

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA**



**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA
ELETTRONICA**

***Illuminazione privata: analisi di
componenti di impianti per
illuminotecnica***

Relatore: prof. Alvise Maschio

Laureando: Jari Giancesini

Anno accademico 2010-2011

INDICE

SOMMARIO

INTRODUZIONE

CAPITOLO 1 – L'ILLUMINAZIONE PRIVATA

- 1.1 - L'illuminazione privata
- 1.2 - Storia ed evoluzione delle sorgenti luminose

CAPITOLO 2 - CARATTERISTICHE DELLE SORGENTI LUMINOSE

- 2.1 - Caratteristiche quantitative
 - 2.1.1 – *Intensità luminosa*
 - 2.1.2 – *Il flusso luminoso emesso*
 - 2.1.3 – *L'efficienza luminosa*
 - 2.1.4 – *Illuminamento*
 - 2.1.5 – *Fattore di rendimento*
- 2.2 - Caratteristiche qualitative
 - 2.2.1 – *Luminanza*
 - 2.2.2 – *Temperatura di colore*
 - 2.2.3 – *Tonalità della luce*
 - 2.2.4 – *Resa cromatica*
- 2.3 - Altre caratteristiche
 - 2.3.1 – *La durata di vita media*
 - 2.3.2 – *Il decadimento luminoso*
- 2.4 - Caratteristiche ottiche dei materiali
- 2.5 – Normative

CAPITOLO 3 – LE SORGENTI LUMINOSE DISPONIBILI NEL MERCATO ILLUMINOTECNICO

- 3.1 - Introduzione
- 3.2 - Lampade a incandescenza
 - 3.2.1 - *Lampade a filamento nel vuoto*
 - 3.2.2 - *Lampade a ciclo di alogeni*
- 3.3 - Lampade a scarica a gas
 - 3.3.1 - *Lampade fluorescenti*
 - 3.3.2 - *Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione*
 - 3.3.3 - *Lampade a sodio a bassa pressione*
 - 3.3.4 - *Lampade a sodio ad alta pressione*
 - 3.3.5 - *Lampade a ioduri metallici*
- 3.4 - Lampade a induzione
- 3.5 - Lampade a luce miscelata
- 3.6 - LED

CAPITOLO 4 – COMPARAZIONI E CONFRONTI

4.1 - Consumo e risparmio energetico

4.2 - Confronto energetico generale

4.2.1 – *L'efficienza luminosa*

4.2.2 – *La durata di vita*

4.2.3 – *La temperatura di colore e l'indice di resa cromatica*

4.3 – Confronto economico

CAPITOLO 5 – CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

SITOGRAFIA

Sommario

In questa tesi si è cercato di confrontare le varie tecnologie usate nella costruzione delle lampade nell'illuminazione privata.

La ricerca é stata fatta elencando le caratteristiche delle varie sorgenti, spaziando da quelle tradizionali fino ad arrivare alla più recente tecnologia a Led.

Si tratta quindi di una sorta di indagine sulle varie lampade, valutandone vantaggi e svantaggi in termini di caratteristiche illuminotecniche e di consumi energetici ed economici.

Nel primo capitolo viene riportata una breve storia dell'illuminazione: dalla prima sorgente di luce usata, il fuoco, fino ad arrivare alla tecnologia recente dei Led. Vengono citate le tappe principali di questo graduale miglioramento delle tecnologie costruttive, attraverso esperimenti e scoperte di vari scienziati.

Nel secondo capitolo vengono descritte le principali caratteristiche illuminotecniche riscontrabili in qualsiasi tipo di lampada. Vengono suddivise in caratteristiche quantitative (es. efficienza), qualitative (es. resa cromatica), ottiche e altre di carattere generale (es. durata di vita). Vengono inoltre citate le normative applicabili nell'illuminazione privata che descrivono i criteri essenziali da rispettare in questo specifico ambito.

Nel terzo capitolo viene effettuata una panoramica delle varie tecnologie di lampade, per l'illuminazione pubblica e privata. Per ciascuna, vengono descritte le principali caratteristiche illuminotecniche, il principio di funzionamento e l'ambito di utilizzo.

Nel quarto capitolo vengono confrontate le varie tecnologie di lampade per l'illuminazione privata allo scopo di valutare, sulla base delle caratteristiche più importanti dal punto di vista del rapporto consumo/qualità, le migliori soluzioni esistenti nel mercato illuminotecnico.

Nel quinto ed ultimo capitolo vengono esposte le conclusioni a cui si é arrivati dopo il confronto tra le varie lampade descritte e comparate tra loro nei capitoli precedenti.

Introduzione

Dal lontano 1880, anno in cui fu illuminata artificialmente la prima abitazione privata, la lampadina ha fatto molta strada, illuminando le nostre notti e anche le nostre giornate, cambiando il volto delle nostre città, modificando radicalmente abitudini e bisogni. Per noi è difficile rendersene conto, ma il mondo dei nostri avi era un mondo piuttosto buio. Oggi, invece, circa l'80% di tutta l'energia elettrica che consumiamo nelle nostre case serve ad illuminare. Ma questi consumi possono essere ridotti fino al 20%, semplicemente usando lampade più efficienti e distribuendo meglio le sorgenti luminose.

I dati forniti dalle aziende di distribuzione dell'elettricità consentono di stimare il consumo dovuto agli apparecchi elettrici e all'illuminazione privata (utenze domestiche): a febbraio 2010 è stimato in 6.25 miliardi di kWh. A titolo di riferimento, si consideri che il consumo di elettricità sul territorio italiano per il 2009 è stato complessivamente pari a circa 26 miliardi di kWh.

Con una quota pari a quasi il 7% (circa 2 miliardi di kWh), gli apparecchi usati per l'illuminazione privata influenzano dunque in modo importante i consumi di elettricità.

L'entità dei consumi dipende da due fattori principali:

- l'efficienza energetica dell'apparecchio,
- l'utilizzo che l'utente ne fa.

Occorre considerare che l'evoluzione tecnologica che caratterizza il mercato garantisce una crescente efficienza energetica per i prodotti che ogni anno vengono messi in vendita: la diminuzione dei consumi dei singoli apparecchi avviene spontaneamente, in concomitanza con la sostituzione degli apparecchi obsoleti.

In questo contesto diventa quindi prioritario informare e sensibilizzare i consumatori affinché:

- essi siano in grado di fare scelte di acquisto mirate e non dettate dalla sola offerta di mercato;
- l'efficienza energetica diventi un criterio di acquisto tanto quanto la funzionalità e l'estetica, e il consumatore deve essere indirizzato nel modo giusto per far sì che sia in grado di riconoscerla (es. marchi, etichetta energia);
- il consumatore sia cosciente dell'influenza che il proprio comportamento può avere sui consumi di energia, in particolare in relazione alla gestione dell'apparecchio (es. elettrodomestici mantenuti accesi o in stand-by anche quando non si fruisce direttamente del loro servizio).

A livello nazionale non sono molti i provvedimenti, le campagne o i servizi che si orientano al tema dell'efficienza energetica di apparecchi e illuminazione privata.

CAPITOLO 1 – L'ILLUMINAZIONE PRIVATA

1.1 - Illuminazione privata

Per quanto concerne l'illuminazione privata, un impianto di illuminazione influisce sulla capacità visiva, sull'attività, sulla sicurezza e sul benessere delle persone.

Allo scopo di prevenire situazioni di disagio, gli impianti devono attenersi, in fase di progettazione e allestimento, ad alcune indicazioni.

Le indicazioni, fornite da apposite normative europee e nazionali, riguardano principalmente il livello e l'uniformità di illuminamento, la ripartizione delle luminanze, la limitazione dell'abbagliamento, la direzionalità della luce e il colore della luce resa.

Si deve inoltre tener conto, in fase di progetto, di parametri come le ore annue di funzionamento dell'impianto, il costo dell'energia elettrica consumata e il costo della manutenzione periodica.

1.2 - Storia ed evoluzione delle sorgenti luminose

La prima luce artificiale e' stata il fuoco che, invece di essere usato come sorgente di luce, inizialmente e' stato usato per riscaldamento, protezione dagli animali e per preparare il cibo.

Solo quando furono inventate le prime torce, fatte con rami di alberi resinosi, il fuoco cominciò ad essere usato come sorgente luminosa.



Le prime lampade ad olio, costruite in Grecia, risalgono al IV secolo a.C.; esse consistevano in pietre, corni e conchiglie, riempite con grasso animale e poi con grasso vegetale o olio (in genere olio d'oliva perché bruciava uniformemente e senza fumo). Fu poi aggiunto uno stoppino fatto di muschio o altre fibre vegetali.

Nel 2300 a.C. cominciavano a venire usate lampade di alabastro a forma di conchiglia; usate in tutto il mondo, rimasero immutate fino al XVIII secolo.

La candela fu inventata dai Romani dopo la nascita di Cristo. Le prime erano costituite da grasso animale solido o da cera di api. Le successive erano di qualità superiore, ma allo stesso tempo più costose. Si trovò una



soluzione intermedia nel XIX secolo quando fu usata la paraffina, ancora oggi utilizzata.

La rivoluzione industriale spinse a ricercare tecnologie nuove ed economiche nell'illuminazione, e questo diede origine a miglioramenti delle lampade ad olio già esistenti e all'invenzione delle lampade a gas prima ed elettriche dopo.

Nel 1847 lo scozzese James Young creò il primo olio di paraffina che sostituì velocemente l'olio vegetale.

Nel 1895, Welsbach realizzò una lampada ad olio di paraffina pressurizzata e dotata di un "mantello" incandescente.

L'esistenza del gas infiammabile era conosciuta da tempo, ma fu solo nel 1873, grazie al tedesco J. Minckelers, che fu sviluppato il primo sistema di illuminazione a gas di carbone. Negli anni successivi questa tecnica si espanse riducendo i costi dell'80 % rispetto all'uso di candele.



Un importante passo avanti fu fatto nel 1887.

Lo scienziato Welsbach riuscì nell'intento di migliorare la luminosità della fiamma del gas utilizzando del materiale solido che la fiamma riscaldava fino all'incandescenza.

Egli utilizzò un tubo di tessuto inzuppato in una miscela di sali di torio e cerio, e osservò che il tessuto bruciava lasciando una struttura fragile ma resistente al calore, a forma di mantello.

In poco tempo, questa lampada diventò una valida alternativa alla lampada a incandescenza, ritardandone per molti anni l'espansione.

Fu solo dopo la guerra del 1940-45 che l'illuminazione elettrica prese il sopravvento.



I primi esperimenti usando l'elettricità si devono all'inglese H.Davy, che nel 1802 portò all'incandescenza vari metalli con l'ausilio appunto della corrente elettrica. Nello stesso anno scoprì il principio dell'arco elettrico che permise, solo nel 1850, la realizzazione della lampada ad arco di carbone, perfezionata fino al 1900. Costosa ed ingombrante, essa veniva principalmente usata in grandi capannoni industriali anche per la sua elevata intensità luminosa.

Nel 1893, Jandus e Marks racchiusero l'arco elettrico in un'ampolla diminuendo drasticamente il consumo di carbone. Le prime applicazioni di questa lampada furono applicate in teatri e successivamente nei fari.

Nello stesso periodo si sviluppò la lampada ad incandescenza, inizialmente utilizzando un filamento di carbone (la produzione iniziò nel 1891 con Gerard Philips) e successivamente sostituito con un filamento di tungsteno (1907).

Dal 1924 si cominciò a creare lampade a scarica nei vapori di mercurio a bassa pressione.

Nel 1935 comparve la prima lampada fluorescente tubolare.

