delle sorgenti luminose (lampade), l'intensità è tipica degli apparecchi di illuminazione. In seguito vedremo che per effettuare un calcolo preciso dell'illuminamento è necessario conoscere l'intensità luminosa emessa da un apparecchio di illuminazione almeno sui due piani ortogonali verticali più significativi.

### • Illuminamento

L'illuminazione di una superficie, o per meglio dire, di un punto di una superficie, dipende dalla densità del flusso luminoso incidente. Questa grandezza viene chiamata illuminamento.

L'illuminamento rappresenta il rapporto matematico tra il flusso incidente su una superficie e la superficie stessa misurata in  $m^2$  (lumen/  $m^2$  = lux). Si deve considerare solo il flusso incidente, che colpisce, cioè la superficie perpendicolarmente. Se il raggio luminoso non è perpendicolare alla superficie il rapporto va moltiplicato per il coseno dell'angolo di incidenza rispetto alla verticale.

Ad esempio, se su una superficie di  $0,5 m^2$  incide il flusso di 100 lm si avrà un illuminamento di 200 lux ( $100: 0,5$ ); se nella stessa situazione l'angolo di incidenza non è di  $90^\circ$  ma di  $60^\circ$  il flusso sarà dato dalla relazione:

$$E = \frac{\Phi}{S} \times \cos 30, \text{ cioè } 173 \text{ lux } (100:5 \times 0,866).$$

Questo concetto è puramente teorico, in quanto risulta essere esatto soltanto in caso di un flusso parallelo uniforme, come potrebbe accadere per la luce del sole rispetto ad una superficie di piccole dimensioni. Più in generale, la luce è diffusa da una superficie molto più piccola di quella illuminata, pertanto i raggi normalmente divergono (vedi fig. 3). Lungo uno specifico raggio, rappresentato come un cono di dimensioni non trascurabili, le superfici come  $S_1, S_2, S_3$  che intercettano il raggio crescono in proporzione al quadrato della distanza dalla sorgente ( $D_1^2, D_2^2, D_3^2$ ). Ne consegue che l'illuminamento  $E$  decresce con il quadrato della distanza.

L'illuminamento di un punto, quindi, è dato dal rapporto tra intensità luminosa del raggio incidente e il quadrato della distanza. A 1 m dalla sorgente l'illuminamento è numericamente uguale alla intensità luminosa del raggio incidente.

Per esempio, lungo un raggio con intensità di 200 cd si avranno rispettivamente:

- A 1 m 200 lx
- A 2 m 50 lx
- A 4 m 12,5 lx ecc.

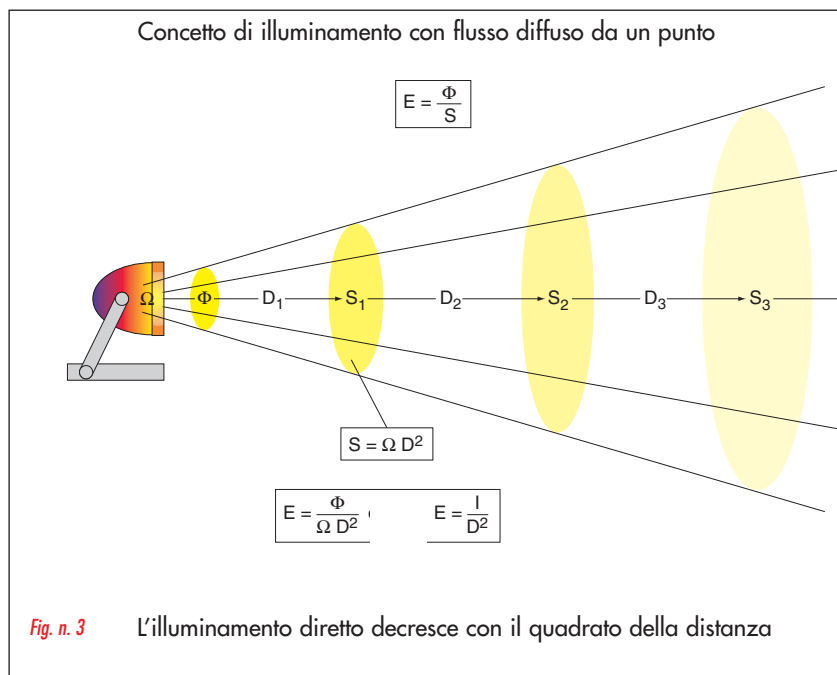
### • LUMINANZA

Le grandezze fotometriche analizzate fino a questo momento sono delle grandezze oggettive, che si riferiscono a superfici, spazi e punti dell'ambiente.

Se ci mettiamo di mezzo l'occhio umano, invece, l'effetto del flusso, dell'intensità luminosa e dell'illuminamento possono essere valutati meglio introducendo il concetto di luminanza.

La luminanza di un corpo dal quale l'occhio riceve la luce, è definito come il rapporto tra l'intensità luminosa (candela) del raggio che colpisce la retina e la superficie ( $m^2$ ) emittente.

La luminanza ( $L$ ) si misura in nit (nt) che sono candele al metro quadro ( $cd/ m^2$ ).



Il concetto, così espresso, vale ovviamente per superfici emittenti uniformi come, ad esempio, un globo o una lampada opalina.

In generale si deve introdurre il concetto di luminanza non di un corpo ma di un punto del corpo stesso.

La luminanza può essere riferita ad una sorgente o ad un apparecchio di illuminazione, e in questo caso si parla di luminanza diretta, oppure ad un oggetto illuminato, e allora si parla di luminanza riflessa.

La luminanza diretta è molto importante perché coinvolge fenomeni di abbagliamento che devono essere limitati. Il fenomeno dell'abbagliamento è causato dal disadattamento dell'occhio umano quando deve percepire, in rapida successione, visioni con forti contrasti di luminanza. A tutti è accaduto di avere osservato che i fari delle automobili abbagliano di notte ma non di giorno.

Non è perciò possibile definire dei valori assoluti di luminanza in relazione al fenomeno dell'abbagliamento sopportabile.

La luminanza riflessa coinvolge fenomeni di percezione visiva che risulta essere tanto più elevata quanto più è elevato il contrasto, come avviene ad esempio per una scritta nera su un foglio bianco. La trattazione della luminanza riflessa, pertanto, coinvolgendo nozioni complesse di fisiologia umana, esula dalla presente trattazione.

### 3. QUALITÀ DELLA LUCE ARTIFICIALE

#### • COLORE

Come abbiamo già visto, per ogni lunghezza d'onda compresa nella gamma delle radiazioni elettromagnetiche visibili, corrisponde da parte dell'occhio umano la percezione di un colore variabile dal rosso (700 nm) al blu-violetto (435 nm), passando per il giallo (570 nm). I colori "puri", cioè formati da una radiazione perfettamente sinusoidale, sono solo teorici, in realtà l'occhio percepisce i colori come la somma delle radiazioni monocromatiche.

Questo fenomeno è spiegato dalla teoria tricromatica, utilizzata ad esempio nella TV a colori, secondo la quale ogni colore può essere ottenuto dalla somma di tre flussi monocromatici. Così, ad esempio, il bianco che non esiste come colore primario, si ottiene dosando opportunamente il giallo, il rosso e il verde.

Il colore della luce solare è il bianco al quale tende la luce artificiale.

Se una sorgente luminosa non è in grado di produrre determinate lunghezze d'onda in determinate dosi, i colori degli oggetti illuminati risultano falsati.

#### • TONALITÀ

Neanche se l'occhio umano percepisce la luce artificiale prodotta dalle lampade elettriche come bianca, poiché la sua capacità di adattamento è altissima, questa non è mai perfettamente bianca. Di solito tende al rosso, e in questo caso si parla di luce calda, o al blu e in questo caso si parla di luce fredda, se abbondano rispettivamente le radiazioni rosse o le radiazioni blu.

Per definire la tonalità della luce si usa il metodo della temperatura colore misurata in gradi Kelvin (°K). Se portiamo ad incandescenza il "corpo nero" cioè una sostanza teorica perfettamente incolore allo zero assoluto, la luce prodotta passa, con l'aumentare della temperatura, dalla tonalità calda (simile a quella del sole al tramonto) a quella fredda (sole all'alba).

La tonalità è stata normalizzata in tre gruppi secondo le seguenti siglature:

- W fino a 3300 °K indica i toni caldi;
- I da 3300 °K a 5300 °K indica luce diurna;
- C oltre 5300 °K indica luce fredda.

I gradi Kelvin sono gradi centigradi assoluti, partono, cioè, dallo zero assoluto (-273 °C).

Nell'ambito delle tonalità comprese fra 3000 °K e 6000 °K i colori si percepiscono correttamente cosicché le scelte nei riguardi di una tonalità piuttosto che di un'altra, dipende dalla specifica utilizzazione. Per l'illuminazione di ambienti di lavoro, ad esempio, si preferiscono i toni freddi, mentre per gli ambienti abitativi si preferiscono i toni caldi.

#### • RESA CROMATICA

La resa cromatica è la capacità di una lampada di riprodurre in modo naturale i colori degli oggetti illuminati.

Il colore degli oggetti dipende dalla luce riflessa: così un oggetto appare blu perché assorbe tutte le altre radiazioni e riflette solo combinazioni di luci monocromatiche che danno per somma il colore blu.

Senza complicare la trattazione, è abbastanza intuibile che un oggetto non è in grado di riflettere una radiazione che non riceve. Pertanto la resa cromatica è perfetta soltanto se sono presenti nella luce artificiale le stesse radiazioni della luce solare nelle stesse quantità.

Questa condizione ottimale non è evidentemente raggiungibile. Il livello di imperfezione è convenzionalmente misurato da un indice numerico preceduto dalla sigla Ra: con il numero 100 si indica la perfezione (resa dei colori al 100%) e con lo 0 l'imperfezione assoluta (visione monocromatica).

