

Dispense di Illuminotecnica per i corsi di Fisica Tecnica di Carletti, Scurpi, Secchi

(Tratte dalla tesi di laurea di Roberto Bartolo "Progetto illuminotecnico della base antartica italiana avanzata", A.A. 1999-2000)

Natura della luce

Si può dire che la luce sia la coscienza dell'esistenza della realtà. Il mondo esiste in quanto lo sentiamo, lo tocchiamo ma soprattutto lo vediamo. Eppure la luce non è tangibile. La luminosità, il colore e quindi l'apparenza delle cose sono solo l'effetto prodotto sulla retina da una particolare forma di energia nota con il nome di radiazione elettromagnetica.

Ciò che realmente esiste è l'energia elettromagnetica, mentre la luce può essere definita un'invenzione del sistema costituito dall'occhio-cervello che cattura l'energia radiante emessa in un determinato intervallo di lunghezze d'onda per trasformarla in sensazione visiva.

Le onde elettromagnetiche sono una grande famiglia che comprende molte radiazioni, apparentemente diverse, come le onde radio o hertziane, i raggi ultravioletti, gli infrarossi e i raggi X.

Solamente una piccola parte delle radiazioni elettromagnetiche viene catturata dagli occhi e trasformata in immagini che ci permettono di conoscere ed interpretare la realtà che ci circonda. La luce quindi è energia raggiante. Si propaga nel vuoto in forma di onde elettromagnetiche o particelle, dette fotoni, alla velocità di circa 300.000 km/s.

Le onde elettromagnetiche possono avere una lunghezza d'onda che va dal milionesimo di millimetro sino a decine di metri, ma solamente una piccola parte viene trasformata dal sistema visivo in sensazione luminosa.

Le onde radio, i raggi X e Gamma, i raggi cosmici sono anch'esse radiazioni elettromagnetiche, della stessa natura della luce, ma non producono alcuna sensazione visiva sul nostro occhio.

Alcune di queste radiazioni producono altri effetti, che possono essere benefici, come è il caso dell'abbronzamento indotto da alcune radiazioni ultraviolette, ma anche dannosi, come è il caso dei processi degenerativi delle cellule provocati dai raggi X.

Le radiazioni elettromagnetiche sono caratterizzate da tre parametri:

- velocità di propagazione nel vuoto;
- lunghezza d'onda, ossia lo spazio percorso da un'onda per compiere un'oscillazione completa;
- frequenza, ossia il numero di oscillazioni nell'unità di tempo.

Il primo è un dato costante per tutte le radiazioni, gli altri due sono variabili.

Lo spettro delle radiazioni visibili non ha dei limiti ben precisi, in quanto la sensibilità dell'occhio umano varia da individuo a individuo.

Per questo motivo la sua estensione è stata fissata, per convenzione, nell'intervallo che va da 380 a 780 nm (1 nm (nanometro) = 1/1.000.000 m), confinato a sinistra dalle radiazioni ultraviolette (lunghezza d'onda inferiore a 380 nm) e a destra dalle radiazioni infrarosse (lunghezza d'onda superiore a 780 nm).

Lo spettro delle radiazioni visibili può essere a sua volta suddiviso in sei bande principali, ciascuna corrispondente ad una determinata sensazione cromatica:

380 - 436 nm: viola

436 - 495 nm: blu

495 - 566 nm: verde

566 - 589 nm: giallo

589 - 627 nm: arancio

627 - 780 nm: rosso

Queste radiazioni producono determinati effetti sul corpo umano che dipendono dalla lunghezza d'onda, dal tempo di esposizione e dalla quantità di energia irradiata.

Gli UV-A (raggi ultravioletti) provocano l'abbronzatura favorendo l'affioramento della melanina contenuta negli strati più inferiori dell'epidermide.

Gli UV-B stimolano la produzione di melanina che poi viene fatta affiorare dagli UV-A.

Gli UV-C sono quelli più dannosi, in grado di provocare lo sviluppo di forme tumorali.

Queste radiazioni, emesse dal sole, raggiungono la Terra, ma sono filtrate ed eliminate del tutto dall'ozono presente negli strati più alti, impedendo l'insorgere di patologie letali sugli organismi viventi.

Tutte le sorgenti luminose artificiali emettono radiazioni ultraviolette, in percentuale variabile a seconda della tecnologia di produzione della luce.

L'esposizione prolungata agli UV-B può causare eritema (la normale scottatura da esposizione prolungata al sole) e congiuntivite. Sulle materie plastiche e pigmenti può provocare alterazioni della struttura, screpolatura e scolorimento.

Proprio per questi motivi vi sono particolari lampade che emettono radiazioni ultraviolette e che trovano applicazione nella produzione industriale per simulare, in via sperimentale, gli effetti prodotti sui materiali dall'esposizione prolungata, l'invecchiamento e per verificarne la resistenza.

Alcune lampade normalmente utilizzate per l'illuminazione generale degli ambienti emettono elevati quantitativi di radiazioni UV: è il caso delle lampade ad alogenuri. Per eliminare i pericoli di queste radiazioni è sufficiente utilizzare vetri trattati con opportuni strati filtranti applicati sull'apparecchio di illuminazione.

Effetto della luce sull'uomo

Circa l'80% di tutte le impressioni sensoriali sono di natura ottica e necessitano della luce come veicolo di informazioni. Ciò dimostra la straordinaria importanza della luce per l'uomo. La luce non solo trasmette attraverso l'occhio le informazioni ai centri della vista che si trovano nel cervello; ma, attraverso una particolare ramificazione di nervi influisce altresì sugli organi di regolazione del sistema neurovegetativo, che comanda l'intero ricambio e le funzioni dell'organismo.

Si comprende in tal modo perché una buona luce non solo facilita le funzioni del vedere e del riconoscere, ma aumenta anche lo stimolo lavorativo ed il benessere fisico accrescendo la capacità di concentrazione ed evitando la stanchezza precoce.

La maggior capacità di attenzione che ne deriva fa diminuire il pericolo di incidenti. Soprattutto quelli causati da banalità (i cui effetti possono costituire un notevolissimo impedimento al buon svolgimento del lavoro) regrediscono allorché viene migliorata l'illuminazione. L'effetto stimolante della luce si mostra anche in attività che con questa hanno poco o nulla a che vedere. È stato possibile dimostrare che una buona luce promuove capacità di attenzione, di pensiero logico nonché sicurezza e velocità nel calcolo. Aumentando l'illuminamento da 90 lx a 500 lx è risultato il seguente aumento delle prestazioni:

- capacità di attenzione 15%;
- pensiero logico 9%;
- sicurezza e velocità di calcolo 5%.

Migliorando le condizioni visive e diminuendo di conseguenza l'affaticamento ad esse legato, si ha (a seconda del tipo di lavoro) una notevole diminuzione degli errori e degli scarti.

Questi effetti derivati da una migliore qualità dell'illuminazione comportano in un'azienda un aumento veramente sorprendente delle prestazioni lavorative. L'aumento del livello di illuminamento è particolarmente vantaggioso per le persone anziane, poiché la necessità di luce aumenta con l'età.