Nel 1961 fu inventata la lampada a vapori di mercurio ad alta pressione con l'aggiunta di alogeni, dando luogo alle lampade ad alogenuri.

Nel 1964 comparvero le prime lampade a vapori di sodio ad alta pressione.

Negli ultimi decenni sono state introdotte nuove tecnologie quali fibre ottiche e LED.

CAPITOLO 2 - CARATTERISTICHE DELLE SORGENTI LUMINOSE

2.1 - Caratteristiche quantitative

2.1.1 - Intensità luminosa

L'intensità luminosa indica la quantità di flusso luminoso emessa da una sorgente all'interno dell'angolo solido unitario in una direzione data (figura 1).

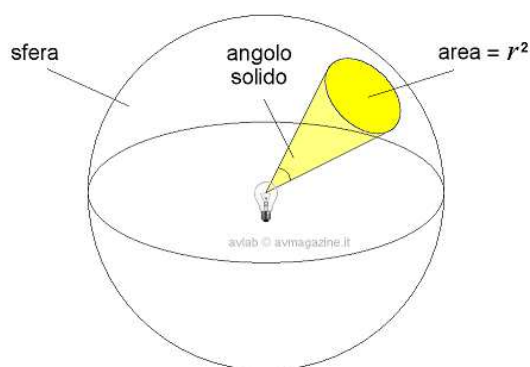


Figura 1

Viene indicata col simbolo I e la sua unità di misura è la candela ($cd = lm / sr$).

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. Al contrario le sorgenti luminose artificiali non emettono luce in modo uniforme in tutte le direzioni dello spazio, quindi l'intensità può variare a seconda della direzione considerata.

2.1.2 - Il flusso luminoso emesso

Il flusso luminoso rappresenta la quantità di energia luminosa emessa nello spazio da una sorgente nell'unità di tempo. Per energia luminosa si intende, per convenzione, quella emessa nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 380 e 780 nm.

Il flusso luminoso si identifica con il simbolo Φ , la sua unità di misura è il lumen (lm). Il lumen viene definito come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di intensità luminosa pari a 1 candela (cd) in tutte le direzioni.

Ad ogni radiazione di una determinata lunghezza d'onda corrisponde una sensazione visiva nell'occhio che si manifesta con un colore (figura 2):

- violetto ,da 380nm,
- blu (435nm÷500nm),
- verde (500nm÷565nm),
- giallo (565nm÷600nm),
- arancione (600nm÷630nm),
- rosso, fino a 780nm.

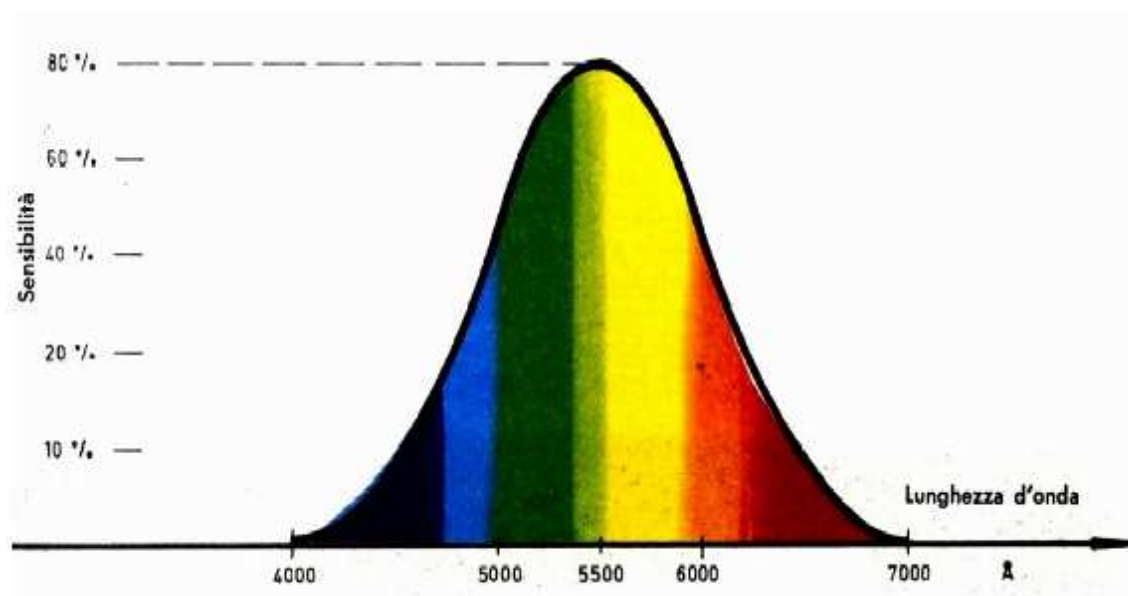


Figura 2

Come si può notare in figura, la radiazione che dà luogo al valore massimo di sensibilità visiva è quella relativa ad una lunghezza d'onda di 555nm.

Sfruttando la relazione che lega frequenza e lunghezza d'onda si può ragionare nel campo delle frequenze.

Sapendo infatti che $v = c / \lambda$, con c pari a 299.792,458 km/s (tipicamente approssimato a 300.000 km/s), si possono determinare in funzione della frequenza le soglie precedentemente citate in funzione della lunghezza d'onda. Si ottengono quindi:

- rosso ($3.8 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $4.7 \cdot 10^{15}$ Hz),
- arancione ($4.7 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $5 \cdot 10^{15}$ Hz),
- giallo ($5 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $5.3 \cdot 10^{15}$ Hz),
- verde ($5.3 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $6 \cdot 10^{15}$ Hz),
- blu ($6 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $6.9 \cdot 10^{15}$ Hz),
- violetto ($6.9 \cdot 10^{15}$ Hz ÷ $7.9 \cdot 10^{15}$ Hz).

I concetti appena descritti vengono ben rappresentati in figura 3.

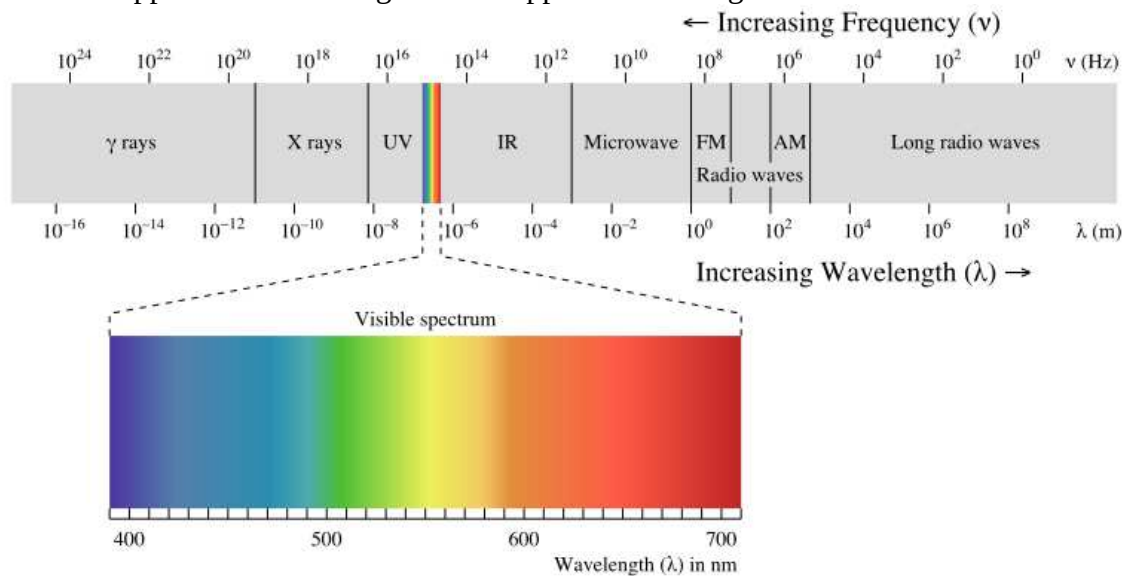


Figura 3

2.1.3 - L'efficienza luminosa

L'efficienza luminosa è il rapporto tra il flusso emesso dalla sorgente e la potenza impiegata per ottenere tale flusso. Si misura con il rapporto lumen su watt.

L'efficienza luminosa varia anche in relazione alla curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano: le lampade con maggiore efficienza, infatti, emettono energia radiante a lunghezze d'onda vicine alla maggior sensibilità dell'occhio (550 nm).

Questo parametro è importante nella stima del consumo energetico in quanto nelle lampade l'energia elettrica assorbita si trasforma in parte in forme di energia diverse dalla luce visibile, come radiazioni UV e calore.

2.1.4 - Illuminamento

L'illuminamento rappresenta la quantità di luce emessa da una sorgente presente su una superficie. Si misura in lux (lx) e viene indicato con il simbolo E.

L'illuminamento prodotto da un flusso luminoso di 1 lumen che cade in modo uniforme su una superficie di 1 mq è pari a 1 lux (figura 4).

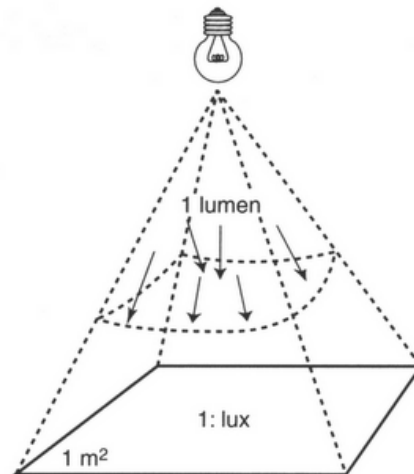


Figura 4

2.1.5 - Fattore di rendimento

Il fattore di rendimento dell'apparecchio di illuminazione costituisce un criterio importante per la qualificazione di un sistema di illuminazione in termini di efficienza di impiego dell'energia elettrica. Esso indica il rapporto tra il flusso luminoso emesso dall'apparecchio e il flusso luminoso della lampada utilizzata nello stesso apparecchio. Essendo il rendimento un rapporto tra due grandezze omogenee, esso è adimensionale e generalmente viene espresso in termini percentuali.

2.2 - Caratteristiche qualitative delle sorgenti luminose

2.2.1 – Luminanza

Le sorgenti luminose non sono mai perfettamente puntiformi, come viene assunto nella misurazione di flusso luminoso e intensità. La luminanza è il rapporto tra la quantità di intensità luminosa prodotta dalla superficie radiante e l'ampiezza della superficie radiante stessa così come viene percepita dall'osservatore posizionato ad un certo angolo rispetto alla perpendicolare della superficie (figura 5).

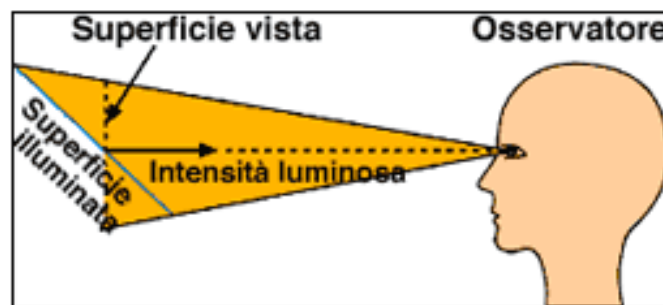


Figura 5

L'unità di misura della luminanza si esprime in candele per metro quadrato (cd/mq).

La luminanza di una sorgente di luce o di una superficie illuminata è determinante per la sensazione di luce percepita e per prevenire effetti fastidiosi; una luminanza troppo elevata rispetto alla luminanza media del campo visivo produce infatti l'*abbagliamento* (figura 6), un fenomeno che può rendere faticosa, o addirittura impedire, la visione.