Anche la resa dei colori è stata normalizzata dalla CIE per gruppi, come indicato nella Tabella 1.

**Tabella 1 - Indici di resa cromatica**

Indice Ra	Sigla di Gruppo CIE	Qualità resa	Impiego tipico
100-90	1°	Ottima	Ambienti dove l'apprezzamento del colore è importante
89-80	1B	Buona	Ambienti ordinari di soggiorno o lavoro
79-60	2	Discreta	Ambienti non impegnativi
59-40	3	Sufficiente	Luoghi di transito
39-20	4	Accettabile	Ambienti dove la presenza è saltuaria
< 20	Non classificato	Inaccettabile	-

### • Continuità

La luce artificiale può essere generata a flusso costante oppure può essere soggetta a pulsazioni periodiche o aperiodiche.

Le pulsazioni periodiche sono tipiche delle lampade a scarica il cui flusso pulsa con la frequenza della tensione (100 volte al secondo), parzialmente attenuato dall'effetto della fluorescenza presente sul bulbo.

Le pulsazioni periodiche possono diventare pericolose in ambienti che contengono macchine con parti in movimento periodico.

Infatti, per effetto stroboscopico i movimenti possono apparire falsati.

Le pulsazioni aperiodiche si hanno con lampade a scarica difettose che non riescono ad accendersi e vanno eliminate quanto prima, perché producono affaticamento della vista.

## 4. SORGENTI LUMINOSE

Le principali sorgenti luminose utilizzate nella costruzione di apparecchiature illuminanti possono essere raggruppate nelle seguenti categorie:

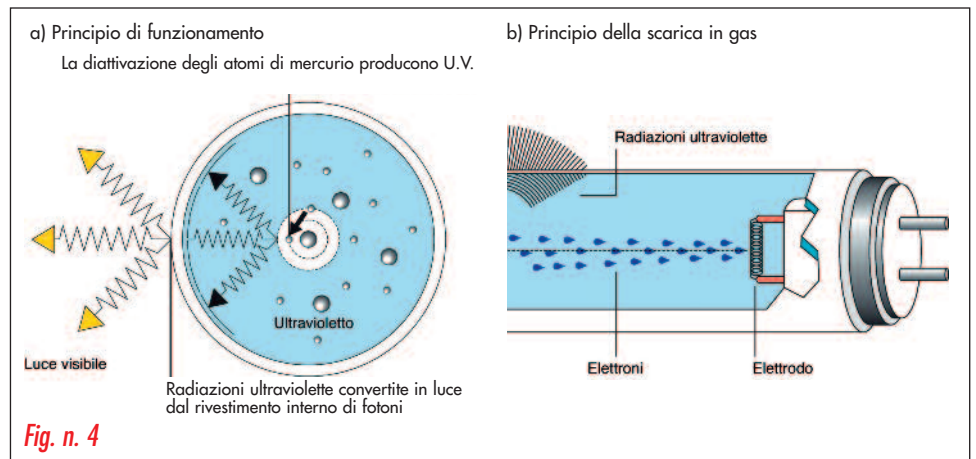
- Lampade fluorescenti tubolari.
- Lampade fluorescenti compatte.
- Lampade a scarica.
- Lampade alogene.
- Illuminazione a stato solido (LED)

### • LAMPADE FLUORESCENTI TUBOLARI

Una lampada fluorescente tubolare è costituita da un tubo in vetro rivestito internamente di sostanze fluorescenti con due terminali costituiti da catodi di tungsteno ricoperti da ossidi speciali (calcio, bario, stronzio) che determinano, quando alimentati, l'emissione di elettroni.

Si distinguono due tipi di lampade:

- a catodo preriscaldato
- a catodo freddo



Nelle lampade a catodo preriscaldato gli elettrodi sono realizzati con un filamento di tungsteno, e questi vengono riscaldati dal passaggio della corrente.

Nelle lampade a catodo freddo l'innesco avviene tramite una tensione maggiorata applicata alla lampada attraverso speciali alimentatori.

Il tubo è riempito da mercurio e gas inerte (argon o kripton) a bassissima pressione. Dando tensione alla lampada, gli elettrodi emessi dagli ossidi di rivestimento dei filamenti, si mettono in movimento entro il tubo. In un brevissimo arco di tempo avviene una scarica di intensità elevata che si tradurrebbe in corto circuito se non vi fossero delle impedenze limitatrici.

Queste impedenze sono rappresentate dagli alimentatori che possono essere di due tipi:

- reattanze
- alimentatori elettronici

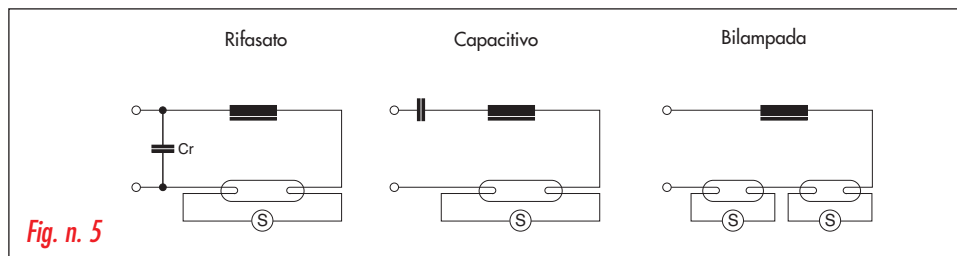
Le Reattanze sono tradizionali circuiti avvolti su ferro, mentre gli alimentatori elettronici sono dei particolari circuiti costituiti da elementi allo stato solido.

La scarica generata dal reattore mette in movimento gli elettroni degli atomi di mercurio che emettono una radiazione luminosa nel campo del violetto e dell'ultravioletto. I fosfori che rivestono internamente il tubo convertono queste radiazioni, in luce visibile e, con dosaggi di diversi materiali, copre una vasta gamma di tonalità di luce.

Il problema di tutte le lampade a scarica, è la caratteristica non lineare dell'arco elettrico: la tensione applicata agli elettrodi deve essere massima al momento dell'innesco e poi ridotta a pochi volt una volta che la scarica sia stata innescata.



A questo provvede l'alimentatore che, nelle lampade a catodo caldo a filamento riscaldato solo durante l'innesco, è costituito da una semplice reattanza avvolta su ferro e da uno speciale interruttore termico chiamato starter. Con riferimento alla fig. 5, all'atto dell'alimentazione del circuito, l'intera tensione viene applicata ai due elettrodi dello starter tra i quali si innesca un arco che provoca il passaggio della corrente nel filamento degli elettrodi della lampada e l'emissione di elettroni.



Contemporaneamente il bimetallo che fa parte del contatto inserito nello starter si riscalda e provoca l'apertura del contatto. In questo modo, la tensione viene trasferita agli elettrodi della lampada con un picco causato dalla reattanza dell'alimentatore che facilita l'innesco dell'arco. Se l'arco si innesca lo starter rimane cortocircuitato, altrimenti, non appena il bimetallo si raffredda, ricomincia automaticamente il ciclo di accensione.

La reattanza dell'alimentatore si trova in serie all'arco e lo stabilizza.

Nel tempo sono stati creati altri sistemi di accensione senza l'utilizzo dello starter, che utilizzano speciali trasformatori a più circuiti mutuamente accoppiati, sistemi denominati Rapid start o con altri nomi commerciali, a seconda delle minime differenze del sistema applicate dai vari costruttori. La soluzione migliore, comunque, è rappresentata oggi dall'alimentatore elettronico costituito fondamentalmente da un commutatore statico che riproduce dal lato lampada una tensione alternata a circa 30 kHz che si adatta automaticamente alle variazioni d'impedenza dell'arco.

I vantaggi degli alimentatori elettronici sono notevoli:

- accensione immediata del tubo
- assenza dell'effetto stroboscopico tipico dell'alimentazione tradizionale
- fattore di potenza ( $\cos \phi$ ) prossimo all'unità
- assoluta assenza di rumore (talvolta fastidiosissimo negli alimentatori tradizionali)

Gli alimentatori elettronici, inoltre, offrono dei vantaggi anche in termini fotometrici che si traducono in un aumento dell'efficienza e della durata della lampada. Le lampade fluorescenti tubolari presentano il grave difetto della discontinuità dello spettro di emissione che provoca rese cromatiche imperfette. Lo spettro di emissione è concentrato su poche bande strette dominanti, collocate rispettivamente intorno al blu (400-450 nm), al verde - giallo (550 nm) e all'arancione (600 nm) che da sole darebbero una resa di colore molto mediocre. Con gli alofosfati standard si ottengono rese cromatiche Ra 55-75.

Recentemente sono state introdotte polveri trifosforo con resa cromatica Ra 86 e multifosforo con Ra fino a 95.

La temperatura di colore ottenibile abbraccia una gamma molto vasta che va da 3000 K a 7500 K.

Al contrario il punto di forza delle lampade fluorescenti tubolari è costituito dall'elevata efficienza che da un minimo di 50 lm/W può raggiungere con polveri trifosforo 90 lm/W, il consumo, quindi, a parità di flusso prodotto, è ridotto del 15-20% rispetto alle vecchie lampade a incandescenza. Inoltre, per applicazioni antideflagranti, i tubi fluorescenti presentano il vantaggio della bassissima temperatura sul vetro, che li rende utilizzabili nelle zone con presenza di gas che presentano basse temperature di innesco.

Il difetto elettricamente più rilevante è il basso fattore di potenza, per le lampade alimentate con reattori tradizionali, a causa delle correnti di picco capacitive che comportano le lampade singolarmente rifasate nei grossi impianti accesi a gruppi.

Questo difetto, come abbiamo visto, viene eliminato dai reattori elettronici.

Le lampade fluorescenti tubolari sono disponibili in tre diametri standard, rispettivamente: 38 mm (T12), 26 mm (T8) e 16 mm (T5).