La differenza nella necessità di luce per la medesima prestazione visiva tra una persona giovane ed una anziana è però, con elevati illuminamenti, inferiore che non con bassi livelli; con una buona illuminazione sussistono condizioni di lavoro equilibrate per giovani e vecchi. Infatti mentre un anziano di 60 anni per ottenere la stessa prestazione visiva di un giovane di 20 anni a 100 lx necessita di un illuminamento doppio, a 900 lx necessita soltanto un illuminamento di circa il 20% superiore.

L'illuminotecnica

Lo sviluppo dell'illuminotecnica è venuto insieme con quello delle sorgenti luminose artificiali. La progettazione della quantità e della qualità della luce in modo tecnico, programmato e non empirico è recente, anche se in realtà già con la cultura barocca, si può parlare di illuminotecnica, in quanto il legame esistente tra architettura e luce, intesa come elemento scenografico è molto profondo.

Si tratta, però, in questo caso, di un'illuminotecnica intuitiva, legata all'esperienza acquisita dall'artista-architetto e alla sua sensibilità. Del resto anche altre discipline estremamente tecniche, come la statica e la scienza delle costruzioni, vengono sviluppate nei loro fondamenti teorici solamente in tempi recenti.

Lo sviluppo sempre più intenso delle sorgenti luminose con la conseguente realizzazione di una gamma estremamente ampia di apparecchi di illuminazione hanno contribuito a trasformare una componente marginale del progetto in una disciplina completamente autonoma affrontata da specialisti.

L'illuminotecnica deriva i suoi principi fondamentali e le grandezze in gioco dalla fotometria, disciplina che studia la luce in funzione dello stimolo prodotto sull'occhio umano.

La realizzazione di un progetto d'illuminazione richiede un bagaglio di conoscenze di carattere non solo tecnico. In ogni caso, la lettura di un catalogo di sorgenti luminose, la scelta corretta del tipo di apparecchio di illuminazione da utilizzare in funzione dell'atmosfera luminosa da realizzare e l'analisi dei costi di gestione di un impianto, richiede la conoscenza di alcuni fondamentali concetti di base.

Le grandezze della luce

Queste sono le grandezze fondamentali da conoscere:

- a) flusso luminoso;
- b) intensità luminosa;
- c) illuminamento;
- d) luminanza.

a) Flusso luminoso - Simbolo: ϕ - Unità di misura: lumen (lm)

Questa grandezza indica la quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo (1 secondo) da una sorgente. Per energia luminosa si intende, per convenzione, quella emessa nell'intervallo da 380 a 780 nm. Per le lampade la normativa IEC prevede che la misurazione del flusso luminoso emesso venga effettuata dopo 100 ore di funzionamento.

b) Intensità luminosa - Simbolo: I - Unità di misura: candela ($\text{cd} = \text{lm} / \text{sr}$)

Indica la quantità di flusso luminoso emessa da una sorgente all'interno dell'angolo solido unitario (steradiano) in una direzione data.

Una sorgente luminosa puntiforme emette radiazioni della stessa intensità in tutte le direzioni, quindi il suo flusso luminoso si propaga uniformemente come generato dal centro di una sfera.

Le sorgenti luminose artificiali non emettono luce in modo uniforme in tutte le direzioni dello spazio, quindi a seconda della direzione considerata si può avere una intensità diversa. Un sistema pratico per visualizzare la distribuzione della luce emessa da una sorgente nello spazio consiste nel rappresentare le intensità luminose come vettori applicati nel medesimo punto, come raggi uscenti dal centro di una sfera.

I cataloghi degli apparecchi di illuminazione riportano spesso le curve fotometriche ossia le sezioni del solido fotometrico sui due piani principali, ortogonali tra loro, intersecati per l'asse di simmetria e rotazione.

La conoscenza della curva fotometrica è molto importante in quanto in base ad essa è possibile verificare che l'apparecchio di illuminazione scelto distribuisca la luce nel modo richiesto.

c) *Illuminamento* - Simbolo: E - Unità di misura: lux ($lx = lm / m^2$)

È il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una superficie e l'area della superficie stessa. In altre parole indica la quantità di luce che colpisce un'unità di superficie.

d) *Luminanza* - Simbolo: L - Unità di misura: candela / m^2 (cd / m^2)

È il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una superficie in una data direzione e l'area apparente di tale superficie. L'area apparente è la proiezione della superficie su un piano normale alla direzione considerata. In pratica indica la sensazione di luminosità che si riceve da una sorgente luminosa primaria o secondaria. (Si dice sorgente primaria un corpo che emette direttamente radiazioni; si dice sorgente secondaria un corpo che riflette le radiazioni emesse da una sorgente primaria).

È importante avere ben chiara la differenza esistente tra illuminamento e luminanza. Se la prima grandezza indica la quantità di luce, emessa da una sorgente, che colpisce la superficie considerata, la seconda indica la sensazione di luminosità che riceviamo da questa superficie; ciò vuol dire che su due superfici, una bianca e l'altra nera, possiamo avere lo stesso valore di illuminamento, ad esempio 500 lux, ma la sensazione di luminosità ricevuta, e quindi la luminanza, sarà completamente differente, in quanto quelle due superfici riflettono la luce in modo diverso. Nella progettazione illuminotecnica è necessario conoscere adeguatamente le une come le altre. L'efficacia di un progetto di illuminazione è il risultato ottenuto dallo sviluppo di due differenti analisi:

- quantitativa, data dalla determinazione del numero di sorgenti luminose e loro posizionamento;
- qualitativa, data dalla scelta del tipo di luce più adatto a svolgere una determinata attività e dalla sua distribuzione nello spazio.

La luce non è sempre uguale. Può essere più o meno bianca, fredda oppure calda.

I colori delle cose appaiono differenti, variando il tipo di sorgente luminosa utilizzata. Per giudicare e classificare le lampade da un punto di vista qualitativo vengono utilizzati due parametri molto importanti:

- e) temperatura di colore;
- f) indice di resa dei colori.

e) *Temperatura di colore*

La temperatura di colore, espressa in Kelvin (K)¹, è un parametro utilizzato per individuare e catalogare, in modo oggettivo, il colore della luce di una sorgente luminosa confrontata con la sorgente campione (corpo nero). Dire che una lampada ha una temperatura di colore pari a 3000 K, significa che il corpo nero, a questa temperatura, emette luce della stessa tonalità.

Le sorgenti luminose sono suddivise in tre gruppi, a seconda della temperatura di colore:

- da 3000 a 3500 K : colore bianco caldo;
- da 4000 a 5000 K : colore bianco neutro;
- da 5500 a 7000 K : colore bianco freddo.

La temperatura di colore non deve essere confusa con l'indice di resa dei colori, in quanto la prima indica il colore della luce emessa, ma non ci dice nulla riguardo la sua capacità di rendere i colori.

¹ La temperatura assoluta è basata sul Kelvin. La temperatura di fusione del ghiaccio (valore di 273,2 K) corrisponde a 0 gradi centigradi.

f) L'indice di resa dei colori

Esprime l'effetto prodotto da una sorgente luminosa sull'aspetto cromatico di un oggetto confrontato con quello ottenuto per effetto di una sorgente luminosa campione di pari temperatura di colore.