Figura 6

Si distinguono due tipi di abbagliamento: abbagliamento debilitante, che consiste in un peggioramento istantaneo delle funzioni visive, e abbagliamento fastidioso, che si manifesta come un senso di disagio visivo che non sempre causa forti disturbi alla visione, ma che a lungo andare provoca fatica visiva, stress, difficoltà di concentrazione, riduzione della capacità di attenzione.

2.2.2 - Temperatura di colore

Si definisce temperatura di colore l'aspetto cromatico di una sorgente.

Così come una barra di ferro surriscaldata appare inizialmente di colore rosso e poi, all'aumentare della temperatura, tende all'arancione, al giallo e infine al bianco, allo stesso modo l'apparenza cromatica di una lampada dipende dalla sua temperatura.

La temperatura di colore indica quindi l'apparenza cromatica di un corpo nero radiante a quella temperatura e si esprime in gradi Kelvin.

Una lampada a incandescenza con luce bianca calda ha, ad esempio, una temperatura di colore di 2700 K, mentre una lampada fluorescente con luce simile a quella naturale in pieno giorno ha una temperatura di colore di 6000 K.



Il diagramma di Kruithof (figura 7) mette in relazione la temperatura di colore ed i livelli di illuminamento (lx). L'area evidenziata in bianco raccoglie le correlazioni giudicate soddisfacenti in termini di benessere.

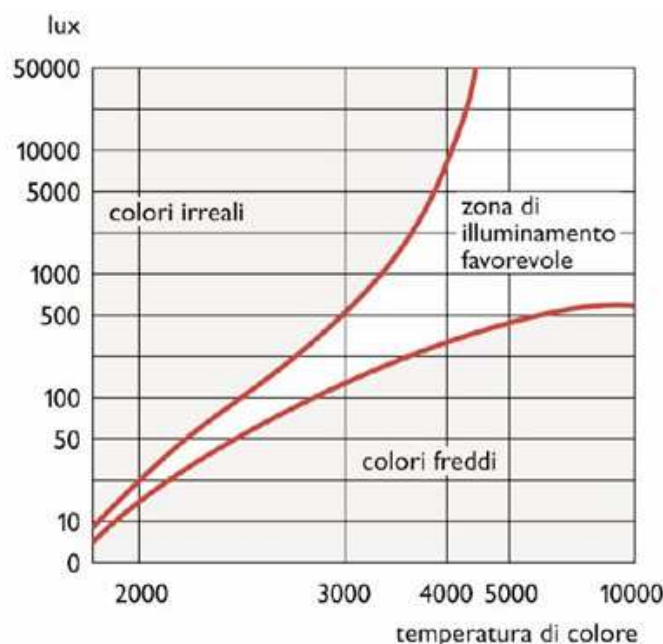


Figura 7

La curva di Planck (figura 8) rappresenta il luogo del corpo nero, ossia la curva delle coordinate tricromatiche caratteristiche della radiazione emessa da un corpo nero a diverse temperature.

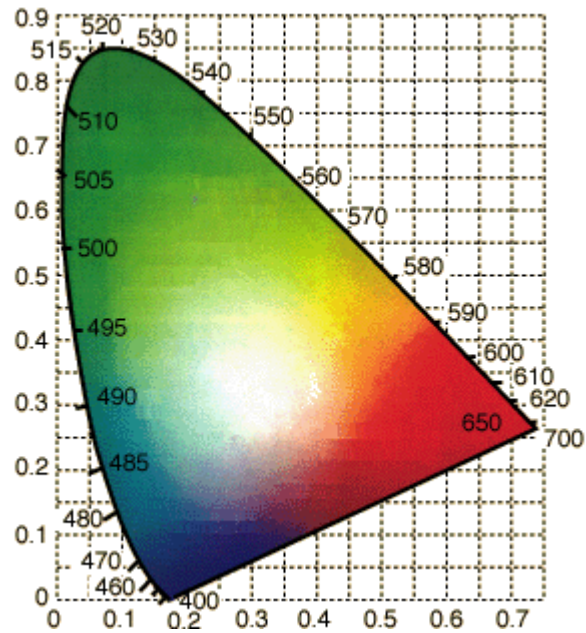


Figura 8

2.2.3 - Tonalità della luce

La tonalità della luce viene descritta molto bene tramite la temperatura di colore. In termini generali e in buona approssimazione, possiamo dire che più bassa è la temperatura di colore di una lampada più calda è la tonalità di colore.

Si possono distinguere i seguenti toni principali: tono caldo (temperatura di colore < 3300 K), tono neutro (temperatura di colore > 3300 K e < 5300 K) e tono freddo (temperatura di colore > 5300 K). Nonostante abbiano la stessa tonalità di luce, in funzione della composizione spettrale della loro emissione, le lampade possono avere caratteristiche di resa del colore molto diverse. Per bassi livelli di illuminamento si dovranno scegliere colorazioni di lampade calde, per alti livelli di illuminamento colorazione di lampade relativamente fredde.

2.2.4 - Resa cromatica

La resa cromatica di una sorgente luminosa esprime l'aspetto cromatico con cui un oggetto appare alla luce della sorgente stessa. Il tipo di luce emessa infatti influenza il modo in cui il colore di oggetti e superfici viene percepito.

L'indice di resa cromatica (Ra) è compreso tra 0 e 100, dove 100 rappresenta la resa cromatica di una sorgente la cui luce non altera la percezione dei colori; è suddiviso in 6 categorie :

- | | | |
|--------------|-----------------------|-------------|
| • Grado 1A : | $90 \leq Ra \leq 100$ | OTTIMO |
| • Grado 1B : | $80 \leq Ra \leq 89$ | MOLTO BUONO |
| • Grado 2A: | $70 \leq Ra \leq 79$ | BUONO |
| • Grado 2B: | $60 \leq Ra \leq 69$ | DISCRETO |
| • Grado 3: | $40 \leq Ra \leq 59$ | SUFFICIENTE |
| • Grado 4: | $Ra \leq 40$ | SCARSO |

2.3 - Altre caratteristiche

2.3.1 - La durata di vita media

La durata di vita media viene definita come il numero di ore di funzionamento dopo il quale il 50% delle lampade di un valido e rappresentativo lotto, funzionante in condizioni stabilite, si spegne. Il test include sempre un ciclo di accensioni che varia in funzione del tipo di lampada.

La vita media viene comunemente chiamata anche vita utile e solitamente viene misurata in ore (h). Essa può variare a causa della temperatura ambiente, dello scostamento dalla tensione nominale, del numero e della frequenza delle accensioni e delle sollecitazioni meccaniche. Questi fattori incidono in maniera diversa a seconda delle caratteristiche della lampada in questione.

Si possono distinguere anche la vita tecnica individuale, che rappresenta semplicemente le ore di accensione dopo le quali il funzionamento cessa, e la vita economica, ossia il tempo dopo il quale il flusso emesso da un lotto di lampade è calato del 30%.

2.3.2 - Il decadimento luminoso

Il decadimento luminoso è un fenomeno che coinvolge tutte le lampade. Le cause sono diverse a seconda del tipo, ma per tutte esso comporta un abbassamento del flusso luminoso con l'andare del tempo di funzionamento e quasi sempre è accompagnato anche da un assorbimento maggiore di potenza e quindi diminuzione dell'efficienza. Questo valore viene calcolato sul valore di vita media di una lampada.

Il decadimento, nella maggioranza dei casi, si manifesta con un annerimento del vetro che ingloba il corpo emettitore di luce oppure con il degrado delle sostanze (per esempio gas di riempimento) attraverso le quali si ha l'emissione di luce.

2.4 - 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.

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 *fattore di assorbimento* è la misura della capacità di una superficie di assorbire l'energia incidente, cioè il rapporto tra energia assorbita ed energia incidente.

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

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 (figura 9);
- 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 (figura 10);
- si dice “mista” quando sono presenti entrambi i tipi sopra descritti (figura 11).

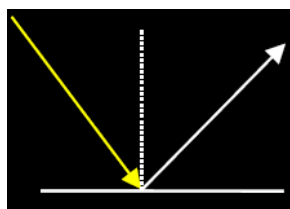


Figura 9

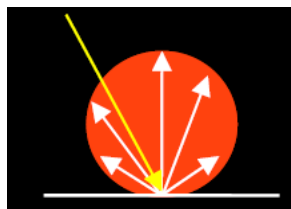


Figura 10

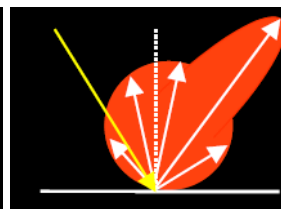


Figura 11

In genere i materiali che si utilizzano nella pratica per la costruzione di lampade presentano una riflessione di tipo mista.

2.5 - Normative

Per consentire alle persone lo svolgimento efficace ed accurato dei compiti visivi dovrebbe essere fornita un'illuminazione adeguata ed appropriata.

L'illuminazione può essere naturale, artificiale o mista. Il livello di visibilità e di comfort richiesti nella maggior parte dei posti di lavoro dipendono dal tipo e dalla durata dell'attività.

La progettazione di un impianto di illuminazione deve essere coerente con le *caratteristiche dell'ambiente* (dimensioni, forma, ecc.), la sua *funzione* (commerciale, produttiva, sanitaria) ed i *compiti visivi* degli utilizzatori.

Gli elementi da considerare sono:

- distribuzione delle luminanze,
- illuminamento e sua uniformità,
- abbagliamento,
- resa del colore,
- colore apparente della luce.



La normativa UNI EN 12464-1:2005, che sostituisce l'ormai ritirata ma forse più nota UNI 10380, è la versione ufficiale italiana della norma europea EN 12464-1 (edizione novembre 2002).

Fornisce le prescrizioni relative all'esecuzione, l'esercizio e la verifica degli impianti di illuminazione artificiale negli ambienti interni civili ed industriali, con esclusione di ambienti e zone per cui esistono specifiche normative. Si applica integralmente agli impianti nuovi ed alle trasformazioni radicali degli impianti esistenti. Stabilisce le modalità per scegliere, valutare e misurare le grandezze fotocolorimetriche necessarie per definire le caratteristiche di un impianto di illuminazione artificiale per interni.

Inoltre fornisce chiare indicazioni inerenti alla limitazione dell'abbagliamento diretto e di quello riflesso, alla determinazione dell'illuminamento medio degli ambienti di lavoro e all'uniformità di illuminamento.

CAPITOLO 3 – LE SORGENTI LUMINOSE DISPONIBILI NEL MERCATO ILLUMINOTECNICO

3.1 – Introduzione

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

- incandescenza
- scarica a gas

Lo schema di figura 12 fornisce una classificazione generale delle tradizionali sorgenti luminose:



Figura 12

Nel caso di lampade a incandescenza, la corrente elettrica rende incandescente un filamento metallico, mentre nel caso di lampade a scarica nei gas, la corrente eccita una miscela gassosa.

Vi e' inoltre un terzo caso, riguardante le lampade a induzione, nel quale la corrente 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 (figura 13).

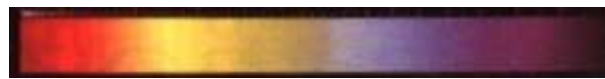


Figura 13

Una sorgente a scarica emette radiazioni luminose secondo uno spettro discontinuo o a righe (figura 14).



Figura 14

Questo significa che nel primo caso nello spettro sono presenti tutti i colori, nel secondo alcune bande sono completamente assenti.