Nella **tabella 3** sono indicati i più comuni tipi di lampade fluorescenti tubolari.

**Tabella 3 - I tipi più diffusi di lampade fluorescenti tubolari**

Potenza nominale (W)	8	15	18	36	58
Tipo di attacco	G5	G13	G13	G13	G13
Flusso luminoso (lm)	350	870	1350	3350	5200
Efficienza (lm/W)	43.7	58	75	93	89.6

## • LE LAMPADIE FLUORESCENTI COMPATTE

Le lampade fluorescenti compatte sono simili alle lampade tubolari fluorescenti a catodo caldo.

Si ottengono piegando a forma di U il tubo fluorescente. La piega può essere a singola o doppia U e, talvolta, anche quadrupla.

Nella base della lampada viene incorporato l'alimentatore.

Esistono in commercio lampade con alimentatore integrato che hanno l'attacco E27 e risultano in tal modo intercambiabili con le normali lampade a incandescenza, e i tipi non integrati che sono disponibili con attacco bipinza con lo starter incorporato e quadripinza che richiedono starter e reattori esterni.

Vengono utilizzati tubi di piccolo diametro ricoperti internamente da polveri fluorescenti ad alta resa di colore (trifosfori) con elevate prestazioni illuminotecniche. La resa di colore solitamente è Ra 85 e la temperatura di colore varia da 2700 K a 6000 K.

Il punto di forza di queste lampade è la possibilità di essere impiegate al posto delle vecchie lampade ad incandescenza fuori produzione, senza sostanzialmente, modificare l'armatura che le contiene, con indubbi vantaggi in termini economici, in quanto, pur avendo un costo iniziale di una decina di volte rispetto alle lampade ad incandescenza, si ottiene un ritorno economico in termini di risparmio energetico e una durata di 15 volte superiore, risparmiando inoltre sui costi di manutenzione (una sostituzione di lampada contro le 15 sostituzioni, nello stesso periodo di tempo, per una ad incandescenza).

Nelle applicazioni in luoghi con atmosfera pericolosa, presentano l'ulteriore vantaggio della bassa temperatura superficiale del vetro che ne permettono l'uso in presenza di gas con basse temperature di innesco.

Nella **tabella 4** sono indicati i più diffusi tipi di lampade fluorescenti compatte.

**Tabella 4 - I più diffusi tipi di lampade fluorescenti compatte**

Potenza nominale (W)	5	7	11	15	20	23	25
Tipo di attacco	E14	E14	E14	E27	E27	E27	E27
Flusso luminoso (lm)	200	400	600	900	1200	1500	1500
Efficienza (lm/W)	40	57.1	54.5	60	60	65.2	60

## • LAMPADIE A SCARICA

Le lampade a scarica sono utilizzate in ambienti industriali molto vasti dove l'efficienza è prioritaria rispetto alla tonalità e alla resa di colore (illuminazione stradale, aree esterne in genere, capannoni).

Sono costituite da una ampolla in quarzo detto tubo di scarica o bruciatore, entro il quale sono racchiusi gli elettrodi, il gas inerte e il vapore attivante.

L'ampolla è protetta esternamente da un bulbo di vetro che serve a proteggere da eventuali contatti con il bruciatore, che ha una temperatura elevatissima e può causare pericolose scottature. Il bulbo è necessario, inoltre, per proteggere il bruciatore dalla polvere e per filtrare i raggi ultravioletti.

Sulla superficie interna del bulbo vengono depositate sostanze fluorescenti per convertire le radiazioni ultraviolette in luce visibile, esattamente come avviene per i tubi fluorescenti.

Il principio di funzionamento delle lampade a scarica è uguale a quello delle lampade fluorescenti con la differenza che la scarica ha una durata molto più breve e sono necessari degli starter particolari per l'accensione.

I principali tipi di lampade a scarica sono:

- a vapori di mercurio
- a vapori di sodio a bassa pressione
- a vapori di sodio ad alta pressione
- ad alogenuri
- a luce miscelata

### A) Lampade a vapori di mercurio

La scarica avviene in atmosfera di argon con vapori di mercurio.

- Efficienza luminosa 40-55 lm/W
- Temperatura di colore 3000-4000 K
- Resa cromatica Ra 40-45
- Vita media 10.000-15.000 ore

Nella **tabella 5** sono indicati i più diffusi tipi di lampade a vapori di mercurio.

**Tabella 5 - Tipi principali di lampade a vapori di mercurio**

Potenza nominale (W)	50	80	125	250	400
Tipo di attacco	E27	E27	E27	E40	E40
Flusso luminoso (lm)	1800	3700	6300	13000	22000
Efficienza (lm/W)	36	46	50	52	55

### **B) Lampade a vapori di sodio a bassa pressione**

La scarica avviene in atmosfera di neon e vapori di sodio entro un tubo piegato a U.

- Efficienza luminosa 200 lm/W
- Temperatura di colore 1800 K
- Resa cromatica Ra 10 (luce gialla)
- Vita media 16.000 ore

È la lampada che presenta la più elevata efficienza luminosa, ma la peggior resa cromatica; funziona solo nelle posizioni predeterminate e impiega 10-15 minuti per andare a regime.

Si impiega quasi unicamente per l'illuminazione stradale o di grandi aree che non necessitano qualità cromatica.

### **C) Lampade a vapori di sodio a alta pressione**

Costituiscono una variante delle lampade a bassa pressione con lo scopo di migliorare la resa cromatica a spese dell'efficienza luminosa. Il tubo di scarica è costituito da ossido di alluminio sinterizzato contenente una miscela di gas rari (xenon e argon oppure neon e argon). Tra il bulbo di scarica e il bulbo esterno è fatto il vuoto.

- Efficienza luminosa 80-130 lm/W
- Temperatura di colore 2000-2500 K
- Resa cromatica Ra 20-30
- Vita media 15.000-20.000 ore

### **D) Lampade ad alogenuri**

Si tratta di lampade a vapori di mercurio con additivi costituiti da alogenuri di sodio, tallio, indio, scandio, ioduri di disprosio e altri alogenuri che producono radiazioni di lunghezza d'onda diversa da quella tipica del mercurio e perciò migliorano la resa cromatica. Le caratteristiche variano secondo il tipo di alogenuro impiegato.

- Efficienza luminosa che può raggiungere 90 lm/W
- Temperatura di colore variabile da 3000-4200 K
- Resa cromatica variabile tra Ra 65 e Ra 90
- Vita media 6000-8000 ore

### **E) Lampade a luce miscelata**

Sono lampade a vapori di mercurio che per stabilizzare l'arco utilizzano un filamento di tungsteno che contribuisce alla produzione del flusso luminoso riscaldando i toni.

Oggi giorno sono usate molto raramente, sostituite dalle lampade a vapori di mercurio o ad alogenuri.

- Efficienza luminosa 20-30 lm/W
- Temperatura di colore 3500 K
- Resa cromatica Ra 60
- Vita media 9000 ore

## • LAMPADE ALOGENE

Le lampade alogene funzionano con lo stesso principio delle lampade ad incandescenza. La luce è prodotta per riscaldamento di un filamento di tungsteno sostenuto da elettrodi e contenuto in un bulbo.

Il gas di riempimento, però, al contrario che nelle lampade ad incandescenza, non è inerte, e contiene iodio o bromo e questa presenza permette di far raggiungere al filamento temperature fino a 3000 - 3500 °C, senza per questo ridurre la vita della lampada.

Il processo per il quale è possibile l'allungamento della vita del filamento si basa sul fatto che il filamento stesso, portato ad alta temperatura produce particelle di vapore di tungsteno che si allontanano per effetto dei moti convettivi in direzione del bulbo, diminuendo la propria temperatura. Quando la temperatura scende a circa 700 °C, i vapori di tungsteno si combinano con l'alogeno formando alogenuro di tungsteno che, essendo gassoso, segue il moto convettivo che si stabilisce nell'interno del bulbo. Quando la temperatura aumenta nuovamente fino al livello di 2000 °C l'alogenuro si scinde liberando particelle di tungsteno che si ridepositano sul filamento compensando la precedente perdita e rigenerandolo.

Il sistema funziona come un reattore chimico nel quale il vapore di tungsteno e l'alogenuro si mantengono in proporzioni costanti e, almeno in linea teorica, il filamento non si consuma.

Nelle lampade, con il tempo, si deposita sul bulbo annerendolo.

Data l'elevatissima temperatura che si viene a creare, il bulbo non è di vetro, ma di quarzo, ed inoltre le lampade sono normalmente dotate di uno specchio diecrico che ha la caratteristica di riflettere, grazie ad uno strato di titanio, le radiazioni visibili, e di lasciar passare quelle infrarosse, senza pertanto far perdere le caratteristiche cromatiche e di luminosità alla lampada, consentendo, nello stesso tempo, un forte smaltimento del calore prodotto dalla parte posteriore della lampada.

La conseguenza è che la lampada produce una luce più fredda, superiore a 3000 °K.

Le dimensioni ridotte delle lampade alogene permettono la costruzione di apparecchi di illuminazione di piccole dimensioni.

Trovano applicazione negli impianti antideflagranti come lampade di ispezione per i serbatoi.

Nella **tabella 6** sono indicati i più diffusi tipi di lampade alogene.

**Tabella 6 - I più diffusi tipi di lampade alogene**

Potenza nominale (W)	20	50	75	100	100	250	300	500
Tipo di attacco	G4	GY6	E14	E27	R7S-15	E27	R7S-15	R7S-15
Flusso luminoso (lm)	300	900	1000	1400	1400	4500	5100	9500
Efficienza (lm/W)	15	18	13	14	14	18	17	19
Voltage (V)	24	24	230	230	230	230	230	230

## • ILLUMINAZIONE A STATO SOLIDO

In molte aree applicative i moderni LED sono diventati una importante alternativa alle lampade convenzionali.