La sorgente campione, a rigore il corpo nero, è in pratica un metallo, al quale viene somministrata una quantità di calore crescente, portandolo all'incandescenza.

Aumentando la sua temperatura, cambierà di colore passando dal rosso cupo fino all'azzurro, passando per il bianco. L'illuminazione è legata profondamente al colore dei materiali.

Una superficie appare di un determinato colore, ad esempio il rosso, perché riflette le lunghezze d'onda corrispondenti al rosso assorbendone le rimanenti.

Un vetro trasparente colorato appare di un determinato colore perché si lascia attraversare dalle lunghezze d'onda relative a quel colore mentre assorbe o riflette tutte le rimanenti.

Se nello spettro di emissione della sorgente incidente non sono presenti le lunghezze d'onda del materiale osservato, il suo colore sarà alterato.

È quindi importante per avere una buona resa dei colori che nello spettro di emissione della sorgente luminosa siano presenti tutte le lunghezze d'onda, ciascuna con valori quantitativi equilibrati.

Caratteristiche ottiche dei materiali

Un raggio di luce che colpisce una superficie viene riflesso, diffuso, assorbito o trasmesso modificandosi per intensità, direzione e verso in funzione delle caratteristiche fisiche del mezzo intercettato.

Le caratteristiche ottiche dei materiali nei confronti della luce incidente sono espresse con i fattori di riflessione, trasmissione ed assorbimento.

La riflessione può essere speculare, diffusa oppure mista. Si dice "speculare" quando il raggio non viene modificato in intensità e l'angolo di riflessione è uguale a quello incidente.

Si dice "diffusa" quando il raggio incidente viene modificato in una serie di raggi di minore intensità uniformemente distribuiti con angoli di riflessione diversi da quello incidente.

Si dice "mista" quando sono presenti entrambi i tipi sopra descritti.

In genere i materiali che si utilizzano nella realtà pratica presentano una riflessione di tipo mista, con prevalenza della componente diffusa o della componente speculare.

Il *fattore di riflessione* di una superficie è dato dal rapporto tra flusso luminoso riflesso e flusso luminoso incidente e può andare dal 3, 4% nel caso di una superficie molto scura e polverosa, fino al 90% di una superficie liscia bianca.

Il *fattore di trasmissione* è dato dal rapporto tra flusso luminoso trasmesso e flusso luminoso incidente, riferito ad un determinato spessore del materiale in esame.

Il vetro chiaro ha fattore di trasmissione tra 80 e 90%. Il vetro smerigliato ha fattore di trasmissione tra 70 e 80%. Il vetro opalino ha fattore di trasmissione tra 55 e 70%. I suddetti dati variano, naturalmente, in relazione allo spessore del materiale, al tipo di lavorazione ed al tipo di composizione dello stesso.

L'aria di montagna, non inquinata e quindi priva di particelle in sospensione, ha un fattore di trasmissione estremamente prossimo al 100%, per spessori di qualche decina di metri. Il fattore di trasmissione dell'intero strato di atmosfera che avvolge il pianeta è di circa il 30%.

Sorgenti luminose artificiali: tecnologia e funzionamento

Le lampade attualmente esistenti si dividono in tre gruppi principali, a seconda del principio utilizzato per produrre la luce:

- incandescenza;
- scarica in gas;
- induzione.

La corrente elettrica nel primo caso rende incandescente un filamento metallico; nel secondo eccita una miscela gassosa, nel terzo genera un campo elettrico.

In tutti i casi viene provocata l'emissione di radiazioni, di cui solamente una parte visibile. La luce è composta da radiazioni con diversa lunghezza d'onda, ciascuna corrispondente ad un determinato stimolo visivo la cui somma dà luce bianca.

Le lampade emettono radiazioni in modo differente, secondo il tipo di tecnologia utilizzata.

Una sorgente ad incandescenza emette radiazioni luminose secondo uno spettro continuo, una sorgente a scarica secondo uno spettro discontinuo o a righe. Questo significa che, nel primo caso, nello spettro sono presenti tutti i colori, nel secondo alcune bande sono completamente assenti.

La conoscenza del flusso luminoso emesso da una lampada è un dato importante ma non sufficiente per conoscere le sue caratteristiche energetiche. Un'informazione più efficace si ottiene con l'*efficienza luminosa* che si esprime in lumen/watt (lm/W) e che indica il rendimento di una sorgente luminosa, ossia la quantità di luce prodotta da una lampada per un watt di potenza elettrica assorbita dalla lampada stessa o, con maggior esattezza, dal sistema lampada-alimentatore.

L'alimentatore, può essere il trasformatore di una lampada a bassissima tensione, oppure il reattore di una lampada a scarica; è un dispositivo elettromagnetico o elettronico che assorbe una certa quantità di potenza elettrica.

Per verificare l'economicità di un impianto è necessario tener conto di questo autoconsumo che può variare anche sensibilmente, in funzione delle caratteristiche qualitative dei componenti utilizzati.

Migliorare l'efficienza luminosa delle lampade è uno degli obiettivi principali dei fabbricanti di sorgenti luminose per fare fronte al continuo aumento del costo dell'energia elettrica.

La tecnologia sviluppata in questi ultimi dieci anni ha consentito l'ottenimento di miglioramenti significativi: l'efficienza luminosa delle moderne lampade a scarica è aumentata di circa trenta volte rispetto alla vecchia lampada ad incandescenza con filamento di carbone realizzata da Edison.

Ritornando alle tipologie delle sorgenti luminose possiamo affermare che soprattutto due sono importanti per l'illuminazione: le lampade ad incandescenza e le lampade a scarica.

Le lampade ad incandescenza sono radiatori per temperatura come in natura è il sole. Parte del calore prodotto dalla lampada viene emesso sotto forma di luce.

Le lampade a scarica invece sono radiatori per luminescenza come in natura è il fulmine. La luce emessa da queste lampade non è un sottoprodotto del calore, bensì è dovuta alla trasformazione diretta dell'energia elettrica in energia luminosa.

Le lampade ad incandescenza

Un conduttore, percorso da corrente elettrica e posto in un ambiente privo di atmosfera si riscalda, diventa incandescente e non brucia, emettendo radiazioni in gran parte infrarosse, in piccola parte visibili ed in quantità ancor più ridotta ultraviolette.

La quantità di luce emessa è tanto maggiore quanto più alta è la temperatura raggiunta. Questo è il principio che rende possibile il funzionamento della lampada ad incandescenza.

A guardarla, una lampada ad incandescenza è ben semplice. Un filamento metallico all'interno di un bulbo in vetro dove è stato praticato il vuoto ed immesso un gas inerte, azoto, argo o cripto che impedisce al filamento di tungsteno di bruciare.

Alla base della lampada, un attacco a vite, il cui nome è Edison, al quale sono saldate le due estremità del filamento, tutto qui. Basta avvitare la lampada, dare tensione, ed abbiamo la luce.

Generalmente, la temperatura di funzionamento delle lampade ad incandescenza va da 2700 a 2900 K. La quantità di luce emessa dal filamento della lampada è direttamente proporzionale alla temperatura di funzionamento.