3.2 - Lampade a incandescenza

Le lampade a incandescenza emettono radiazione luminosa per effetto del riscaldamento di un filamento metallico al passaggio di una corrente elettrica.

Queste lampade sono considerate “radiator per temperatura”, come in natura è il sole: parte del calore prodotto dalla lampada viene emesso sotto forma di luce.

Possono essere di due tipi: a filamento nel vuoto o a ciclo di alogeni.

3.2.1 - Le lampade a filamento nel vuoto



Le lampade a filamento nel vuoto, comunemente denominate *a incandescenza*, sono a tutt'oggi le sorgenti di luce artificiale più diffuse al mondo, dopo aver subito molteplici perfezionamenti tecnologici dall'anno 1879 in cui Thomas Alva Edison presentò la sua prodigiosa invenzione al pubblico convenuto a Menlo Park, nel New Jersey (USA). In realtà, Edison, senza togliere alcun merito all'eccezionale talento di inventore, sfruttò con molta abilità i risultati di studi ed esperimenti sull'emissione luminosa di filamenti percorsi da corrente elettrica, condotti da numerosi ricercatori a partire dai primi anni del diciannovesimo secolo. L'Inglese Joseph

Wilson Swann lo precedette (1878) nella costruzione di un prototipo funzionante di lampada con filamento di cartoncino bristol carbonizzato. La lampada presentata nel 1879 era costituita da un filamento di cotone carbonizzato collocato dentro un ampolla di vetro trasparente in cui era praticato il grado di vuoto che era possibile ottenere con gli strumenti dell'epoca, in particolare con la pompa aspirante a mercurio inventata da Herman Sprangel nel 1865. L'efficienza venne calcolata in $1,4 \text{ lm W}^{-1}$ e la durata fu di circa 45 ore.

Nonostante la lunga e continua evoluzione tecnologica del prodotto, il principio di funzionamento è rimasto sostanzialmente immutato: un metallo lavorato con procedimenti industriali e ridotto a sottilissimo filamento, inserito in un bulbo di vetro in cui è praticato il vuoto spinto e di cui si è provveduto al riempimento con una determinata quantità di gas inerti, è attraversato da corrente elettrica, continua o alternata, vicino al punto di fusione del metallo, con emissione di radiazioni luminose insieme ad una quota cospicua di radiazioni infrarosse e ad una piccolissima quantità di radiazioni ultraviolette. Il cuore della sorgente è il filamento metallico che oppone resistenza al transito della corrente elettrica. Il materiale di cui è costruito è stato oggetto di pazienti ricerche allo scopo di elevarne quanto più possibile il potere emissivo e la durata. E' noto che lo stesso Edison sperimentò i materiali più disparati; tra i metalli: il platino, iridio, il tungsteno; tra i materiali di origine organica: la carta, il cartoncino, il cotone, fibre di bambù, di palme, di varie piante erbacee provenienti da paesi esotici.

Nel 1903 l'americano William David Coolidge introduce l'uso del filamento di tungsteno, tuttora impiegato. Questo metallo presenta la caratteristica di incrementare la sua resistenza elettrica all'aumentare della temperatura. Un aumento della tensione elettrica di

alimentazione provoca un aumento della potenza dissipata (effetto Joule) e una temperatura superiore del filamento. Nella lampadina al tungsteno questo comporta un aumento della resistenza con conseguente diminuzione della potenza. Questo sistema è in pratica in grado, a differenza delle lampadine precedenti, di autocompensare l'instabilità della tensione di alimentazione (solo parzialmente).

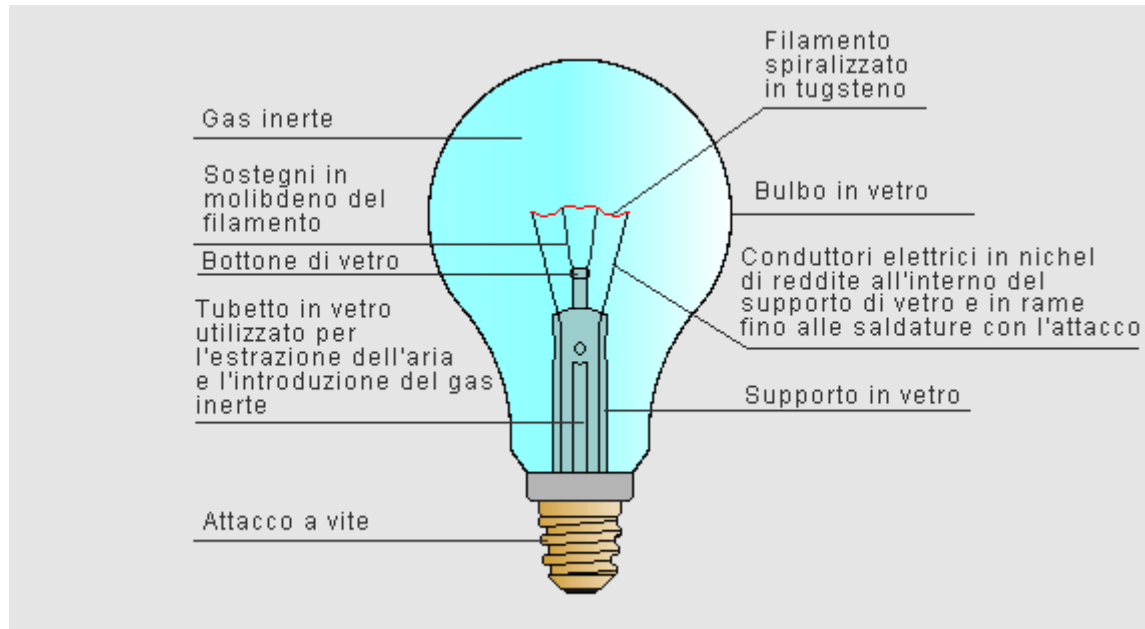


Figura 15: elementi costitutivi

Il filamento di tungsteno sottoposto alle alte temperature tende purtroppo ad evaporare e a depositarsi sulle pareti del bulbo con riduzione della quantità di luce emessa. Il fenomeno si ripete provocando l'assottigliamento progressivo del filamento che alla fine si spezza rendendo inutilizzabile la lampada.

Al momento dell'accensione della lampada, poiché il filamento è freddo e la sua resistenza è bassa, si determina un picco della durata di pochi decimi di secondo e del valore di 10-12 volte la corrente a regime.

L'UE sta ritirando gradualmente dal mercato le lampadine tradizionali a favore di una nuova generazione di luci a basso consumo energetico.

Una nuova normativa, in vigore dal 1° settembre, vieta a produttori e importatori di commercializzare nell'UE lampadine ad incandescenza trasparenti da 100 watt e più. Tuttavia, i negozi possono continuare a vendere le scorte rimaste in magazzino.

Finalizzato al risparmio energetico e alla lotta contro i cambiamenti climatici, il divieto sarà esteso nel settembre 2011 e 2012 alle lampadine a incandescenza meno potenti. Saranno gradualmente abolite anche le lampadine opache e quelle alogene ad alto consumo.

Entro il 2020 queste misure dovrebbero portare ad un risparmio energetico pari al consumo di 11 milioni di famiglie all'anno, e ad una riduzione delle emissioni di anidride carbonica di 15 milioni di tonnellate all'anno.

3.2.2 - Lampade a ciclo di alogeni



La lampadina alogena è una particolare lampada ad incandescenza, ma ci sono alcune fondamentali caratteristiche che la differenziano da quelle comuni. Al gas contenuto nel bulbo vengono aggiunti elementi alogeni come iodio, kripton, e a volte, xeno; ciò permette il

riscaldamento del filamento fino a oltre 3000 K, in modo da aumentare l'efficienza luminosa e spostare verso l'alto la temperatura di colore. Poiché il bulbo, per permettere la reazione chimica tra iodio e tungsteno, deve avere una temperatura non inferiore a 250 °C, viene utilizzato un vetro speciale (quarzo) ad alta resistenza.

L'inserimento di tracce alogene e la sostituzione del vetro con il quarzo nella realizzazione del bulbo consentono di raggiungere temperature più elevate, oltre i 3000 ° K, innalzare la temperatura di colore, migliorare il rendimento energetico e prolungare la vita media della lampada. Il tungsteno evaporato dal filamento infatti interagisce con il gas del bulbo creando una miscela gassosa, l'alogenuro di tungsteno, che in vicinanza del filamento incandescente si scinde nuovamente, ridepositando il tungsteno sul filamento. Questo processo (figura 16), detto ciclo alogeno, permette di raddoppiare la vita media della lampada a incandescenza e, in alcuni apparecchi, di estenderla fino a 4.000 ore.

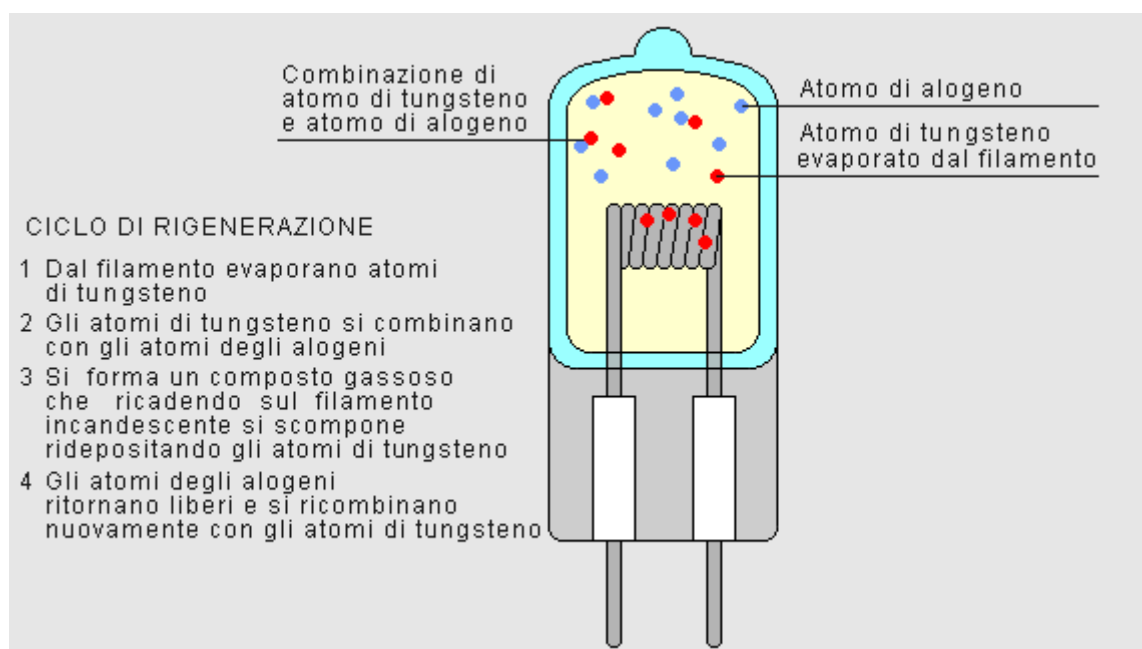


Figura 16: principio di funzionamento

La resa cromatica è ottima, la tonalità della luce emessa è bianca, brillante e molto intensa. Come per la normale lampadina, il processo di accensione e riaccensione è istantaneo, ma rispetto a questa, la sorgente alogena presenta molti altri vantaggi e maggiore versatilità. Consente infatti la regolazione del flusso luminoso e le dimensioni

possono essere molto più contenute, facilitando la sua applicazione in diversi sistemi di illuminazione. Sono disponibili sia apparecchi a bulbo semplice, con potenza elevata e alimentati con corrente di rete a 230 volt, sia lampade molto piccole, ideali per punti luce inseriti nell'arredo, a bassissima tensione (12 volt) con trasformatore di alimentazione.