I supercompatti semiconduttori optoelettronici possono infatti sostituire le lampade in molte applicazioni esistenti.

Sono molte e forti le regioni che portano all'utilizzo crescente dei LED in ogni tipo di illuminazione e display.

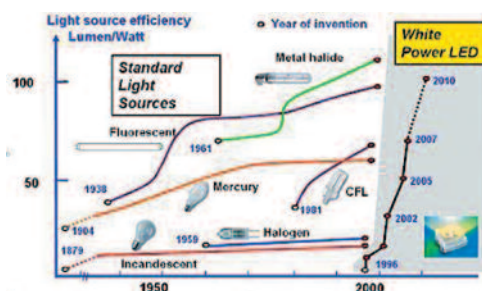
Rispetto alle sorgenti luminose convenzionali questi dispositivi luminosi offrono molti vantaggi:

- Durata estremamente lunga, da 50.000 a oltre 100.000 ore
- Dimensioni drasticamente ridotte
- Bassa dissipazione di calore
- Regolabilità in modo continuo
- Risparmio di energia

## • Tecnologia dei LED

Per più di 30 anni, i LED sono stati impiegati in varie applicazioni industriali dalle centraline di comando agli strumenti di misurazione, in prodotti consumer come impianti HiFi, telefoni o personal computer, in segnali stradali e ferroviari o nell'illuminazione interna e esterna di autoveicoli. Negli ultimi anni l'efficienza dei LED colorati è straordinariamente aumentata fino a 100 lm/W e oltre a seconda del colore e delle condizioni di impiego. Un'evoluzione che continuerà nel futuro.

Nell'immagine sottostante è possibile analizzare l'evoluzione del LED (fonte Osram) rispetto alle fonti di luce tradizionali.



Dato che i LED bianchi raggiungono oggi un livello di efficienza fino a 40-100 lm/W (l'efficienza dipende dalla temperatura di colore e dalla resa del colore), vengono sempre più utilizzati nell'illuminazione generale. Nell'illuminazione di emergenza, così come per l'illuminazione decorativa, sono già una tecnologia consolidata. Nelle applicazioni di illuminazione generale viene utilizzata soprattutto la luce bianca. I LED bianchi con livelli di efficienza da 45 a 100 lm/W, disponibili già da qualche anno, hanno abbondantemente superato le prestazioni delle lampade ad alogeni. Il principio di funzionamento consiste in un LED-chip le cui emissioni blu eccitano particelle di materiale fluorescente giallo mescolate alla resina. Dall'emissione della luce blu e gialla risulta alla fine la luce bianca.

#### • Utilizzo del led nella produzione di apparecchiature di illuminazione Ex-proof

Come dicevamo nel paragrafo più sopra, una delle principali caratteristiche dei LED è la loro durata.

Nelle specifiche applicazioni in ambienti con pericolo di esplosione per la presenza di gas o polveri infiammabili, questo si traduce in un grandissimo vantaggio, assolutamente superiore a tutti i vantaggi che questi produttori di luce possono portare in altri settori.

Uno dei rischi più frequenti di mancata protezione ad un innesco, può essere un'errata manutenzione delle apparecchiature antideflagranti.

La sicurezza delle apparecchiature nel tempo è garantita dalla costante applicazione dei piani di manutenzione, che prevedono una serie di attività e, soprattutto, uno specifico ed efficace addestramento del personale che su queste apparecchiature è chiamato ad intervenire.

L'istruzione del personale deve essere costantemente mantenuta, aggiornata e rinnovata. Le modalità di addestramento e formazione dovranno essere registrate ed archiviate, in modo da avere un costante controllo sulla preparazione del personale da utilizzare in un campo così importante e delicato come quello della manutenzione. Dovranno, inoltre, essere tenuti in considerazione la fattibilità di alcuni interventi che, se vanno a toccare la struttura dell'apparecchiatura certificata, possono essere effettuate esclusivamente dal costruttore.

Questo è un punto molto spesso disatteso, in quanto sugli impianti si incontrano molto spesso casi di modifiche apportate "sul campo" alle apparecchiature. Modifiche che nella maggior parte dei casi pregiudicano la sicurezza del sistema.

In quest'ottica è chiaro che se una apparecchiatura richiede un minor numero di interventi nel corso della sua vita utile, oltre a presentare

**Tabella 7 – Confronto tra sorgenti luminose per efficienza e durata**

LAMPADA	EFFICIENZA	DURATA
Incandescente	15 lu/W	1.000 ore
Fluorescente	70-100 lu/W	20.000 ore
HPS	80 lu/W	24.000 ore
LED bianco	40 - 100 lu/W	>50.000 – 100.000 ore

un costo di esercizio globale nettamente inferiore, presenta minori rischi causati da errori umani nel corso delle manutenzioni.

Come possiamo vedere nella **Tabella 7** l'efficienza dei moduli a LED, allo stato dell'arte, raggiungono già i migliori livelli di efficienza degli altri sistemi di illuminazione. A fronte di tale efficienza, però, abbiamo anche una notevole vita utile con scarsissima perdita nel tempo di efficienza luminosa. Questo significa che nel breve futuro si potrà prevedere l'illuminazione delle aree a rischio di esplosione attraverso apparecchiature specificatamente progettate per lo sfruttamento delle caratteristiche dei LED.

Oggi esistono già apparecchi tradizionali che utilizzano come fonte di luce dei moduli LED. Il miglioramento tecnologico del LED permette già oggi di avere un miglior dissipamento del calore rispetto a prodotti di alcuni anni fa, e questo era stato finora il limite dell'utilizzo di tali componenti. Dal punto di vista pratico, in questo modo, si potranno realizzare delle apparecchiature "a perdere" con sistemi di installazione assolutamente semplificati e tempi di installazione e disinstallazione rapidissimi. Il fatto di poter ridurre drasticamente gli intervalli di manutenzione sulle armature illuminanti, diminuisce in modo esponenziale il rischio derivante da una errata attività manutentiva.

Nella tabella seguente riportiamo il numero di manutenzioni necessarie per la sostituzione della lampada nel corso di 10 anni di esercizio.

Da questa semplice tabella si evince che l'intervento sull'armatura illuminante si riduce drasticamente, con un notevole risparmio in termini di costo per l'utilizzo di personale manutentivo ridotto, ma soprattutto si limita il rischio dovuto alla apertura e chiusura delle custodie che necessitano il ripristino della situazione di prima installazione.

**Tabella 8 – Numero di manutenzioni necessarie per la sostituzione della lampada nel corso di 10 anni di esercizio**

LAMPADA	Interventi
Incandescente	87
Fluorescente	5
LED	1

### • Problematiche da affrontare in progettazione

Ovviamente, come tutte le innovazioni, anche in questo caso non tutto è oro ciò che luccica. Nella progettazione di apparecchiature di illuminazione con l'utilizzo di diodi LED, è necessario tenere in considerazione alcuni fattori importanti per prevenire rischi connessi alla stessa apparecchiatura.

Le principali problematiche sono le seguenti:

- anche i LED scaldano
- anche i LED consumano energia
- anche i LED non sono impermeabili

#### Anche i LED scaldano

Un LED emette luce mentre gli UV e gli IR sono praticamente assenti; la luce emessa è fredda gli oggetti illuminati non vengono esposti al calore. L'illuminazione con LED è, quindi, ideale per illuminare oggetti sensibili. Gli stessi LED, però, si surriscaldano durante il processo di produzione della luce. Questo calore deve essere dissipato, perché la sua durata dipende dalla temperatura alla quale viene fatto funzionare. Più è freddo, maggiore è la durata e la luminosità dei LED. In rapporto alle altre fonti di illuminazione, comunque, la temperatura raggiunta da un qualunque modulo LED non raggiunge mai temperature critiche per l'innesco di un'esplosione, riuscendo sempre ad essere contenuto nella Classe T6 di temperatura.

#### Anche i LED consumano energia

Maggiore è l'emissione richiesta da un LED maggiore è il consumo di elettricità. Ma circa il 30% dell'energia viene convertito in luce. A circa 45 lm/W e più, i LED sono già delle fonti luminose estremamente efficienti. Un minimo di attenzione è comunque necessario nella scelta del componente, in quanto i LED di alcuni colori, come il rosso, sono particolarmente efficienti e vengono spesso utilizzati nelle tabelle dei produttori come mezzo di comparazioni. Maggiore è la corrente, comunque, maggiore sarà la temperatura e, quindi, più breve la durata della vita utile.