In ogni caso la lampada ad incandescenza è, e sempre rimarrà, una sorgente di luce a bassa efficienza, ciò vuol dire che solo una piccola parte della potenza elettrica assorbita viene trasformata in luce, mentre la maggior parte diventa radiazione infrarossa, invisibile all'occhio umano, ma percepita come calore.

Il tungsteno di cui è costituito il filamento di una lampada ad incandescenza, portato ad alta temperatura incomincia a sublimare, andandosi a depositare sulla superficie interna del bulbo in vetro.

Questo fenomeno fisico è alla base dell'invecchiamento e della riduzione del flusso luminoso, in quanto il bulbo annerito lascerà passare una minor quantità di flusso ed il filamento, assottigliato a causa della sublimazione, si infragilisce e si spezza.

Le lampade ad incandescenza sono realizzate in diversi formati, distinti per potenza e caratteristiche fotometriche, oltre che per le diverse esigenze d'impiego.

Distinguiamo i seguenti tipi:

- con bulbo trasparente;
- con bulbo diffondente;
- con riflettore incorporato.
- per impieghi speciali (luminarie, semafori, frigoriferi, per illuminazione in serie);
- per irradiazione.



Lampada ad incandescenza (Doc. OSRAM).

a) Le lampade ad incandescenza con alogeni

Dalla volontà di migliorare le caratteristiche prestazionali della semplice lampada ad incandescenza nasce, negli anni sessanta, la lampada ad alogeni.

Le prime versioni sono a tensione di rete e con elevata potenza, pensate per applicazioni in esterno. Bisogna attendere il 1972 per vedere la nascita delle lampade ad alogeni a bassissima tensione, che apriranno la strada alla miniaturizzazione delle sorgenti luminose.

Queste lampade sono state concepite in modo da evitare la progressiva perdita di luce causata dall'evaporazione del tungsteno che costituisce il filamento. Nel gas che riempie la lampada vengono aggiunte piccole quantità di un alogeno (iodio, bromo) o di miscele di alogeni.

Questi gas si uniscono al tungsteno evaporato e tornano a depositarlo sul filamento dove l'elevatissima temperatura, liberando gli alogeni dal tungsteno, dà inizio a un ulteriore ciclo.

Le lampade ad alogeni hanno migliori caratteristiche prestazionali rispetto alle tradizionali lampade ad incandescenza:

- la durata passa da 1000 a 2000, 3000 ore;
- l'efficienza giunge sino a 25 lm/W;
- la temperatura di colore è più elevata, da 2900 a 3100 K a seconda dei tipi e si traduce in una luce più bianca e brillante;
- le dimensioni estremamente ridotte del corpo luminoso, quasi puntiforme, permettono una migliore utilizzazione della potenza luminosa ed un controllo ottimale del fascio luminoso.

b) Le lampade ad alogeni nude e con riflettore incorporato

Le lampade ad alogeni a bassissima tensione sono commercializzate nelle due versioni a lampada nuda o con riflettore incorporato.

Nel primo caso possono essere utilizzate a vista oppure all'interno di apparecchi di illuminazione dotati di riflettore per ottenere un fascio luminoso di determinata ampiezza.

Nel secondo caso la lampada, essendo dotata di riflettore, dovrà essere scelta in funzione dell'ampiezza del fascio luminoso e l'apparecchio di illuminazione nel quale andrà collocata ha la sola funzione di proteggerla e collegarla alla rete di alimentazione. Il riflettore può essere in alluminio oppure in vetro con trattamento della superficie riflettente (dicroico, dal greco: "due colori").

Nel caso di quello realizzato in vetro si tratta di una parabola in quarzo opportunamente trattata con l'applicazione in alto vuoto di strati di ossidi selettivi a determinate lunghezze d'onda: gli ossidi sono riflettenti alle radiazioni visibili, ma si lasciano attraversare dalla maggior parte della radiazione infrarossa.

Ne consegue che la luce emessa dalle lampade ad alogeni con riflettore dicroico, o più brevemente dicriche, è una luce più fredda, sia dal punto di vista termico che cromatico, priva del 66% della radiazione infrarossa emessa da una lampada ad alogeni con riflettore in alluminio di pari potenza.



Lampada alogena con riflettore incorporato (Doc. OSRAM).

2.6.2 Le lampade a scarica

Le lampade a scarica sono radiatori "a luminescenza", a differenza delle lampade ad incandescenza (normali o ad alogeni), che sono radiatori "termici".

Mentre nelle lampade ad incandescenza la radiazione viene emessa per effetto dell'alta temperatura raggiunta dal filamento, nelle lampade a scarica è provocata dagli urti reciproci di particelle, cariche elettricamente, di un gas o di un vapore.

Una lampada a scarica è costituita da un tubo di materiale trasparente di elevata resistenza termica e meccanica, alle estremità del quale sono saldati due elementi metallici, detti "elettrodi", a cui fanno capo i conduttori di alimentazione.

L'elettrodo positivo è detto "anodo", mentre l'elettrodo negativo è chiamato "catodo".

Nel tubo, preventivamente vuotato dell'aria atmosferica, viene introdotto un gas in quantità ben determinata ed eventualmente una piccola quantità di un certo metallo.

Le lampade a scarica hanno generalmente una durata assai più lunga delle lampade ad incandescenza anche se necessitano di una apparecchiatura ausiliaria per la limitazione della corrente e talvolta per ottenere una sicura accensione.

Per scopi di illuminazione generale esistono i seguenti tipi di lampade a scarica:

- a) lampade fluorescenti;
- b) lampade a vapori di mercurio;
- c) lampade a vapori di alogenuri;
- d) lampade a luce miscelata;

- e) lampade a vapori di sodio;
- f) lampade allo xeno;
- g) sistemi ad induzione.

a) Le lampade fluorescenti

Le lampade fluorescenti sono lampade a vapori di mercurio a bassa pressione; la scarica avviene in un tubo di vetro rivestito all'interno con polveri fluorescenti.

L'emissione di luce avviene soprattutto per trasformazione della radiazione ultravioletta emessa dalla scarica in vapori di mercurio in radiazioni visibili per mezzo delle polveri fluorescenti.

La scarica deve essere stabilizzata con un alimentatore (reattore). Per accendere la lampada è generalmente necessario preriscaldare gli elettrodi e fornire un colpo di tensione: questo si ottiene assai semplicemente per mezzo di uno starter inserito in parallelo sulla lampada.

Il maggior pregio di queste lampade è quello di avere bassa luminanza (intensità luminosa per unità di superficie), il che rende possibile, molto frequentemente, di evitare l'abbagliamento senza ricorrere a superfici diffondenti o schermanti interposte. Il flusso luminoso delle lampade fluorescenti dipende in modo assai rilevante dalla temperatura-ambiente a cui funziona la lampada. La situazione ottimale si ha tra i 20 e i 25 gradi centigradi. Quando la temperatura è inferiore o superiore, il flusso luminoso, e conseguentemente l'efficienza, diminuiscono.