Molto spesso le lampade alogene sono dotate di riflettore incorporato, che ne concentra il flusso luminoso, o di filtri dicroici. Le lampade dicroiche sono fornite di un filtro realizzato in un vetro speciale, trattato mediante applicazione di strati di materiali dielettrici e in grado di respingere una gamma di radiazioni determinata, a seconda dello specifico filtro montato. Il risultato di questa schermatura è un'emissione di luce colorata e una notevole riduzione del calore, che viene respinto verso il retro della lampada.

Il principale limite delle sorgenti alogene è infatti l'emissione di raggi ultravioletti che, oltre ad essere dannosi per l'occhio umano, possono causare il riscaldamento e il deterioramento degli oggetti illuminati. Questo problema è dovuto principalmente all'utilizzo del quarzo, materiale trasparente ai raggi ultravioletti, e viene parzialmente risolto con l'applicazione di una schermatura in vetro o, appunto, tramite i filtri dicroici.

L'impiego del quarzo comporta inoltre un'ulteriore cautela quando questi apparecchi devono essere maneggiati. Toccando il bulbo con le dita infatti, si causa il deposito di grassi sulla sua superficie e questi residui, una volta bruciati per la temperatura della lampada in funzione, causano l'annerimento del bulbo e, a lungo andare, il suo deterioramento.

3.3 - Lampade a scarica nei gas

Nelle lampade a scarica l'emissione avviene per effetto del processo di de-eccitazione degli atomi ionizzati di un gas indotto da una scarica elettrica tra due elettrodi.

Questi tipi di lampade sono “radiator 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.

3.3.1 - Lampade fluorescenti



Questo tipo di lampade, chiamate comunemente (ma erroneamente) al neon, appartengono al gruppo delle sorgenti a scarica. L'emissione luminosa avviene infatti in seguito alla scarica elettrica all'interno di un bulbo di vetro contenente dei gas (in genere argon o neon).

La definizione comune non è corretta perché di fatto la luce non viene emessa dal gas ionizzato,

ma dal materiale fluorescente che riveste la superficie del bulbo. La lampada fluorescente è costituita da un tubo in vetro che può assumere diverse forme, da quella tubolare dei primi modelli a quella circolare, dalle più recenti sagomature al classico bulbo. Questo tubo (figura 17), rivestito internamente da polveri di fosforo, contiene gas nobili e un piccolo quantitativo di mercurio liquido. Alle estremità si trovano i due elettrodi. La scarica elettrica, eccitando il mercurio, produce radiazioni ultraviolette che investono il materiale fluorescente di rivestimento, il quale, sollecitato a sua volta, emette la luce visibile.

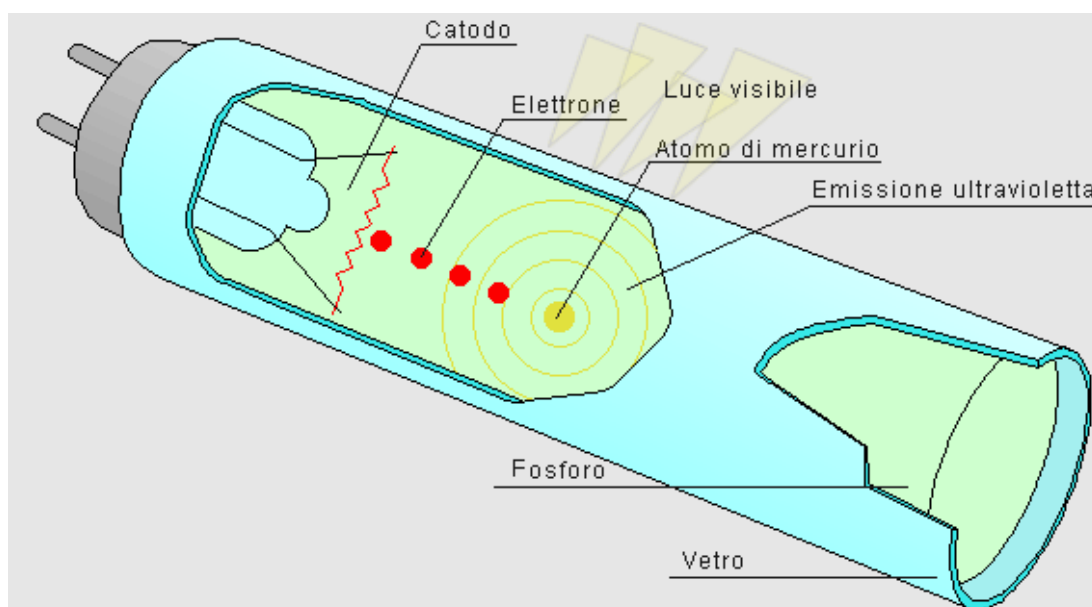


Figura 17

La qualità e la resa cromatica della luce emessa sono difficili da valutare complessivamente perché dipendono dalla composizione della miscela fluorescente. Gli apparecchi di recente concezione hanno molto migliorato gli standard qualitativi dei primi modelli e garantiscono buone prestazioni in termini di resa dei colori e tonalità della luce, sia calda che fredda.

I vantaggi delle lampade fluorescenti sono concreti, soprattutto in termini economici. Queste sorgenti infatti abbinano un ciclo di vita piuttosto lungo (dalle 15 fino alle 20 mila ore di durata media) a una grande efficienza luminosa. Sono dunque apparecchi adatti a qualsiasi applicazione nei sistemi di illuminazione della casa, per il risparmio energetico che consentono e per la loro disponibilità anche in dimensioni compatte e con attacco tradizionale a vite.

Lo sviluppo tecnologico e i nuovi dispositivi di alimentazione e innesco hanno inoltre permesso di eliminare molti dei limiti di cui risentiva in origine questo tipo di apparecchi. I moderni alimentatori elettronici hanno sensibilmente abbattuto i tempi di accensione e riaccensione e hanno eliminato il caratteristico ronzio dovuto alle vibrazioni del nucleo laminato del trasformatore così come l'altrettanto caratteristico effetto stroboscopico, tipici delle prime lampade a fluorescenza.

Le sorgenti fluorescenti rappresentano oggi una soluzione estremamente versatile per l'illuminazione di interni, dalle ottime prestazioni e molto efficiente dal punto di vista energetico. Alcune precauzioni vanno comunque considerate. Pur avendo una vita media molto maggiore rispetto alle sorgenti a incandescenza, bisogna tenere presente che la loro durata è influenzata dal numero di accensioni e spegnimenti, processi che comportano un'usura degli elettrodi. Sempre per questo motivo, nel tempo, il flusso luminoso emesso può diminuire, anche se di poco. Infine, un'ultima cautela: per il loro contenuto di mercurio, dopo l'uso, vanno raccolte e smaltite in modo differenziato, come previsto dalla direttiva della Comunità Europea per il recupero dei materiali elettronici, già recepita da molti paesi europei tra cui l'Italia.

3.3.2 - Lampade ai vapori di mercurio ad alta pressione

L'emissione luminosa delle lampade a vapori di mercurio è dovuta ai vapori contenuti in un tubo di quarzo che vengono ionizzati dalla corrente di elettroni e ioni che si produce tra due elettrodi. Essa avviene prevalentemente nell'ultravioletto. L'ampolla esterna della lampada perciò è ricoperta internamente di polvere fluorescente (in genere vanadato di ittrio o alluminato di ittrio) che trasforma le radiazioni ultraviolette in radiazioni ripartite abbastanza uniformemente nello spettro visibile. Il rivestimento funziona da convertitore di frequenza e trasforma la radiazione U.V., tipica della scarica del mercurio, in radiazione visibile.

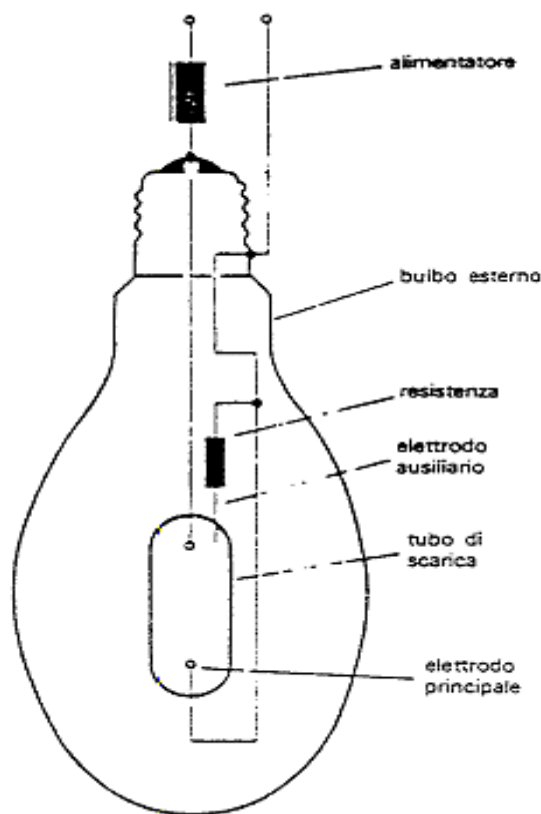
La differenza con la fluorescenza sta nella pressione molto maggiore del gas. Il flusso luminoso nominale è raggiunto dopo qualche minuto e in caso di spegnimento, sarà necessario un periodo di raffreddamento prima di una nuova accensione.

Era fortemente usata in passato grazie alla semplicità del circuito, ad una discreta durata e ad una buona efficienza luminosa attorno ai 30-60 lm/W. Attualmente è in disuso, ma vi sono ancora parecchi impianti vista la difficoltà e l'onerosità dello smaltimento a causa della presenza del mercurio.

Oltre ad una buona efficienza luminosa, le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione hanno consumi molto contenuti ed un'elevata affidabilità, ma al contempo possiedono una scarsa qualità della luce emessa.

Le lampade al mercurio non richiedono dispositivi di accensione, ma necessitano di un alimentatore.

Vengono impiegate soprattutto nell'illuminazione stradale e di stabilimenti.



3.3.3 - Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione



Le lampade ai vapori di sodio a bassa pressione sono costituite da un tubo ripiegato su se stesso a forma di U, riempito con una miscela di gas inerti (ad esempio neon) ai quali è aggiunta una certa quantità di sodio. Quando la lampada è fredda il sodio si deposita lungo il tubo in forma di goccioline, poi sotto l'effetto della scarica il sodio passa allo stato gassoso. Alle estremità del tubo sono fissati gli elettrodi rivestiti di sostanze in grado di emettere elettroni.

Il tubo è munito di prominenze che fungono da pozzetti di raccolta del sodio e da "punti freddi" per neutralizzare la tendenza del sodio a trasferirsi verso la curvatura del tubo durante la condensazione. Per ridurre la quantità di calore trasmesso all'esterno, il tubo ad U viene racchiuso in una ampolla di vetro nella quale è praticato il vuoto.

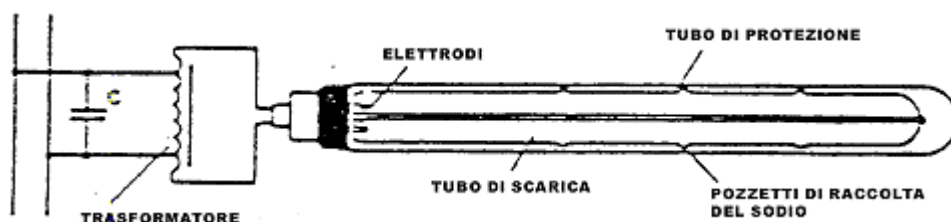


Figura 18: elementi costitutivi

Queste lampade hanno dei livelli imbattibili di efficienza luminosa (fino a 200 lumen/watt) ed emettono una caratteristica luce monocromatica, con tonalità molto calda, tendente al giallo-arancione. A causa della bassissima resa cromatica, sono adatte soltanto nei contesti in cui il risparmio energetico è di primaria importanza rispetto alla qualità nella percezione dei colori. Un altro vantaggio consiste nella lunga durata.