#### Anche i LED non sono impermeabili

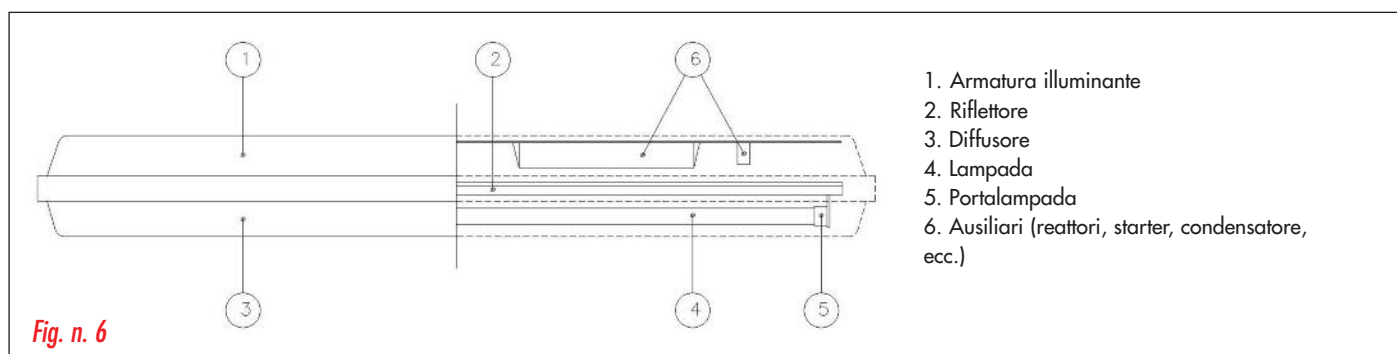
I LED sono resistenti, insensibili, a prova di vibrazione e di urti. Se utilizzati correttamente, anche l'umidità non è un problema. Non è il LED, ma le diverse parti in metallo, i connettori e i componenti elettronici sui moduli LED ad essere sensibili, che possono corrodere e causare il malfunzionamento del modulo. I moduli LED devono essere protetti dall'influenza dei fattori ambientali al fine di raggiungere la loro durata nominale. L'acqua, l'umidità e la condensa devono essere tenuti lontani dai suoi componenti. Si deve provvedere alla protezione IP, oppure, come nel caso dell'utilizzo della protezione Ex 'm', si possono completamente incapsulare in getti di resina trasparente che ne preservino la stabilità garantendo la segregazione da eventuale atmosfera esplosiva. E' chiaro che in questo caso il modulo sarà, come dicevamo più sopra "a perdere" nel senso che tutta l'apparecchiatura, al termine del ciclo di vita dovrà essere rottamata e sostituita, ma anche in questo caso, da una verifica costi/benefici sicuramente l'apparecchiatura a LED uscirà vincente.

## 5. APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE

Per apparecchio di illuminazione si intende un complesso che comprende la sorgente luminosa, gli ausiliari di alimentazione e di accensione, ed elementi ottici destinati a orientare il flusso luminoso, oltre, naturalmente, tutti i componenti meccanici necessari al contenimento, al cablaggio e alla posa in opera.

Le funzioni di un apparecchio di illuminazione sono:

- contenimento e supporto.
- sicurezza elettrica.
- illuminotecnica.



1. Armatura illuminante
2. Riflettore
3. Diffusore
4. Lampada
5. Portalampana
6. Ausiliari (reattori, starter, condensatore, ecc.)

### • Contenimento

Il contenitore, molto spesso chiamato anche armatura, può essere metallico o in resina, ottenuto per stampaggio, fusione o piegatura di lamiera.

La funzione di contenimento è quella di alloggiare correttamente lampade, portalampade, alimentatori, morsetti, sistemi di cablaggio, realizzando un insieme protetto contro le sollecitazioni ambientali e prevedendo attacchi per l'installazione.

### • Sicurezza elettrica

La sicurezza elettrica deve essere realizzata conformemente alle prescrizioni della normativa EN 60598 che è la più importante norma che contiene le prescrizioni generali e che integra le prescrizioni particolari dedicate alle specifiche tipologie.

Le prescrizioni di sicurezza sono quelle comuni alla generalità delle apparecchiature elettriche che sono:

- grado di protezione adeguato;
- protezione contro contatti diretti e indiretti;
- protezione contro il cortocircuito e i guasti a terra.

Tali prescrizioni sono, inoltre, integrate da altre riguardanti le lampade, i sistemi anticaduta, gli schermi di protezione, le distanze minime di installazione dal materiale combustibile ecc.

In base alla legge 46/90, è importante ricordare che l'installatore è responsabile della corretta scelta degli apparecchi fissi che fanno parte dell'impianto, pertanto la posa in opera delle armature illuminanti è prerogativa riservata agli installatori ed è oggetto di dichiarazione di conformità. L'abitudine di fornire l'impianto elettrico privo degli apparecchi di illuminazione, alla cui posa provvedono successivamente persone non qualificate, costituisce una violazione della legge.

### • Funzioni illuminotecniche

Le funzioni illuminotecniche, o fotometriche, sono una caratteristica specifica di ogni apparecchio di illuminazione e riguardano le operazioni di elaborazione del flusso emesso dalle lampade.

Le operazioni fondamentali, indicate nella **figura 7**, sono:

#### A) Riflessione

Con la riflessione si concentra il flusso in un cono caratterizzato da un definito angolo di apertura. Normalmente il riflettore è rappresentato da uno specchio di alluminio ossidato e brillantato o, più frequentemente, da una semplice lamiera verniciata in bianco.

Lo scopo del riflettore è quello di dirigere la luce in una determinata direzione, solitamente verso il basso.

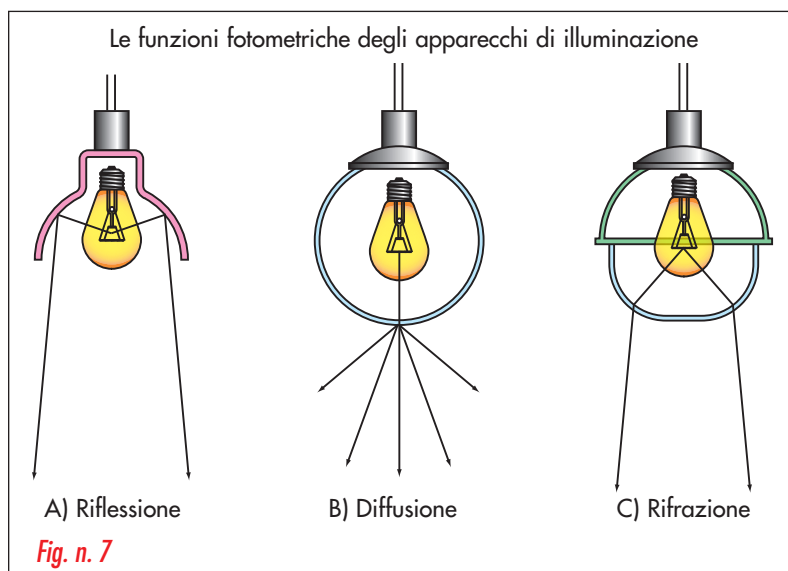
#### B) Diffusione

La diffusione consiste nel dividere un raggio luminoso in una serie di raggi divergenti e si ottiene ponendo davanti alla lampada uno schermo traslucido o opalino. Serve per diffondere in modo uniforme la luce in un ambiente.

#### C) Rifrazione

La rifrazione è un fenomeno che segue i principi dell'ottica geometrica delle lenti. Un raggio incidente viene deviato da una lente o da un corpo trasparente prismatico di un determinato angolo. Con queste particolari lenti si può ottenere sia la funzione convergente dei riflettori che quella divergente dei diffusori.

Negli apparecchi di illuminazione la rifrazione è ottenuta con coppe trasparenti lenticolari oppure con lastre lavorate a prismi in vetro o, più frequentemente, in resina trasparente.



Il flusso totale che esce da un apparecchio di illuminazione è sempre inferiore al flusso generato dalle lampade contenute. Questa perdita di flusso è indicata in percentuale sull'indicatrice fotometrica. Potremmo avere ad esempio il 10% di flusso verso l'alto e l'80% verso il basso. In questo caso, il 10% di flusso è rappresentato dalla luce dissipata all'interno dell'apparecchio di illuminazione.

A seconda del tipo di illuminazione che sono in grado di produrre, gli apparecchi si classificano in tre gruppi:

- per illuminazione diretta, quando almeno il 90% del flusso è diretto verso il basso
- per illuminazione diffusa, quando la luce si ripartisce pressoché uniformemente in tutte le direzioni
- per illuminazione indiretta, quando almeno il 90% del flusso è diretto verso l'alto

Tra le situazioni intermedie si classificano altri due sottogruppi (illuminazione semi diretta con flusso prevalentemente diretto verso il basso nella percentuale compresa tra il 60% e il 90% e illuminazione semi indiretta con il 60-90% di flusso diretto verso l'alto).

Le caratteristiche fotometriche di un apparecchio di illuminazione, come vedremo più avanti in questa trattazione, sono completamente definite solo dalla indicatrice fotometrica e dalla curva di luminanza, che hanno lo svantaggio di essere utilizzabili soltanto per calcoli e verifiche molto complessi con il metodo punto per punto.

Allo scopo di utilizzare metodi meno laboriosi, che si basino su coefficienti tabellari, negli anni si sono tentate diverse classificazioni fotometriche di tipo qualitativo, tra le quali le due più importanti sono il metodo BZ di origine IES e quello UTE C71.121 adottato in Francia. Dal momento che molto di frequente le relative codifiche si trovano sui cataloghi dei produttori, a puro titolo informativo riportiamo alcune indicazioni di massima sui due metodi.

Il metodo BZ si basa su dieci campioni di diagrammi polari di emissione del flusso definiti da formule matematicamente semplici (del tipo  $I=I_0 \cos$ ,  $I=I_0 \cos^2$ ,  $I=I_0 (1 + \sin \alpha)$  ecc.) a ciascuno dei quali corrisponde una sigla come BZ1, BZ2 ecc. con il significato pratico indicato nella **tabella 9**.

<b>Tabella 9 - Classificazione BZ</b>						
<b>Sigla tipo di fascio</b>	<b>BZ1</b>	<b>BZ2 - BZ3</b>	<b>BZ4 - BZ5</b>	<b>BZ6 - BZ7</b>	<b>BZ8</b>	<b>BZ9 - BZ10</b>
		molto stretto	stretto	medio	largo	distribuzione uniforme
<b>Tipo di illuminazione</b>	Diretta concentrata		Diretta distribuita	Diretta diffusa verso il basso	Diffusa	Semi diretta

Il metodo UTE classifica con le lettere dell'alfabeto da A a S gli apparecchi di illuminazione in funzione delle percentuali di flusso diretto verso il basso entro un angolo di 90°, secondo le corrispondenze indicate nella **tabella 10**.

La lettera T è riservata agli apparecchi per illuminazione indiretta.