La durata delle lampade fluorescenti è molto elevata: 7500 ore di funzionamento, in media, per accensioni di tre ore di durata. Questi valori vengono di molto superati quando il funzionamento avvenga con giusti valori di tensione, frequenza, corrente e temperatura e per accensioni meno frequenti.

Il colore della luce delle lampade fluorescenti può venire ampiamente variato scegliendo le opportune sostanze fluorescenti. I colori della luce definiti in sede nazionale (UNI o CIE) sono suddivisi in tre gruppi:

- colore 1: "luce diurna" con temperatura di colore 5500-7000 Kelvin;
- colore 2: "luce bianchissima" con temperatura di colore 4000-5000 Kelvin;
- colore 3: "tono caldo" con temperatura di colore 3000-3500 Kelvin.



Lampada fluorescente lineare Ø 16 mm (Doc. OSRAM).

b) Le lampade a vapori di mercurio

La radiazione prodotta dalla scarica in vapori di mercurio ad alta pressione è contenuta per la maggior parte nel campo del visibile.

La scarica ha luogo in un piccolo tubo di quarzo protetto da un bulbo di vetro.

Poiché lo spettro a righe della semplice scarica a vapori di mercurio porta ad una resa dei colori insoddisfacente, il campo dei colori spettrali mancanti, legati alle radiazioni rosse, viene completato

utilizzando una polvere fluorescente che riveste la parte interna del bulbo, la quale trasforma in luce una parte della radiazione ultravioletta. Lo spettro si arricchisce così anche di luce calda.

Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo alcuni minuti di accensione. La lampada si riaccende nuovamente dopo un periodo di raffreddamento di diversi minuti.

Le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione sono disponibili in una vasta gamma di potenze che va da 50 a 2000 W con flussi luminosi unitari che vanno da 2000 a 125.000 lm.

La temperatura-ambiente ha un'influenza apprezzabile anche sulle lampade ad alta pressione per quanto riguarda l'accensione.

Per l'innesco delle lampade a scarica sono infatti necessarie due condizioni:

un dispositivo (nella pratica può essere incorporato nella lampada o montato esternamente) che provoca l'innesco della scarica (per es. mediante il riscaldamento degli elettrodi, archi ausiliari, impulsi di tensione, ecc.);

una tensione a vuoto del sistema di alimentazione di valore tale da mantenere la scarica provocata dal dispositivo di innesco così da raggiungere il regime e mantenerlo e tale da superare il picco di tensione di riaccensione della lampada ad ogni semionda.

Le lampade a vapori di mercurio hanno tradizionalmente due grandi campi di applicazione: l'illuminazione industriale e quella stradale. Per il primo campo di impiego offrono diversi vantaggi come la semplicità del circuito di alimentazione, la concentrazione di flussi luminosi elevati in sorgenti di piccole dimensioni, la possibilità di utilizzazione in apparecchi con fascio di luce concentrato.

Nell'illuminazione stradale i vantaggi sopra indicati risultano ancora più importanti, soprattutto la concentrazione del flusso, che consente di ridurre il numero dei centri luminosi e quindi di ridurre fortemente le spese di installazione, dato l'elevato costo dei sostegni.



Lampada a vapori di mercurio (Doc. OSRAM).

c) Le lampade a vapori di alogenuri

Le lampade a vapori di alogenuri sono nate dal tentativo di migliorare la resa dei colori e l'efficienza luminosa delle lampade a vapori di mercurio. fondamentalmente la costruzione è analoga. Il tubo di scarica (di quarzo) contiene, però, oltre al mercurio e all'argo, che serve da gas di innesco (ossia ha la funzione di rendere possibile l'innesco dell'arco a freddo quando le altre sostanze contenute nel tubo di scarica sono condensate) anche altri elementi.

Tutte le lampade ad alta pressione (al mercurio, al sodio, ad alogenuri) richiedono un certo tempo per essere riaccese dopo che, per qualsiasi motivo, sono state spente. Normalmente questo tempo è di alcuni minuti per la lampada di piccola potenza e può arrivare fino a 15 - 20 minuti per le lampade di potenza oltre i 1000 W.

Questo avviene perché l'accenditore o comunque il dispositivo d'innesco è predisposto per accendere la lampada quando la sua pressione interna è quella che si ha a freddo. A caldo, invece, la pressione interna del tubo di scarica può essere anche dieci volte superiore a quella che si ha a freddo, per cui il sistema di innesco non riesce ad accendere la lampada.

Queste lampade si adattano all'illuminazione di locali di grandi dimensioni (al chiuso e all'aperto) dove è richiesta una perfetta resa dei colori e dove si vogliono realizzare forti risparmi di energia elettrica, come grandi magazzini, supermercati, sale conferenze, palestre, palazzi dello sport. Esse risultano particolarmente adatte anche all'illuminazione delle grandi aree all'aperto, ad uso industriale, campi sportivi, posteggi, garantendo un notevole risparmio energetico.

d) Le lampade a luce miscelata

Le lampade a luce miscelata sono un prodotto ibrido basato sulla tecnologia delle lampade a vapori di mercurio, a cui viene aggiunto un filamento ad incandescenza in serie al tubo di scarica.

Le lampade così realizzate presentano una luce detta appunto miscelata con una componente a spettro continuo tipica del filamento ad incandescenza.

Il vantaggio delle lampade miscelate sta nella loro facilità d'uso, dovuta al fatto che non è necessario alcun tipo di ausiliario elettrico (sostituito dal filamento interno alla lampada), per cui risulta possibile connettere la lampada su un comune attacco Edison.

L'efficienza e la durata di vita delle lampade a luce miscelata sono fortemente condizionate dalla presenza del filamento che inoltre le rende abbastanza sensibili alle variazioni della tensione, per cui ne risulta conveniente l'applicazione in quei contesti dove la facilità d'uso è più importante degli aspetti economici.

La forte quantità di luce e la temperatura di colore più elevata rispetto alle lampade a filamento, hanno creato una notevole diffusione di queste lampade per l'illuminazione residenziale (giardini, garage, ecc.).

e) Le lampade a vapori di sodio

Le lampade a vapori di sodio sono costituite essenzialmente da un tubo di scarica, ripiegato a U o rettilineo, alle estremità del quale sono montati due elettrodi: il tubo contiene sodio metallico, neon e xeno o una miscela di entrambi i gas e, in certi tipi, anche mercurio; il tubo di scarica vero e proprio è alloggiato a sua volta in un bulbo di protezione.

La luce delle lampade a bassa pressione è gialla e monocromatica, per cui tutti gli oggetti esposti alla loro luce appaiono di colore giallo più o meno intenso.

Rispetto alle altre sorgenti luminose l'efficienza luminosa è decisamente più elevata; in particolare l'efficienza massima la si ottiene quando la lampada funziona ad una ben determinata temperatura.

Le lampade a vapori di sodio richiedono un tempo iniziale d'accensione di alcuni minuti, però di solito, dopo le interruzioni di corrente, si riaccendono subito, o con un ritardo minimo.