Per funzionare hanno bisogno di un sistema di alimentazione, che può essere di diversi tipi. In particolare, gli alimentatori elettronici ad alta frequenza offrono un ulteriore risparmio energetico (fino al 30%) rispetto all'utilizzo di alimentatori tradizionali.

Oltre al fatto di possedere una bassissima, se non nulla, resa cromatica, questo tipo di lampade presenta un ulteriore problema in fase di accensione, che risulta significativamente lenta.

Trovano applicazione in tutti i contesti in cui si deve puntare alla massima economicità in fase di esercizio e in cui non è richiesta alcuna qualità alla luce emessa. Questo è il caso ad esempio di un certo tipo di illuminazione stradale (parcheggi, gallerie, svincoli autostradali) e industriale (depositi, magazzini), mentre non trovano pressoché alcuna applicazione nei settori del residenziale, del commerciale e del terziario.

3.3.4 - Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione



Le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione costituiscono l'evoluzione della tecnologia ai vapori di sodio a bassa pressione. Rispetto a queste ultime, quelle ad alta pressione consentono una migliore distinzione dei colori, mantenendo alti livelli di efficienza luminosa.

Sono lampade nelle quali la presenza del sodio é molto elevata. La luce emessa, definita "bianco oro", consente una discreta resa cromatica; per la costruzione del tubo di scarica si ricorre ad un ossido di alluminio che resiste alle alte temperature e non è intaccato dal sodio. Nel tubo di scarica oltre ad un amalgama di sodio (lega di sodio e mercurio), viene introdotto un gas raro a bassa pressione per favorire l'innesco della scarica. Il tubo di scarica viene posto in un bulbo o in un tubo di vetro duro, nel quale é praticato il vuoto per indurre le dispersioni termiche e conseguire la massima efficienza.

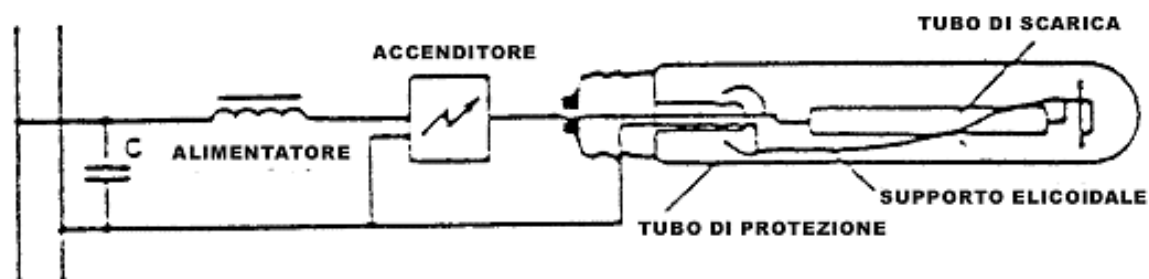


Figura 19: elementi costitutivi

Per funzionare necessitano normalmente di un alimentatore, per limitare e regolare la tensione, e di un accenditore, esterno o incorporato alla lampada stessa, per innescare la scarica iniziale.

Abbinando un'ottima efficienza luminosa ad una discreta resa cromatica, le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione sono ideali per l'illuminazione stradale, industriale e di spazi esterni.

3.3.5 - Lampade a ioduri metallici

Le lampade a ioduri metallici appartengono alla grande famiglia delle tecnologie a scarica. Queste lampade sono conosciute anche come "lampade ad alogenuri metallici", ma poiché lo iodio è, tra gli alogeni, l'elemento più comunemente utilizzato, si è consolidata la definizione di "lampade a ioduri metallici".

Queste lampade si sono affermate per la resa dei colori e l'elevata efficienza luminosa frutto degli ioduri metallici presenti nel tubo di scarica. Grazie all'arco di scarica estremamente corto, queste sorgenti luminose praticamente puntiformi consentono di dirigere la luce in modo ottimale e di ottenere un elevato fattore di rendimento degli apparecchi.

All'interno del bulbo in vetro, in cui è presente un tubo di scarica in quarzo, sono racchiusi vapori di mercurio o di sodio ad alta pressione ed una miscela di ioduri metallici (figura 20).

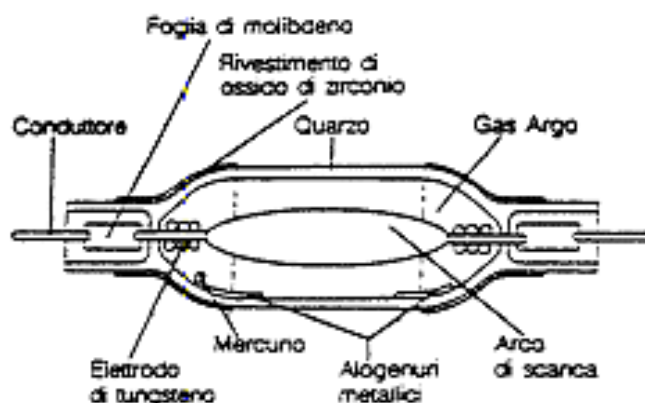


Figura 20

Nelle lampade a ioduri metallici la temperatura di colore è piuttosto elevata, attorno ai 4.000 – 5.000 ° K. Per la loro luce bianchissima, le dimensioni compatte e la capacità di generare flussi fortemente concentrati senza richiedere eccessive potenze, questi apparecchi sono particolarmente adatti all'illuminazione di ampi spazi, interni ed esterni.

Oltre che nei contesti abitativi, queste sorgenti sono impiegate in negozi o in altri spazi commerciali dove è importante avere una luce nitida, intensa, in grado di garantire un'eccellente valorizzazione dei colori e dove è fondamentale che gli apparecchi abbiano dimensioni contenute e siano perfettamente inseribili nell'arredamento.

I recenti miglioramenti tecnologici hanno permesso considerevoli progressi sia in termini di efficienza che di durata media, valutabile attorno alle 5.000 ore. I principali svantaggi sono riconducibili al complesso principio di funzionamento, per il quale la luce è prodotta dalle radiazioni di miscele a loro volte sollecitate dai gas accessori. Questo comporta processi di accensione gradualmente (impiegano infatti circa 5 minuti per arrivare a pieno regime), un tempo di riaccensione a caldo piuttosto lungo (fino 10 minuti per recuperare interamente il flusso luminoso) e sofisticati dispositivi di alimentazione e innesco.

3.4 - Lampade a induzione

I sistemi di illuminazione ad induzione utilizzano un processo in cui si associano due tecniche ben note: la scarica a gas e l'induzione elettromagnetica.



Il principio della scarica a gas sfrutta la prerogativa degli 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.

Per il funzionamento del sistema sono necessarie alcune componenti (figura 21):

- generatore ad alta frequenza, a circa 2,65 MHz (1)
- bobina-antenna (2)
- il bulbo entro cui avviene la scarica a gas.

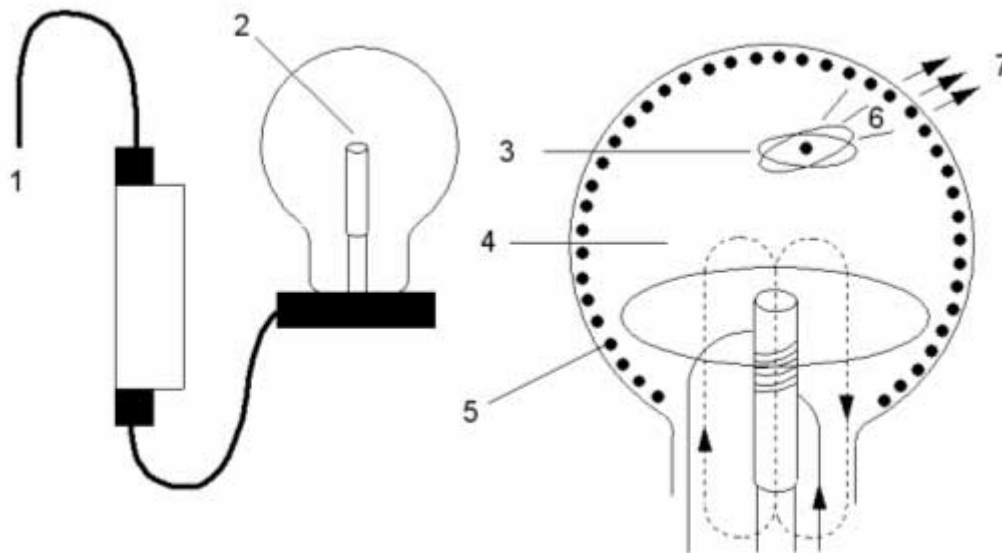


Figura 21

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 (4) un campo elettromagnetico che accelera gli elettroni presenti nel bulbo stesso e ne provoca la collisione con gli atomi di mercurio (3). A seguito di tali collisioni una parte degli atomi di mercurio viene ionizzata e va a mantenere la corrente di scarica mentre la restante parte viene eccitata per cui emette radiazioni ultraviolette (6). Tali radiazioni, dopo aver colpito

lo strato di polveri fluorescenti (5) che rivestono la superficie interna del bulbo, vengono trasformate in radiazioni comprese nello spettro visibile (7).

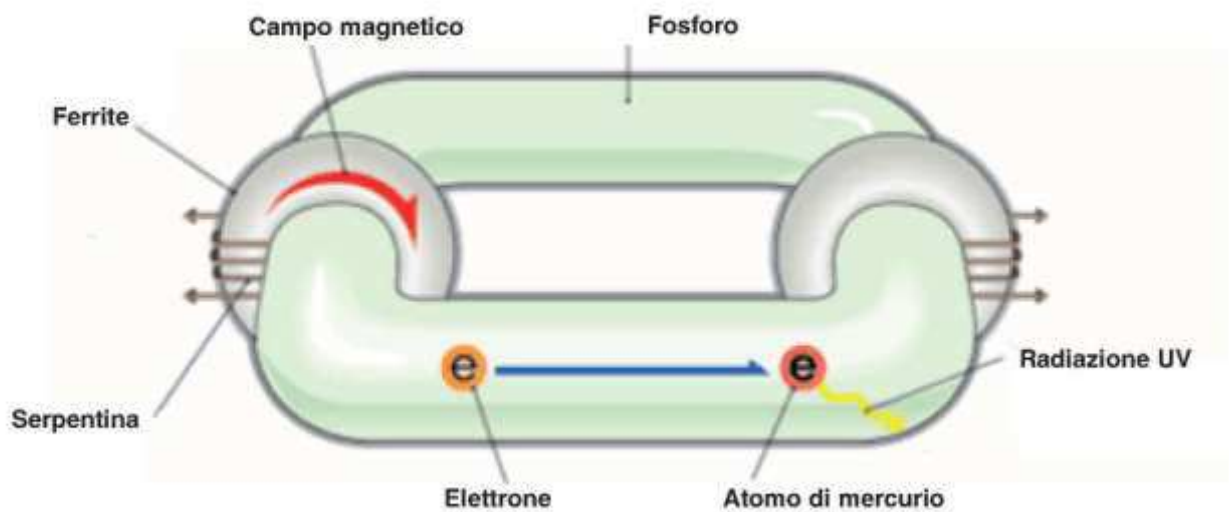


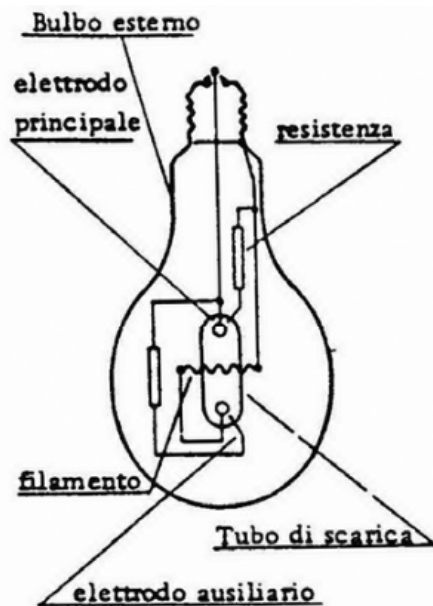
Figura 22: elementi costitutivi

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 di circa 60.000 ore di funzionamento pressoché prive di manutenzione, che corrispondono a circa 15 anni di funzionamento di un impianto di illuminazione per circa 11 ore al giorno. Inoltre, queste lampade generano luce istantaneamente anche dopo un'interruzione di funzionamento (tempo di innesco 0,1 se possiedono una resa dei colori Ra significativamente alta (pari a 80 circa).