<b>Tabella 10 - Classificazione UTE</b>																				
<b>Sigla</b>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
<b>% di flusso diretta verso il basso</b>	90	76	63	53	43	40	36	33	26	23	36	30	23	33	26	30	10	6	13	0
<b>Tipo di illuminazione</b>	Diretta concentrata				Diretta diffusa				Semi diretta				Mista				Ind.			



## • INDICATRICE FOTOMETRICA

L'indicatrice fotometrica di un apparecchio di illuminazione è il diagramma polare delle intensità luminose che ha come centro il punto focale (cioè quello nel quale convergono tutti i raggi solitamente coincidenti con il centro della lampada o delle lampade).

Per apparecchi con emissione perfettamente simmetrica attorno all'asse verticale, come globi, plafoniere rotonde, fari rotondi, l'indicatrice fotometrica è unica in quanto uguale per tutti i piani verticali passanti per l'asse verticale. Per apparecchi di altra forma come le lampade tubolari o ovali, le indicatrici cambiano con il posizionamento azimutale del piano verticale. In questo caso sono fornite solo due indicatrici riferite rispettivamente al piano trasversale e a quello longitudinale tutte le altre si possono ricavare in modo approssimativo per interpolazione.

L'intensità luminosa nelle diverse direzioni è proporzionale alla lunghezza del segmento misurato dal polo (centro del diagramma) alla curva in una determinata scala. Per facilitare la lettura, il diagramma è graduato da un reticolo formato da cerchi concentrici e da raggi nelle diverse direzioni. Dal momento che molti apparecchi di illuminazione consentono l'installazione di lampade di diversa potenza, e anche nell'ambito della stessa potenza le lampade possono avere differente flusso, l'indicatrice non è data direttamente in candele, ma in candele specifiche riferite a un flusso installato di 1000 lm, in questo caso l'intensità si ottiene moltiplicando il valore letto per le migliaia di lumen corrispondenti alle lampade installate. Il raggio con direzione  $45^\circ$  giacente sul piano trasversale ha una intensità specifica di 200 cd/1000 lm, se nell'apparecchio sono installate lampade per complessivi 2000 lm, l'intensità sarà di 400 cd.

L'indicatrice fotometrica è ricavata da misure fotometriche in condizioni reali, pertanto, come si spiegherà meglio nel prossimo capitolo, il rendimento è già inglobato. Disponendo di questo diagramma, con semplici conti che si basano sulla relazione  $E=l/d^2$  è possibile definire con buona precisione l'illuminamento diretto prodotto dall'apparecchio in qualunque punto dello spazio circostante.

## • CURVE DI LUMINANZA

Come già detto, la luminanza di una sorgente luminosa nelle varie direzioni è l'intensità luminosa divisa per la superficie apparente ( $\text{cd}/\text{m}^2 = \text{nit}$ ).

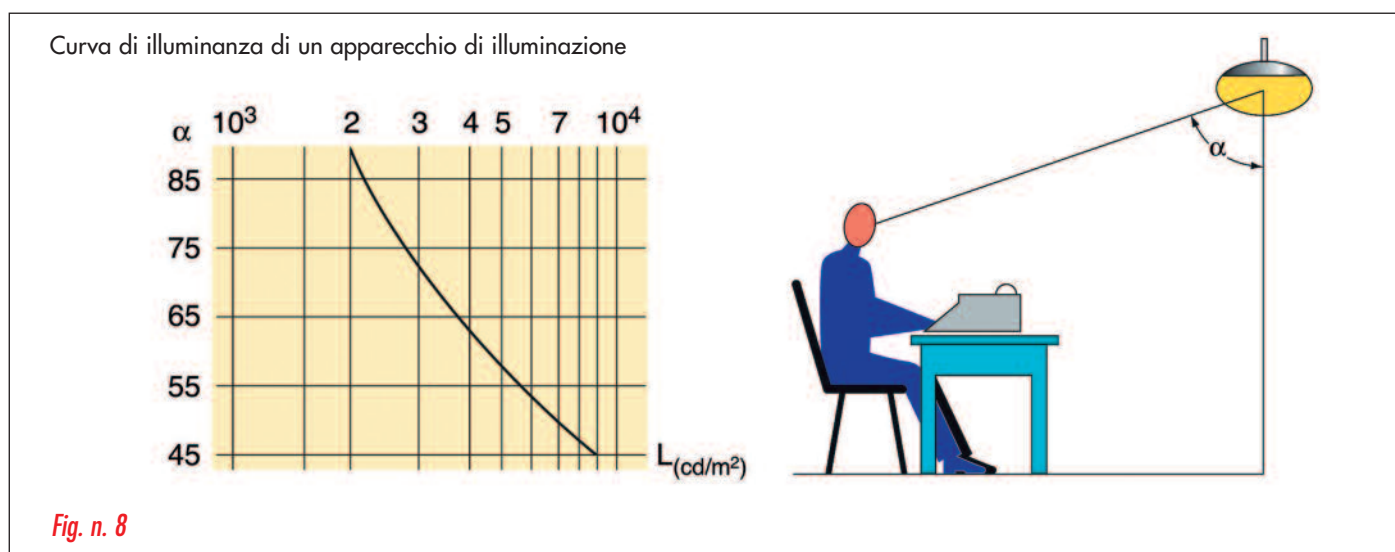
Dalle indicatrici fotometriche si può ricavare facilmente la corrispondente curva polare di luminanza.

All'atto pratico i valori di luminanza interessano solo gli angoli di vista usuali che vanno da  $85^\circ$  a  $45^\circ$ , pertanto il diagramma è di tipo cartesiano invece che polare.

Se l'intensità luminosa è costante e il corpo luminoso ha forma di globo, anche la luminanza è costante.

La lettura del diagramma di luminanza è immediata: guardando la *fig. 8* sotto un angolo di vista  $\alpha$  di  $65^\circ$  si ha una luminanza di  $4000 \text{ cd}/\text{m}^2$ ; sotto un angolo di  $85^\circ$  la luminanza diminuisce a circa  $2000 \text{ cd}/\text{m}^2$  ecc.

Nella pratica progettuale la curva di luminanza ha solo un interesse qualitativo perché viene confrontata con le curve standard che definiscono i gradi di abbagliamento tollerati nei diversi casi.



## 7. PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

Nella scelta delle caratteristiche illuminotecniche il problema essenziale che si deve affrontare è il comfort visivo che comporta la definizione progettuale di determinati parametri che sono:

1. l'illuminamento (cioè i lux medi)
2. l'uniformità di illuminamento (cioè il rapporto tra lux minimi e lux massimi)
3. la tonalità di colore
4. la resa di colore
5. la limitazione dell'abbagliamento

A tale scopo sarebbe opportuno fare riferimento alle Norme UNI 10380 che, per ogni ambiente suggeriscono i dati di illuminotecnica ritenuti idonei.

La **tabella 11** riporta alcuni dati consigliati, che abbiamo scelto per le particolari applicazioni negli impianti con pericolo di esplosione. Per la tabella completa, rimandiamo alla Norma UNI 10380.

L'illuminamento, che in tabella appare sotto il nome di "Lux medi", è il dato più importante, e viene indicato da tre valori:

- basso
- medio
- alto

**Tabella 11 - Dati tecnici ricavati dalla norma UNI 10380**

Ambiente	Attività	Lux medi			Tonalità	Resa di colore (ra')	Classe di qualità (g)
Acciaierie	Impianti di produzione senza intervento manuale	50	100	150	W, I	3	D
	Impianti di produzione con intervento manuale	100	150	200	W, I	3	C
	Postazioni di lavoro fisse	200	300	500	W, I	3	C
	Controllo piattaforme ed ispezione	300	500	750	W, I	3	B
Centrali elettriche	Locale caldaia	50	100	150	W, I	3	D
	Locale alternatore	150	200	300	W, I	3	C
	Ausiliari, pompe, serbatoi ecc.	50	100	150	W, I	3	D
	Sale controllo	200	300	500	W, I	2	B
Industria chimica	Processi automatici	50	100	150	W, I	3	D
	Impianti di produzione con interventi occasionali	100	150	200	W, I	3	D
	Sale controllo, laboratori	300	500	750	W, I, C	2	B
	Produzione farmaceutica	300	500	750	W, I, C	2	B
	Ispezione	500	750	1000	I, C	2	B

**Il basso** è indicato per attività che comportano necessità visive poco impegnative che comportano necessità di distinguere oggetti grossolani con forti contrasti. Il medio si riferisce ai casi più comuni, mentre l'elevato deve essere scelto quando la percezione di dettagli deve essere garantita anche con contrasti bassi.

In alcune situazioni, come ad esempio sulla postazione di lavoro, è necessario avere illuminamenti più elevati localizzati (**fig. 8**), in questo caso per progettare una illuminazione localizzata si devono limitare nel campo visivo eccessivi contrasti di luminanza: ciò si ottiene prevedendo illuminamenti localizzati non superiori a 10 volte l'illuminamento generale.

L'uniformità di illuminamento relativa alla illuminanza generale, deve prevedere uniformità non inferiori a 1/3 (0,33) nell'ambito dello stesso locale e di 1/5 (0,2) tra locali attigui: nel campo visivo relativo a determinati compiti, come ad esempio per una postazione di disegno l'uniformità non deve essere inferiore a 4/5 (0,8).

La tonalità di colore è indicata con le sigle W, I, C.

La resa del colore è indicata con la sigla di gruppo CIE.

Dalla classe di qualità dipende la limitazione dell'abbagliamento. La qualità dell'illuminazione misura l'idoneità a svolgere correttamente compiti visivi più o meno impegnativi secondo i criteri sintetizzati nella **tabella 12**.

La limitazione dell'abbagliamento è indicata nelle curve limite di luminanza in funzione dell'angolo di vista a compreso tra 85° e 45° (**fig. 8**).