Per le loro particolari caratteristiche, l'impiego delle lampade a vapori di sodio a bassa pressione è consigliabile dove occorre raggiungere un alto grado di visibilità con immagini a contorni molto netti e precisi e senza fenomeni di aberrazione cromatica, purché non sia necessaria la distinzione dei colori.

La resa dei colori, per quanto scarsa, è sufficiente praticamente per tutti gli impieghi dell'illuminazione stradale ordinaria, per cui possono essere convenientemente impiegate non solo per l'illuminazione in punti critici, ma anche dove si voglia disporre di una luce abbastanza gradevole.

Possono inoltre essere impiegate anche nell'illuminazione industriale sia di interni che di esterni, purché la resa dei colori non abbia molta importanza.



Lampada a vapori di sodio a bassa pressione (Doc. OSRAM).

f) Le lampade allo xeno

La luce delle lampade allo xeno è caratterizzata da una distribuzione dell'energia nello spettro praticamente identica a quella della luce diurna e non è influenzata dalle oscillazioni della tensione di rete. La resa dei colori è eccellente e corrisponde in tutto a quella della luce naturale. Le lampade si accendono istantaneamente e raggiungono immediatamente la piena emissione luminosa. Queste lampade richiedono, per il loro funzionamento, un alimentatore e un accenditore.

g) I sistemi ad induzione

I sistemi di illuminazione ad induzione utilizzano una tecnologia rivoluzionaria in cui l'energia ad alta frequenza viene indotta in un gas di mercurio ad alta pressione mediante una spirale a induzione. In questo processo si associano due tecniche ben note: la scarica in gas e l'induzione elettromagnetica. Il principio della scarica in gas utilizza la prerogativa che hanno gli atomi di alcuni elementi metallici di ionizzarsi sotto l'effetto di un campo elettrico dando luogo all'emissione di radiazioni ultraviolette. Quando queste ultime colpiscono una superficie coperta da uno strato di polveri fluorescenti determinano, a loro volta, l'emissione di radiazioni visibili. In un sistema d'illuminazione ad induzione, la ionizzazione degli atomi è realizzata grazie ad un campo elettromagnetico indotto da una corrente elettrica ad alta frequenza che circola in un'apposita bobina.

Tre componenti principali sono necessarie per il funzionamento del sistema: il bulbo entro cui avviene la scarica in gas, la bobina-antenna, il generatore elettronico, il cavo coassiale di collegamento all'antenna.

In sintesi nel sistema a induzione la luce viene generata a seguito del seguente processo: il generatore elettronico collegato alla bobina-antenna crea all'interno del bulbo un campo elettromagnetico che accelera gli elettroni presenti nel bulbo stesso e ne provoca la collisione con gli atomi di mercurio.

A seguito di tali collisioni una parte degli atomi di mercurio viene ionizzata e vale a mantenere la corrente di scarica mentre la restante parte viene eccitata per cui emette radiazioni ultraviolette. Tali radiazioni, dopo aver colpito lo strato di polveri fluorescenti che rivestono la superficie interna del bulbo, vengono trasformate in radiazioni comprese nello spettro visibile.

I filamenti e gli elettrodi tradizionali, fattori che normalmente costituiscono le principali cause di riduzione della durata della lampada nei sistemi di illuminazione tradizionali, sono assenti in questo processo.

E' per questo motivo che le lampade a induzione sono caratterizzate da una durata eccezionale (circa 60.000 ore di funzionamento pressoché prive di manutenzione).

Le prestazioni sopraelencate rendono questo sistema particolarmente adatto per i luoghi in cui è difficile accedere agli apparecchi di illuminazione e dove la sostituzione delle lampadine costituisce un'operazione costosa e pericolosa.

Ne sono alcuni esempi le stazioni, i centri commerciali, gli aeroporti, le gallerie, le insegne luminose, le strade, i ponti, i tralicci.

Gli apparecchi di illuminazione

Gli apparecchi illuminanti svolgono tre funzioni principali:

- controllano il flusso luminoso della lampada e lo dirigono nelle direzioni desiderate;
- evitano l'abbagliamento, schermando completamente la lampada nella direzione di osservazione e riducendo la sua luminanza ad un valore tollerabile;
- proteggono le lampade da danneggiamenti di carattere meccanico o chimico, garantiscono la sicurezza elettrica funzionale e quella contro i contatti accidentali (scosse elettriche).

A seconda della distribuzione del flusso luminoso, gli apparecchi illuminanti vengono suddivisi in cinque gruppi, che realizzano i seguenti tipi di illuminazione: diretta, semi-diretta, mista, semi-indiretta, indiretta.

Il *rendimento ottico* di un apparecchio d'illuminazione è determinato dal rapporto tra il flusso luminoso che esce dall'apparecchio illuminante e il flusso emesso dalla o dalle lampade funzionanti senza apparecchio.

La suddivisione degli apparecchi illuminanti con riferimento alla loro sicurezza avviene secondo tipi e classi di protezione. Questi tipi e classi sono in corso di definizione sia in sede internazionale sia in sede nazionale.

Gli elementi di controllo impiegati per convogliare e schermare la luce costituiscono le parti attive degli apparecchi d'illuminazione. Essi sono:

- *i riflettori*, che consentono di proiettare al di fuori dell'apparecchio due fasci di luce sovrapposti, provenienti l'uno direttamente dalla lampada, l'altro riflesso da una superficie a sezione circolare, parabolica, ellittica, iperbolica ecc., denominata appunto riflettore. Il più delle volte essi realizzano le ripartizioni desiderate senza ricorrere all'impiego di altri elementi di controllo;
- *i rifrattori*, che si impiegano quando il solo riflettore non è sufficiente per controllare il flusso in corrispondenza della superficie di emissione. Essi sfruttano un fenomeno che va sotto il nome di "riflessione totale interna" e consistono generalmente in coppe o pannelli lisci da una parte e dotati di prismi conici o piramidali sull'altra;
- *i diffusori*, attraverso i quali si può aumentare la dimensione apparente della sorgente in modo da ridurre la luminanza della lampada. Essi sono costruiti con vetro opale o plastiche opportunamente trattate (ad esempio polistirene, acrilico): talvolta sono realizzati con carta pergamenata o con stoffe;
- *gli schermi*, che possono essere interni oppure esterni all'apparecchio d'illuminazione. Essi si identificano con deflettori, lamelle, nidi d'ape, alette o altro e fungono da recuperatori di flusso o da dispositivi antiabbagliamento;
- *i filtri*, impiegati in alcune applicazioni particolari, possono essere in vetro oppure in plastica, colorati oppure anti-UV/IR. Sono impiegati per ottenere luce colorata o per filtrare le componenti spettrali nocive quando si illuminano materiali deteriorabili;
- *le lenti*, con le quali è possibile concentrare, diffondere o sagomare l'impronta luminosa e conseguentemente modificare il solido fotometrico uscente dall'apparecchio.

Nella costruzione degli apparecchi illuminanti le superfici riflettenti sono impiegate tutte le volte che occorre intercettare una parte del flusso luminoso della lampada ed a concentrarlo in una direzione diversa da quella di emissione.

Il loro campo di impiego è perciò molto vasto andando dalle comuni apparecchiature per lampade ad incandescenza e fluorescenti, ai riflettori e ai proiettori veri e propri con le più moderne lampade a scarica in vapori metallici.