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.

3.5 - 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 apparecchio elettrico (sostituito dal filamento interno alla lampada), per cui risulta possibile connettere la lampada senza l'ausilio di componenti elettrici esterni alla lampada.

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.

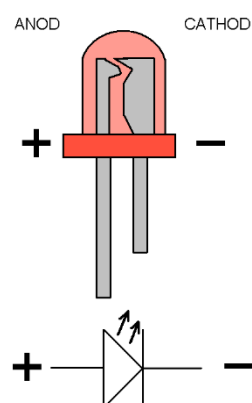
La forte quantità di luce e la temperatura di colore più elevata rispetto alle lampade a filamento, hanno creato una notevole diffusione di queste lampade per l'illuminazione residenziale (giardini, garage, ecc.).



3.6 – LED

Il termine "LED" è un acronimo che sta per "Light Emitting Diode", ovvero "diodo emettitore di luce". I led sono costituiti da una giunzione P-N realizzata con arseniuro di gallio o con fosforo di gallio, entrambi materiali in grado di emettere radiazioni luminose quando siano attraversati da una corrente elettrica (fra 10 e 30 mA).

Il funzionamento del led si basa sul fenomeno detto "elettroluminescenza", dovuto all'emissione di fotoni (nella banda del visibile o dell'infrarosso) prodotti dalla ricombinazione degli elettroni e delle lacune nel caso di polarizzazione diretta della giunzione.



I led hanno un terminale positivo ed uno negativo, e per funzionare devono essere inseriti in circuito rispettando tale polarità. Quando si utilizza un led, è necessario disporre sempre una resistenza in serie ad esso (figura 23), allo scopo di limitare la corrente che passa ed evitare che possa distruggersi; la caduta di tensione ai capi di un led può variare da 1,1 a 1,6 V, in funzione della lunghezza d'onda della radiazione emessa (a lunghezze d'onda minori corrisponde una caduta di tensione più alta).

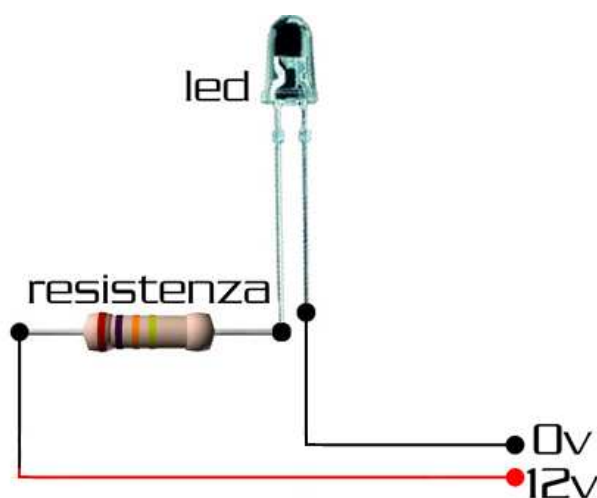


Figura 23

Diversamente dalle comuni lampadine, il cui filamento funziona a temperature elevatissime, i led emettono luce fredda, e possono lampeggiare a frequenze molto alte, superiori al Mhz; se si considera anche che la luce emessa è direttamente proporzionale alla corrente che li attraversa, i led risultano particolarmente adatti alla trasmissione di segnali tramite modulazione dell'intensità luminosa.

A parità di luce emessa, i LED permettono di risparmiare fino al 90% di elettricità rispetto a una lampada a incandescenza e hanno una durata di vita praticamente imbattibile (30.000-100.000 ore), che è almeno 5-10 volte più lunga rispetto alle più efficienti lampade fluorescenti compatte disponibili sul mercato. Possiedono un'elevata

efficienza in quanto l'energia spesa si converte quasi interamente in luce utile invece di trasformarsi in calore (basti pensare che le normali lampadine a incandescenza trasformano solo il 5% dell'energia spesa in luce, mentre il restante 95% viene dissipato sotto forma di calore).

Tra le tante caratteristiche positive dei LED, sottolineiamo l'accensione immediata e l'assenza di sostanze chimiche pericolose (come ad esempio il mercurio), che ne consentono lo smaltimento indifferenziato. Le ridottissime dimensioni dei singoli LED costituiscono un grande vantaggio impiantistico.

I led più comuni emettono luce rossa, arancio, gialla o verde (figura 24). In tempi relativamente recenti si è riusciti a produrre un led caratterizzato dall'emissione di luce blu chiara, utilizzando il Nitruro di Gallio (GaN); la disponibilità di un led a luce blu è molto importante poiché consente di ricreare, insieme alle radiazioni rossa e verde, una sorgente di luce bianca.



Figura 24

CAPITOLO 4 – COMPARAZIONI E CONFRONTI

4.1 - Consumo e risparmio energetico

Ad un maggior costo iniziale per un determinato tipo di lampada, può corrispondere un minor costo di gestione, dovuto a minori consumi e a una vita più lunga.

Pertanto si deve parlare, più che di consumi, di efficienza, cioè di quanta luce fornisce una lampada per ogni watt assorbito.

Una lampada fluorescente ha un'efficienza maggiore rispetto ad una ad incandescenza; anche la durata è maggiore e questo cambia molto la spesa annua per l'illuminazione a seconda delle lampade utilizzate. Questo significa che a un costo iniziale modesto per l'acquisto della lampadina, può corrispondere una spesa elevata per il suo utilizzo.

Gli elementi da considerare per calcolare i costi reali dell'illuminazione sono quindi:

- efficienza,
- consumi,
- durata.

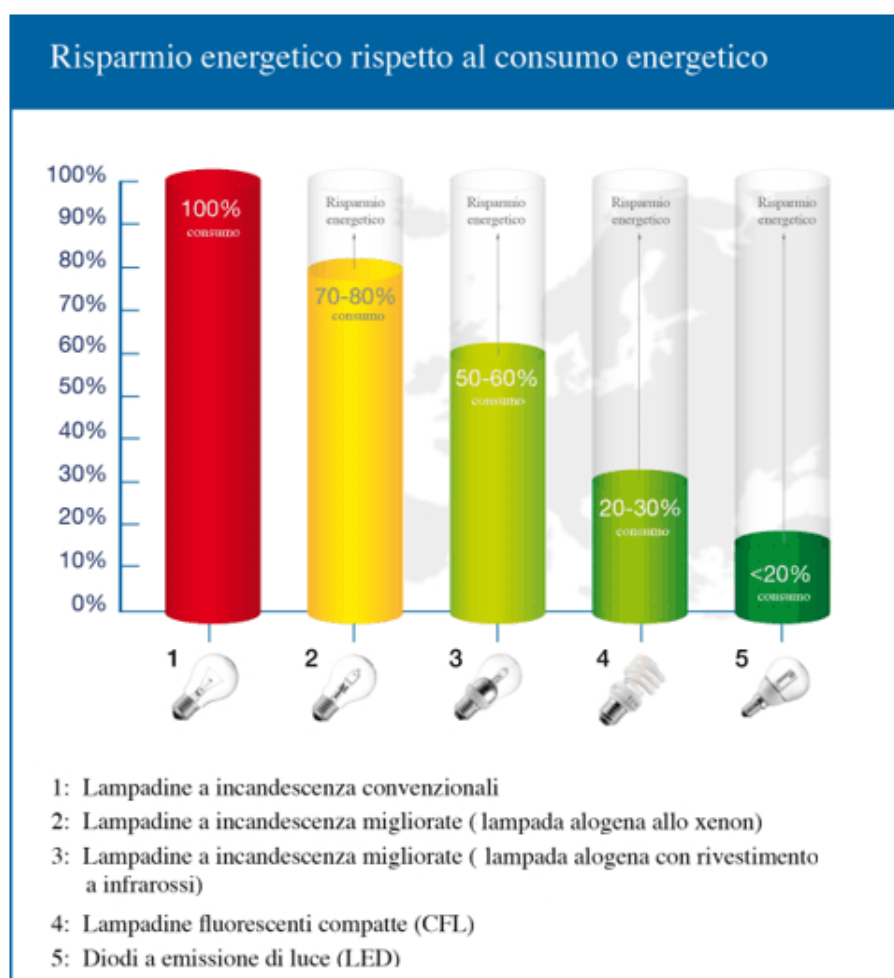
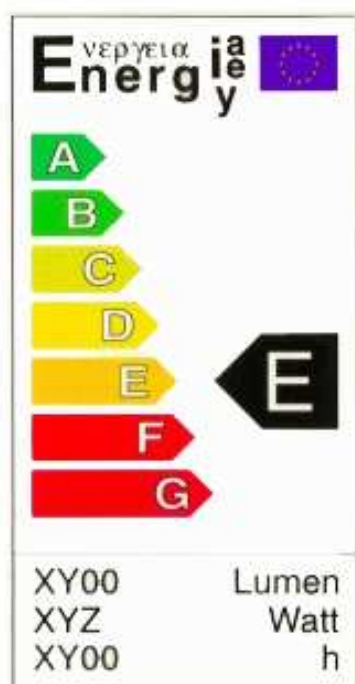


Figura 25

Dalla figura 25 si può osservare il risparmio energetico delle principali lampade nell'illuminazione privata rispetto al consumo energetico delle stesse. La parte colorata del cilindro corrisponde al consumo, mentre la differenza tra l'intero cilindro e la parte colorata rappresenta il risparmio energetico.

Come si può vedere, il risparmio energetico rispetto al consumo energetico è nullo nelle lampade a incandescenza tradizionali (verranno infatti ritirate dal commercio entro pochi anni), mentre le alogene possono arrivare ad un risparmio del 40 – 50 %. Ancora migliori, sotto questo punto di vista, sono le lampade fluorescenti che restano comunque dietro all'elevatissimo risparmio energetico che sono in grado di produrre i Led.

Oggi è più facile scegliere i prodotti che consumano meno in quanto le informazioni sono più chiare e in evidenza. Infatti dal 2002 una direttiva dell'Unione Europea ha reso obbligatorio esporre anche sulle lampade l'“etichetta energetica”, che indica l'efficienza energetica della lampada, il flusso luminoso, la potenza e la durata media di vita.