**Tabella 12 - Classi di qualità ai fini della limitazione dell'abbagliamento**

Classe	Grado di abbagliamento ammesso	Compito visivo	Esempi
A	1.15	Molto difficoltoso	Zone di lettura, scrittura, cucina, attività sportive rapide
B	1.5	Impegnativo	Negozi, magazzini, vetrine, aule scolastiche
C	1.85	Ordinario	Lavori grossolani, processi automatici, magazzini di materiale grossolano
D	2.2	Modesto	Aree di passaggio, scale, interventi occasionali
E	2.55	Molto modesto	Interni dove le persone si spostano, senza esigenze di guardare i dettagli

Per l'illuminazione degli ambienti interni esistono due famiglie di curve, rispettivamente riferite ad apparecchi con e senza superfici laterali emittenti. I punti fondamentali di queste curve sono sintetizzati nella **tabella 13**.

L'apparecchio di illuminazione è idoneo se la rispettiva curva di luminanza ha valore non superiore ai limiti indicati nella tabella precedente e la curva ha il senso indicato in **fig. 8**.

**Tabella 13 - Limitazione di luminanza degli apparecchi di illuminazione L (cd/m<sup>2</sup>)**

Classe di qualità	A				B				C				D				E				
	2000	1000	500	< 300	2000	1000	500	< 300	2000	1000	500	< 300	2000	1000	500	< 300	2000	1000	500	< 300	
Angolo a vista																					
*	85° - 75°	1100	1700	2050	3100	1700	2050	3100	5400	2050	3100	5400	9700	3100	5400	9700	18000	5400	9700	18000	38000
	45°	3000	4400	11000	35000	4400	11000	35000	4000	11000	35000	40000	40000	35000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000
**	85° - 75°	950	1050	1400	1600	1050	1400	1600	1800	1400	1600	1800	2200	1600	1800	2200	3100	1800	2200	3100	4600
	45°	1800	2800	4800	10000	2800	4800	10000	21000	4800	10000	21000	40000	10000	21000	40000	40000	21000	40000	40000	40000

\* Apparecchi con superfici laterali emittenti

\*\* Apparecchi senza superfici laterali emittenti

Ad esempio, la curva di **fig. 8** è idonea alla classe A con illuminamento non superiore a 300 lx oppure alla classe B per illuminamento fino a 500 lx, per la classe C per illuminamento fino a 1000 lx e alla classe D ed E per illuminamento fino a 2000 lx.

## • DECADIMENTO DELL'EFFICIENZA

Con il trascorrere del tempo, l'efficienza degli apparecchi di illuminazione decade a causa della perdita di flusso delle lampade dovuto all'invecchiamento e per il deposito di polvere sui riflettori e sui diffusori.

Quando si fa un progetto illuminotecnico è necessario riferirsi a dati di apparecchi invecchiati, pertanto è necessario prevedere il degrado in percentuale del flusso riferito al momento dell'installazione. Per esempio, se in un apparecchio di illuminazione, con rendimento del 90%, si installa una lampada da 4000 lm, se l'ambiente è polveroso ed è previsto un intervento di manutenzione ogni due anni, il decadimento globale di efficienza è di circa il 55%: il flusso utile da considerare ai fini del calcolo dell'illuminamento sarà di 1980 lm (4000x0,9x0,55). Per intervento di manutenzione si intende il ricambio della lampada e la pulizia dei riflettori e dei diffusori.

## • DETERMINAZIONE DEL NUMERO DI APPARECCHI

### Metodo del flusso totale

L'unico metodo matematicamente esatto per calcolare l'illuminamento diretto è l'utilizzo della formula  $E=(I/d^2)\cos \alpha$  ricavando l'intensità luminosa dell'indicatrice fotometrica. Questo metodo, oltre ad essere molto laborioso, non dà risultati pratici soddisfacenti negli ambienti interni: infatti, in presenza di soffitto e pareti, i flussi riflessi non sono affatto di entità trascurabile.

Conviene utilizzare il metodo del flusso totale che si basa sulle seguenti considerazioni:

- L'effetto totale dei raggi diretti e riflessi produce una diffusione della luce scomponibile in flussi verticali
- Se le distanze fra i centri di illuminazione e fra questi e le pareti sono contenute entro certi limiti, il flusso verticale può ritenersi una frazione proporzionale al flusso totale uscente dalle lampade.
- L'illuminamento medio di una superficie orizzontale può ritenersi costante e determinato dal rapporto fra il flusso verticale e l'area della superficie in pianta del locale.

Definite queste considerazioni, che si possono accettare per vere in una proporzione vicina al 100%, il problema si può risolvere applicando una formula del tipo:

$$E_{\text{medio}} = \frac{\Phi_{\text{tot}} F_u M}{A}$$

Nella quale:

- $E_{\text{medio}}$  è l'illuminamento medio su un piano orizzontale posto a 1 m dal pavimento
- $F_u$  è il fattore di utilizzazione del flusso definibile come il rapporto fra il flusso incidente perpendicolarmente sul piano utile e il flusso totale installato
- $M$  è il coefficiente globale di invecchiamento
- $A$  è la superficie in pianta del locale

Tutto il problema consiste nel valutare correttamente il fattore di utilizzazione  $F_u$  che dipende:

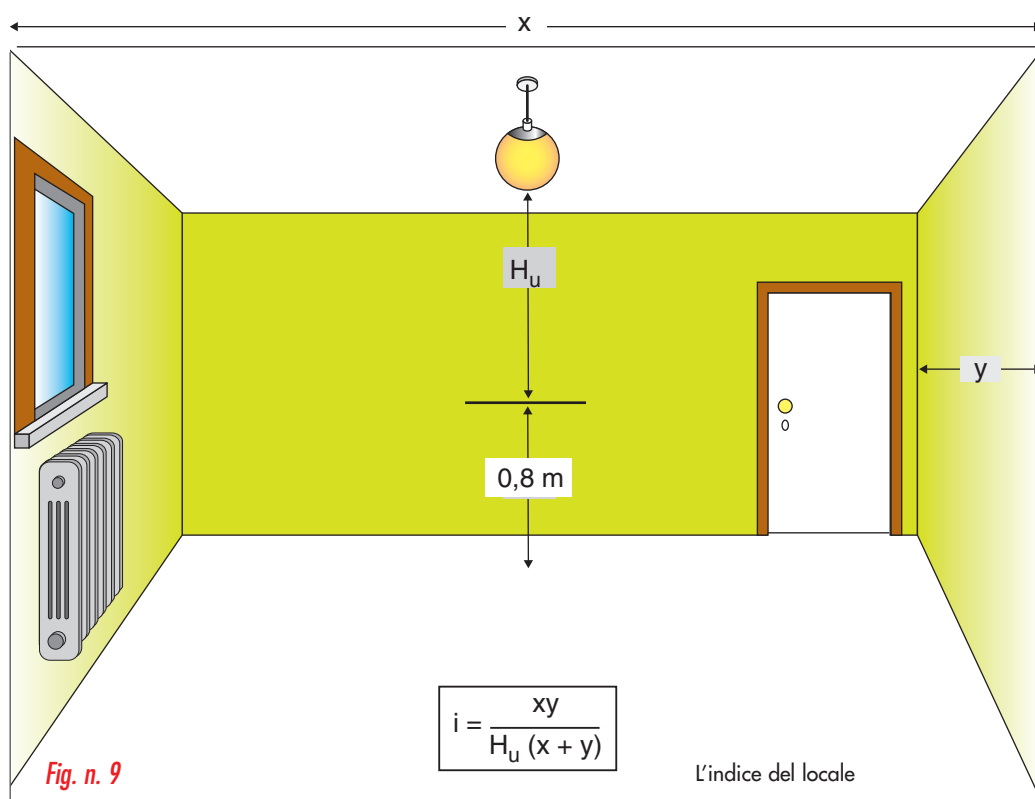
- dalla geometria del locale (*fig. 9*)
- dai coefficienti di riflessione delle pareti e dei soffitti
- dalla forma della indicatrice fotometrica

Esistono nella bibliografia illuminotecnica diverse tabelle che risolvono in modo pratico e il problema, che si basano sulle diverse standardizzazioni dell'indicatrice fotometrica.

Nella *tabella 14* riportiamo i fattori di utilizzazione relativi ad apparecchiature di illuminazione per lampade fluorescenti prive di diffusore e con riflettore a fascio largo.

**Tabella 14** - Coefficiente di utilizzazione riferito all'illuminazione mediante apparecchio per lampada fluorescente tubolare

Indice del locale	1	1.5	2	3	4	5
Soffitto 70% pareti 50%	0.39	0.54	0.64	0.73	0.78	0.81
Soffitto 70% pareti 30%	0.33	0.48	0.60	0.65	0.72	0.76
Soffitto 70% pareti 10%	0.27	0.43	0.54	0.63	0.67	0.70



#### Esempio di calcolo:

Calcolare il numero di lampade da installare in un ambiente interno largo 10 m, lungo 10 m e alto 4 m (altezza utile 3 m) per ottenere un illuminamento medio di 200 lx, considerando che ogni centro luce è costituito da un apparecchio per 2 lampade fluorescenti tubolari a giorno con flusso utile installato di 8000 lm, la cui indicatrice fotometrica è assimilabile a quella pertinente ai coefficienti di utilizzazione riportati nella Tabella. Pareti e soffitto sono tinteggiati in bianco (riflessione soffitto 70%, riflessione pareti 50%).

L'indice del locale vale:

$$i = \frac{10 \times 10}{3 \times (10 + 10)} = 1,66$$

La tabella fornisce i due valori 1,5 e 2, si assume prudenzialmente il più sfavorevole che è 1,5. Il fattore di utilizzazione  $F_u$  corrispondente vale 0,54.