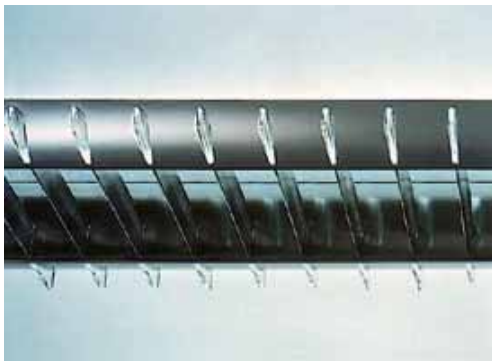
Per le superfici riflettenti degli apparecchi illuminanti si ricorre generalmente ai seguenti materiali:

- vetro argentato;

- alluminio trattato;
- lamiera di ferro smaltata o verniciata.

Il vetro argentato, pur avendo proprietà riflettenti superiori a quelle degli altri materiali citati, non è attualmente utilizzato su larga scala per il suo peso, la sua fragilità e la tendenza ad alterarsi sotto l'azione del calore e degli agenti atmosferici.

Notevole diffusione ha viceversa raggiunto, in questi ultimi anni, l'impiego della lamiera in alluminio; questo materiale, poco adatto a causa della scarsa resistenza agli agenti atmosferici, si è progressivamente imposto grazie al moltiplicarsi e al perfezionarsi dei procedimenti di trattamento superficiali. L'impiego della lamiera di ferro smaltata a caldo o verniciata a fuoco è ancora diffuso nella costruzione dei riflettori diffondenti; essa presenta una sufficiente resistenza agli agenti atmosferici, unita però a un notevole peso e una certa facilità a scheggiarsi o rigarsi.



a) *Zumtobel* , design Corona, Wilmotte; b) *Saturn*, design Foster & Partners.

I sistemi a condotti ottici

Tra i sistemi di illuminazione figurano quelli basati sulla conduzione o trasporto della luce. Si distinguono dai sistemi analizzati per la separazione fisica tra l'apparecchiatura in cui è installata la sorgente luminosa (chiamata comunemente *illuminatore* o *generatore*) e le componenti che erogano nell'ambiente la luce, componenti terminali dei condotti ottici.

L'illuminatore contiene una lampada, che può essere a ioduri metallici o alogena a bassa tensione, e delle parti ottiche le quali concentrano i raggi luminosi sulla sezione del condotto. In alcuni casi l'illuminatore può anche essere costituito da un captatore o collettore della luce naturale.

Tra questi due elementi la luce è trasportata in canali, tubi, condutture, guide, fibre o, con termine generale, in condotti ottici. Data questa separazione è opportuno rimarcare che nei condotti non transita energia elettrica, ossia non c'è differenza di potenziale elettrico, ma solo energia sotto forma di radiazioni luminose.

Le tipologie dei condotti ottici sono:

- condotti costituiti da materiali solidi o liquidi quali vetro, quarzo, tecnopolimeri, gel conformati (nel caso dei materiali solidi) a cilindro di piccolo diametro (nell'ordine delle frazioni di millimetri), filiformi e flessibili, raggruppati in fasci; ogni piccolo condotto così costituito fa capo da una parte all'illuminatore, dall'altra ad una componente terminale ottico-meccanica;
- condotti che si presentano come elementi tubolari cavi o pieni, con sezioni di varia forma (circolare, quadrata, rettangolare), andamento lineare o curvilineo, dimensione trasversale di alcuni centimetri, le cui pareti sono costituite con pellicole micro-prismatizzate (elementi cavi), ovvero conformate in modo tale da riflettere e diffondere le radiazioni luminose (elementi pieni).

Nel primo caso i condotti sono comunemente chiamati *fibre ottiche*, nel secondo canali o *guide di luce*. Il termine generale per entrambe è, come si è detto, *condotti ottici*.

Il primo dato che cambia riguarda le dimensioni. I sistemi a fibre ottiche sono in genere più piccoli e hanno ambiti di utilizzo assai vasti. Si possono illuminare micro-spazi in condizioni climatiche estre-

me, ma si può anche portare la luce in guisa di fili luminosi, su facciate e fronti di edifici per altezze di decine e decine di piani.

Le guide di luce si prestano anch'esse per un'ampia gamma di applicazioni, in ambienti interni ed esterni. Il sistema è più semplice, ma presenta generalmente ingombri maggiori. Dal punto di vista illuminotecnico, con i sistemi a fibre abbiamo una pluralità di piccole fonti luminose puntiformi da cui sono emessi fasci luminosi di determinate ampiezze, con i sistemi a guide l'elemento emettitore è sostanzialmente un diffusore di luce.

La radiazione luminosa all'interno della fibra si comporta nel seguente modo: un raggio di luce penetrando nel piccolo cilindro con una inclinazione data, se non risulta perfettamente parallelo all'asse del tubo, andrà a colpire la superficie del condotto cambiando due volte direzione, in entrata e in uscita, tornando poi a propagarsi nell'aria. In pratica all'interno del cilindro la radiazione avrà un percorso a zig-zag poiché essa subirà una riflessione totale ogni qualvolta incontrerà le pareti del condotto.

In questo modo la luce "viaggia" anche se, di volta in volta, si potranno avere delle dispersioni dovute a delle impurità che alterano localmente l'indice di rifrazione.

Questi dispositivi possono essere usati, oltre che come conduttori, anche come diffusori di luce introducendo ad arte queste impurità nei condotti.

Sfruttando il principio delle continue riflessioni, quindi, il condotto può essere, in un caso, sfruttato per trasportare energia luminosa dalla sorgente ad un luogo di utilizzazione; in un altro diventerà esso stesso luminoso.

Consideriamo ora quali concreti vantaggi offrono questi sistemi rispetto a quelli tradizionali basati su normali apparecchi di illuminazione. I vantaggi più consistenti discendono dalla caratteristica fondamentale indicata all'inizio: la separazione tra la fonte luminosa e i punti di erogazione della luce, e sono così sintetizzabili:

- i condotti ottici consentono di illuminare ambienti dalle dimensioni anche molto ridotte (micro spazi) oppure ambienti in cui siano presenti elementi o sostanze particolari (acqua, umidità, acidi, gas, vapori, sostanze infiammabili, inquinanti e corrosive) in assenza di campi elettrostatici, elettromagnetici e di effetti termici;
- si dimostrano adatti per illuminare oggetti con superfici sensibili alle radiazioni UV e IR (in particolare le opere d'arte e i manufatti artigianali) data la prerogativa di filtrare tali radiazioni;
- previo un accurato lavoro di progettazione, essi si integrano con elementi costruttivi, architettonici o di arredo diventando parti di questi da sottoporre a minime e localizzate (principalmente nell'illuminatore) operazioni di manutenzione, incrementando il loro grado di sicurezza d'uso;
- sono infine facilmente riutilizzabili e riciclabili nell'ambito di altre possibili integrazioni con un'ampia gamma di componenti e accessori, di tipo ottico e meccanico, costituenti i sistemi.

Introduzione al progetto dell'impianto di illuminazione

Il progetto dell'impianto di illuminazione ha lo scopo di determinare il numero, i tipi e le posizioni degli apparecchi da installare in un ambiente, tenendo conto delle caratteristiche del locale, di ogni specifica esigenza dell'utenza e degli aspetti di economicità, igiene, funzionalità ed eleganza. Il calcolo illuminotecnico, che verrà affrontato dettagliatamente nel capitolo finale, è ormai sempre più frequentemente condotto per via informatica; comunque in questo paragrafo si mettono in evidenza i requisiti fondamentali che vengono analizzati per realizzare il progetto dell'impianto di illuminazione con il metodo tradizionale.

a) Valore di illuminamento

Una buona progettazione deve prima di tutto prefiggersi lo scopo di garantire in ogni ambiente il giusto livello di illuminamento. I valori di illuminamento da adottare sono in relazione al tipo di atti-

vità prevista nell'ambiente e sono influenzati dal potere di assorbimento e di riflessione del flusso luminoso da parte dei materiali presenti nell'ambiente e dal loro colore.

L'illuminamento è inversamente proporzionale alla distanza della superficie illuminata: in altre parole l'illuminamento della superficie da parte della sorgente luminosa è tanto minore quanto più è grande la distanza della sorgente dalla superficie.

Lo sviluppo dell'elettronica applicata all'illuminazione sta modificando profondamente i tradizionali criteri di progettazione degli impianti.

Attraverso dispositivi elettronici e sistemi computerizzati di controllo è possibile variare il flusso luminoso emesso dai vari tipi di lampade adattandolo (e, se necessario, programmandolo nel tempo) al livello di illuminamento più indicato negli ambienti soggetti a funzioni complesse.

Il progetto dell'impianto di illuminazione viene dunque condotto tenendo conto del massimo livello di illuminamento previsto, affidando poi ai sistemi di controllo la funzione di modulare il flusso emesso.

Per regolare il flusso luminoso si impiegano potenziometri elettronici azionati da pulsanti oppure da variatori di intensità luminosa (dimmer) eventualmente collegati a cellule fotoelettriche che modulano l'intensità luminosa in funzione della quantità di luce proveniente dall'esterno.

b) Tonalità della luce

Determinato il valore di illuminamento in funzione del locale da illuminare occorre determinare la tonalità più adatta per le specifiche caratteristiche dell'ambiente. Le fonti luminose, sia naturali che artificiali, emettono luce di diversa tonalità a seconda della distribuzione spettrale della radiazione emessa dalla fonte.

Nella luce diurna sono presenti in misura pressoché uniforme tutti i colori dello spettro luminoso, dal blu al rosso, dalla cui miscela deriva un colore bianco neutro.

Le lampade a incandescenza sono invece caratterizzate da una emissione molto bassa verso il blu e progressivamente crescente verso il rosso, da cui deriva un colore giallastro, che viene percepito come caldo.

Ogni altro tipo di lampada offre un particolare spettro, la cui conoscenza è importante per la progettazione dell'illuminazione artificiale di un ambiente: negli ambienti particolarmente accoglienti si preferisce ricorrere a sorgenti di luce con prevalente emissione verso il rosso mentre negli ambienti dove occorre luce brillante e impersonale si utilizzano lampade con spettro luminoso simile a quello della luce diurna.

La tonalità della luce viene valutata attraverso la temperatura di colore. Le tonalità calde sono preferibili per bassi valori di illuminamento, mentre per quelli più elevati sono preferibili le tonalità fredde.

c) Indice di resa cromatica

Nella scelta del sistema di illuminazione, specialmente nei locali destinati ad attività particolari, occorre tener conto del fatto che tutte le fonti luminose alterano il reale colore degli oggetti. Ogni tipo di lampada è infatti contraddistinta, oltre che da una propria temperatura di colore, da uno specifico grado di resa del colore.

Fissato convenzionalmente pari a 100 l'indice di assoluta fedeltà di resa cromatica riferito alle lampade, la resa del colore delle fonti luminose, cioè il colore che si ottiene sugli oggetti, può essere classificata secondo un'apposita tabella.

d) Indice del locale k

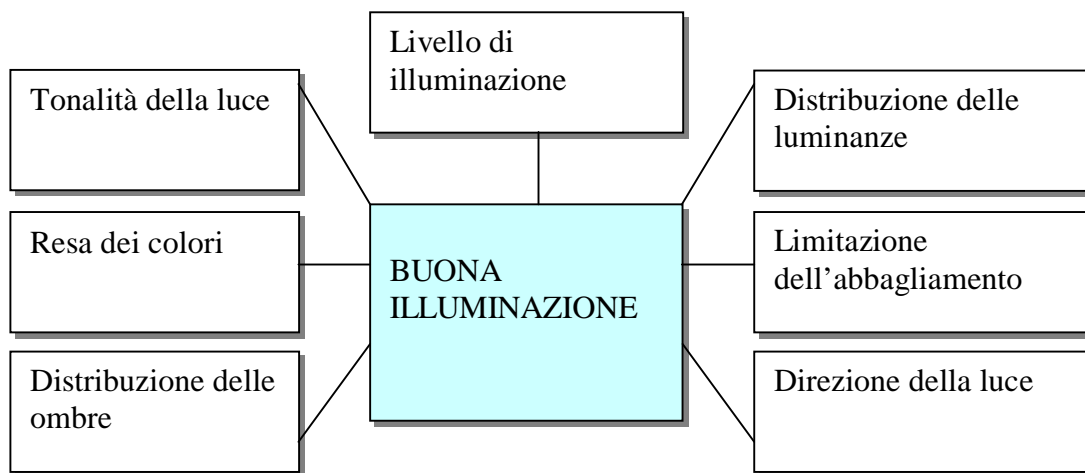
L'indice del locale è un coefficiente, solitamente indicato con k , che tiene conto delle dimensioni del locale da illuminare e dell'altezza della sorgente luminosa rispetto al piano da illuminare (piano di lavoro).

e) Fattori di riflessione, utilizzazione e manutenzione

Il *fattore di riflessione* è dato dal rapporto tra flusso luminoso riflesso e flusso luminoso incidente su una superficie (soffitto, pareti e piano di lavoro).

Il *fattore di utilizzazione* di un apparecchio per illuminazione è un coefficiente che viene fornito dalle case costruttrici mediante apposite tabelle. Esso viene ricavato per via sperimentale e indica il rapporto tra il flusso luminoso che giunge sulla superficie da illuminare (flusso luminoso utile) ed il flusso emesso dall'apparecchio.

Il *fattore di manutenzione* è il rapporto tra l'illuminamento prodotto da un apparecchio dopo un certo periodo e quello dello stesso apparecchio nuovo. Esso tiene conto della perdita di flusso luminoso che si verifica a causa dell'invecchiamento delle lampade e dell'insudiciamento dell'apparecchio e viene di norma fornito dalle ditte costruttrici. Anche la riduzione della capacità di riflessione delle pareti influisce sul fattore di manutenzione.



Componenti del progetto illuminotecnico (Doc. OSRAM).