La manutenzione viene effettuata una volta all'anno e l'ambiente è pulito, dopo un anno l'efficienza è di circa il 78% (fattore di invecchiamento  $M=0,78$ ).

$$\frac{E_{\text{medio}} = \Phi_{\text{tot}} F_u M}{A} \quad \text{da cui si ricava} \quad \Phi_{\text{tot}} = \frac{E_{\text{medio}} A}{F_u M} = \frac{20 \times 100}{0,54} = 47,619$$

Il numero di apparecchi di illuminazione si calcola dividendo il flusso totale così calcolato per il flusso installato in ogni apparecchio

$$n = \frac{47.619}{8.000} = 5,95 \text{ apparecchi}$$

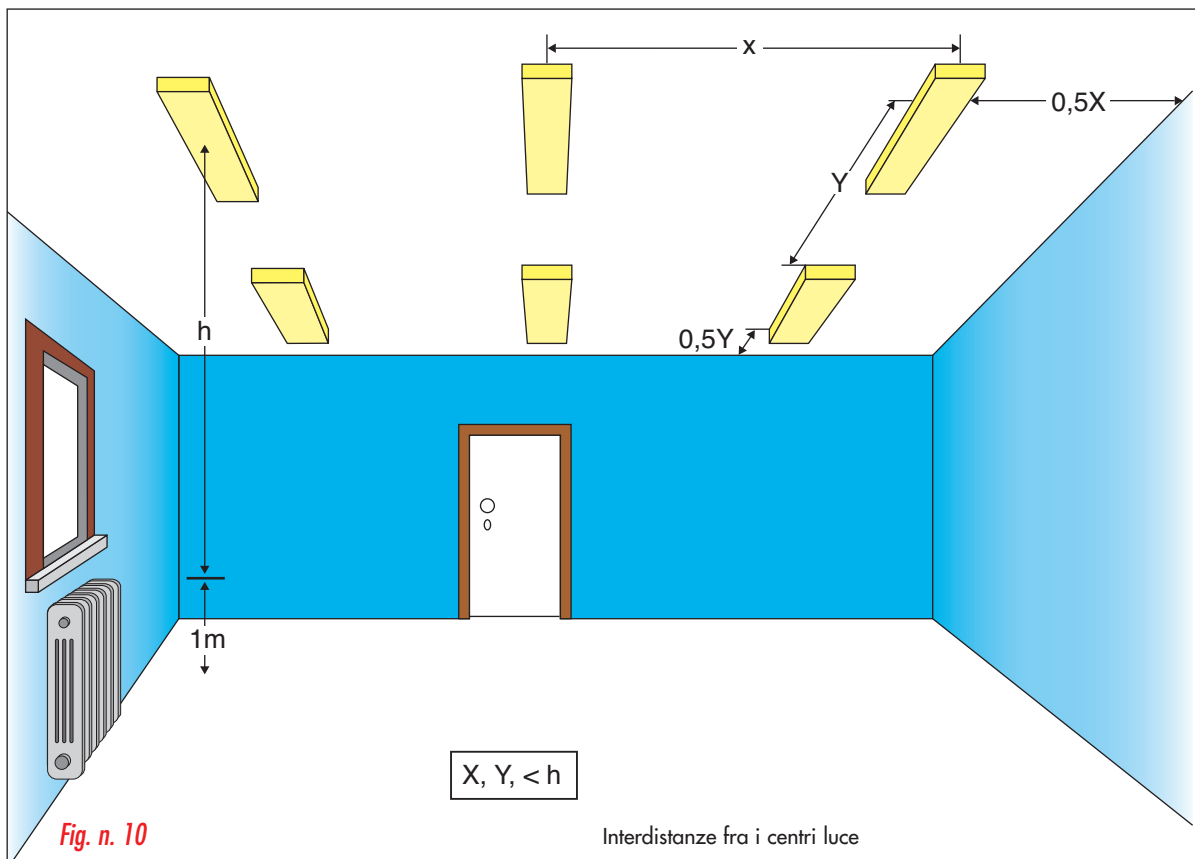
Il numero così trovato deve essere evidentemente arrotondato all'unità e adeguato alla geometria del locale tenendo presenti le esigenze di uniformità di illuminamento.

### • DISPOSIZIONE DEGLI APPARECCHI

La scelta di quanti apparecchi utilizzare e del loro posizionamento è dettata dall'esigenza di uniformare l'illuminamento in modo che il rapporto fra i lux minimi e i lux massimi, non sia inferiore, come abbiamo già avuto modo di vedere, a 0,33.

Utilizzando apparecchiature a fascio largo per illuminazione diretta, semi diretta o diffusa in prima approssimazione si possono applicare le seguenti regole (*fig. 10*):

- l'interdistanza fra gli apparecchi non deve essere superiore all'altezza utile (distanza misurata verticalmente tra la sorgente luminosa e il piano di riferimento che in genere è riferito a 80 cm dal pavimento).
- Per gli apparecchi periferici la distanza dalla parete riflettente più vicina non deve essere superiore alla metà dell'interdistanza fra gli apparecchi.



Questa regola è molto pratica e va applicata tenendo in debito conto le esigenze di simmetria.

Riprendendo l'esempio del paragrafo precedente, la simmetria si ottiene con 6 apparecchi di illuminazione interdistanti tra loro non meno di 3 m e dalla parete di 1,5 m. Si può notare come, mentre longitudinalmente la condizione è abbondantemente soddisfatta perché le lampade fluorescenti tubolari da 58 W sono lunghe 1,5 m, trasversalmente per coprire la larghezza di 10 m occorre adottare un'interdistanza di 3,33 m invece che di 3 m, ma simili approssimazioni sono più che accettabili.

Se volessimo fare quattro file anziché tre dovremmo utilizzare due apparecchi in più con emissione più bassa, per esempio bilampade da 36 W, 3000 lm. In questo caso il costo risulterebbe essere maggiore e quindi varrebbe la pena di sviluppare un calcolo di verifica dell'uniformità con il metodo delle curve isolux, come si vedrà più avanti.

Dato che la luminanza delle lampade fluorescenti tubolari è minore in senso longitudinale, nel progetto è preferibile prevedere la disposizione degli apparecchi nel senso della direzione di visuale prevalente.

## • CALCOLO DELL'ILLUMINAMENTO

### Metodo punto per punto

Il calcolo dell'illuminamento può essere sviluppato analiticamente utilizzando la formula già vista nella **fig. 3**.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

che si riferisce all'illuminamento diretto di una superficie perpendicolare al raggio di luce di intensità  $I$ , ricavando tale intensità dalla indicatrice fotometrica.

La proiezione di tale illuminamento su un piano orizzontale per un raggio con inclinazione  $\alpha$  rispetto alla verticale, vale  $I \cos \alpha$ .

Dato che  $d=h/\cos \alpha$  si ottiene la formula definitiva

$$E = \frac{I}{d^2} \cos^3 \alpha$$

Il metodo descritto è valido per luoghi dove possiamo trascurare la riflessione delle pareti, ma non può essere applicata per locali stretti, poiché la riflessione fa commettere errori significativi e il metodo è utilizzabile soltanto come supporto teorico.

Il metodo più rapido per determinare l'illuminamento lungo gli assi  $x$  (trasversale) e  $y$  (longitudinale) appartenente al piano orizzontale utile è quello misto grafico analitico:

- si riporta l'indicatrice fotometrica nell'angolo alto sinistro di un foglio  $e$ , in scala, alla distanza verticale  $H$  si traccia una linea orizzontale che rappresenta il profilo del piano orizzontale di riferimento;
- si gradua l'asse verticale in lux e nei punti di intersezione con i diversi raggi si tracciano i vettori  $E$  calcolati con la formula:

$$E = \frac{I}{H^2} \cos^3 \alpha$$

La linea che unisce i vertici di questi vettori è il diagramma dei lux lungo l'asse  $x$ .

Utilizzando l'indicatrice relativa all'asse  $y$  analogamente si ottiene il diagramma dei lux lungo l'asse  $y$ .

### • LE CURVE ISOLUX

I produttori delle apparecchiature di illuminazione riportano spesso sui loro cataloghi le curve isolux (riferite sempre a 100 lm) relative ad alcuni piani orizzontali tipici (per esempio per altezze utili di 1,5; 2; 2,5; 3 m). I lux effettivi si ottengono moltiplicando quelli indicati per migliaia di lumen installati.

Le curve si possono ricavare dalla indicatrice fotometrica segnando su due assi,  $x$  e  $y$ , i valori determinati con il metodo punto per punto e unendo con una curva ellissoidale i punti che hanno lo stesso valore.

Utilizzando le curve isolux è facile valutare l'illuminamento risultante dalla sovrapposizione dei flussi provenienti da più sorgenti.

Quando il contributo all'illuminamento è fornito da più di due centri luce, l'impiego delle curve isolux diventa problematico da fare manualmente, per fortuna al giorno d'oggi ci vengono incontro diversi software che effettuano i calcoli e la grafica in modo automatico.

### • DETERMINAZIONE DELLE INTERDISTANZE MASSIME

Con le curve isolux o con il metodo punto per punto si può valutare l'interdistanza massima tra i centri luce.

Si calcola l'illuminamento al piede con la formula  $E_0=I_0/h$

dove  $I_0$  è l'intensità luminosa in direzione verticale; oppure utilizzando le curve isolux si legge il valore in lux del punto di intersezione degli assi  $x$ ,  $y$ , l'interdistanza massima si ha in corrispondenza del valore di illuminamento  $0,17 E_0$  per 2 centri luce.

Il metodo è applicabile abbastanza facilmente anche per centri luce disposti secondo i vertici di un reticolo rettangolare; il punto centrale del rettangolo è quello al quale corrisponde sulla curva isolux il valore di illuminamento  $0,09 E_0$  con questo metodo alcuni punti perimetrali (che godono del contributo di due soli centri luce) potrebbero presentare un valore di illuminamento inferiore a  $0,33 I_0$  e, se questi punti sono importanti, occorre correggere il reticolo avvicinando ai muri i centri luce perimetrali.