L'etichetta è divisa in due settori.

Il primo settore riporta le classi di efficienza energetica: una serie di frecce di lunghezza crescente e colore diverso, associate alle lettere dalla A alla G, permettono di confrontare i consumi delle diverse lampade. La lettera A indica consumi minori. Le lettere dalla B in poi indicano consumi via via maggiori. La lettera distintiva della classe deve trovarsi all'altezza della freccia corrispondente. Le lampade fluorescenti sono in classe A o B, le lampade alogene prevalentemente in classe D, le comuni lampade ad incandescenza sono in classe E o F, mentre alcune lampadine speciali e decorative in classe G.

Nel secondo settore sono indicati il flusso luminoso espresso in Lumen, la potenza della lampada espressa in Watt e la durata media nominale di vita espressa in ore.

Un altro marchio significativo per il consumatore attento è l'Eco-label (ecoetichetta), un marchio europeo che indica che il prodotto ha un basso impatto sull'ambiente nelle diverse fasi di produzione, utilizzo e smaltimento. Ha per simbolo la margherita con le stelle come petali e la “E” di Europa al centro.



4.2 - Confronto energetico generale

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva di tutte le caratteristiche elettriche ed illuminotecniche delle lampade solitamente utilizzate nell'illuminazione privata (figura 26).

Le lampade prese in considerazione sono tali da essere messe in paragone, ovvero presentano più o meno lo stesso flusso luminoso.

Tipo	Potenza [W]	Tensione [V]	Flusso Luminoso [lm]	Durata di Vita [hr]	CRI	Temperatura di colore [K]	Efficienza Luminosa [lm/W]
Incandescenza	40	230	420	1500	100		10
Alogena	28	230	325	2000	100	2800	12
Fluorescente Compatta	10	230	550	15000	85	2500	55
LED	7	12 - 230	400 - 450	30000	75-80	Cold White 6000 Warm White 3000	64

Figura 26

Tutti i dati sono presi dal catalogo Osram.

Bisogna fare delle particolari considerazioni sulle lampade fluorescenti: la durata di vita è calcolata fino alla rottura, ma il flusso luminoso si riduce notevolmente con il passare delle ore:

- vita media al 50% del flusso luminoso: 12000 h
- flusso luminoso dopo 2000 h: 85%
- flusso luminoso dopo 5000 h: 80%

Dalla tabella si possono fare le seguenti considerazioni:

- le lampade a LED risultano avere una minor potenza nominale e quindi un risparmio in termini di assorbimento di energia;
- la durata di vita delle lampade presentano un grande salto di durata se si paragona incandescenza ed alogene a quelle fluorescenti e LED;
- nonostante il flusso luminoso maggiore risulti essere quello delle lampade fluorescenti compatte, le lampade a LED risultano avere la maggior efficienza luminosa.

Inoltre, l'accensione dei LED è immediata come quella delle lampade ad incandescenza ed alogene, mentre per le lampade fluorescenti bisogna attendere qualche minuto per avere il 100% del flusso luminoso.

4.2.1 – L'efficienza luminosa

L'efficienza luminosa è uno dei parametri più importanti dal punto di vista del risparmio energetico. Questo parametro mette a confronto due grandezze non omogenee, luce ed elettricità, e risulta di fondamentale importanza in quanto ci fornisce contemporaneamente dati riguardanti l'aspetto tecnico ed economico di una sorgente luminosa.

Come abbiamo già visto, l'efficienza è il rapporto tra la quantità di radiazione luminosa e la totale potenza elettrica assorbita per ottenere un determinato fascio luminoso. Ha la caratteristica di un rendimento in quanto confronta energia utile (la luce) con energia assorbita (la potenza elettrica), con la differenza che non è adimensionale (si misura in lumen/watt).

I principali fenomeni dispersivi di questo “rendimento luminoso” sono il calore e le radiazioni agli estremi del visibile, cioè gli ultravioletti e gli infrarossi. La tecnologia Led a differenza di tutte le altre sorgenti luminose, ha solo emissione dispersiva di calore e quindi può vantare di non avere quelle problematiche legate alle radiazioni ultraviolette ed infrarosse. La percentuale di luce si attesta a circa il 15% del bilancio energetico, mentre il calore incide per il restante 85.

Nell'illuminazione privata, a parità di condizioni d'uso, la tecnologia Led risulta la migliore dal punto di vista dell'efficienza luminosa, come si può vedere anche dal grafico di figura 27.

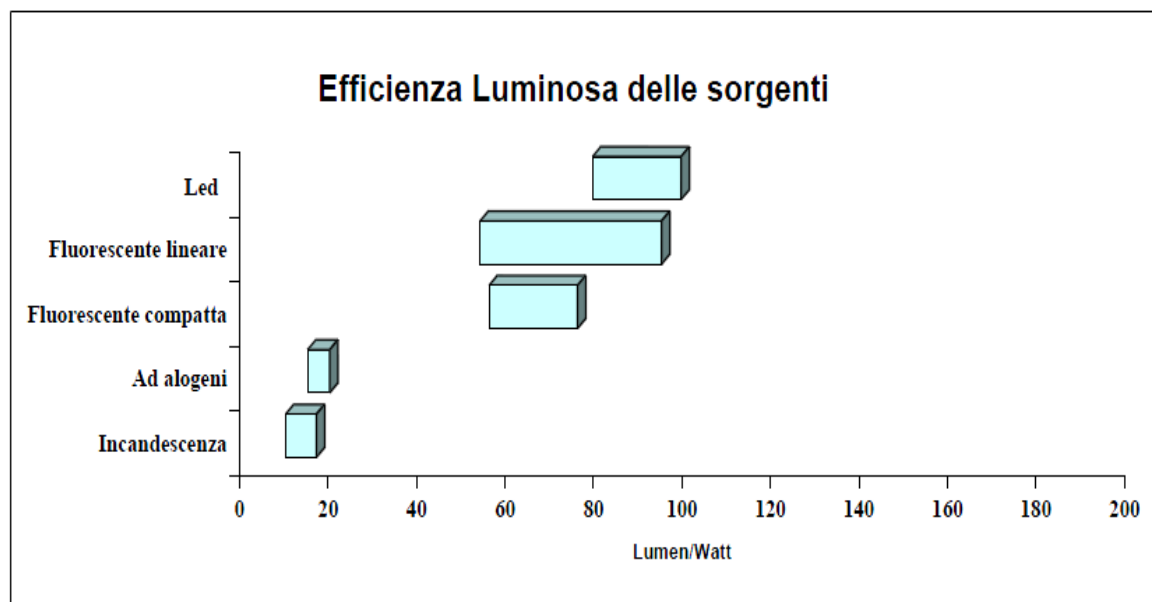


Figura 27

4.2.2 – La durata di vita

Abbiamo già visto in precedenza alcuni dati relativi alla durata di vita media, e le sorgenti più longeve, nell'illuminazione privata, risultano essere i Led.

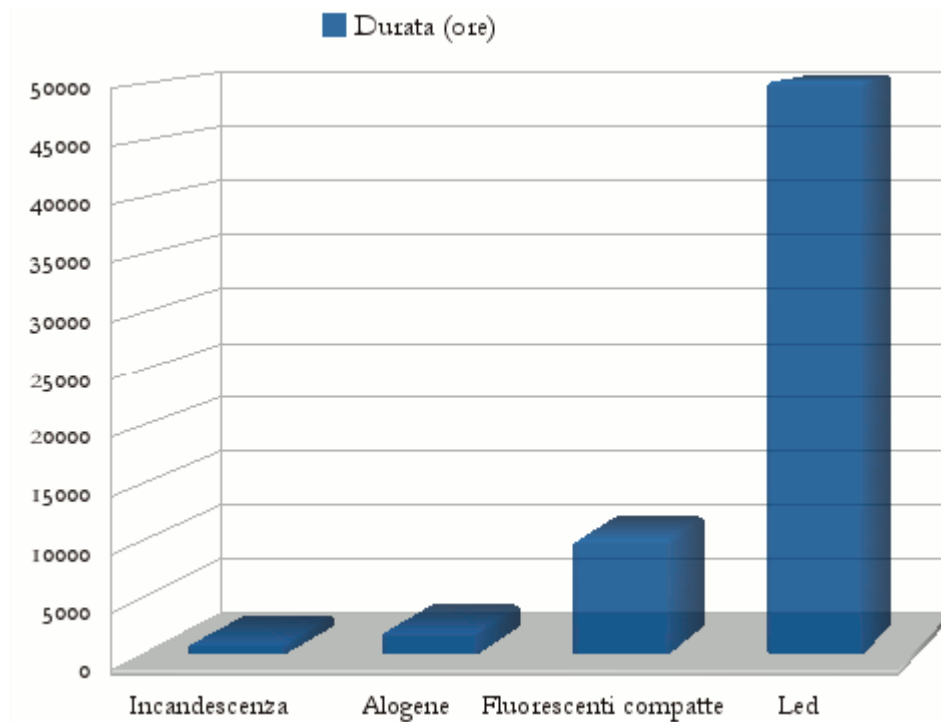
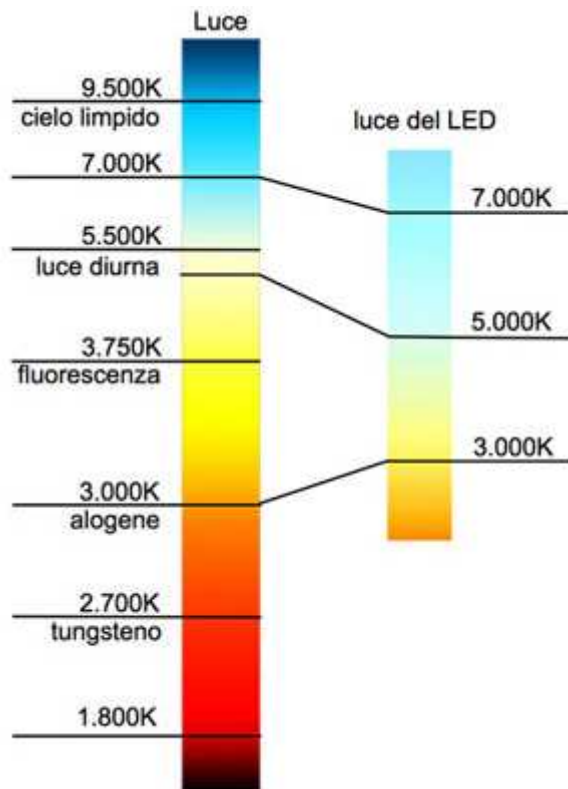


Figura 28

Le lampade ad incandescenza comuni e quelle alogene sono livellate al gradino più basso, mentre le lampade fluorescenti possono rappresentare un'alternativa abbastanza valida ai Led (figura 28).

Analizzando il decadimento del flusso luminoso con il tempo, dati sperimentali parlano di un 12% per incandescenza e alogene, di ben un 30% per fluorescenza e Led. Questi dati sono riferiti al tempo di durata di vita media, quindi diverso per ogni lampada.

4.2.3 – La temperatura di colore e l'indice di resa cromatica



Attualmente i LED sono disponibili in svariate temperature di colore, ma l'efficienza luminosa è fortemente influenzata da questo parametro: le elevate efficienze (superiori ai 100 lm/W) che rendono concorrenziale il Led rispetto alle sorgenti tradizionali sono in realtà assicurate per ora solamente a temperature di colore molto alte (*cold white*, tra i 5.000 e i 6.000 gradi Kelvin). Man mano che la temperatura di colore scende, e i toni si stemperano in tonalità più calde, attorno ai 3.000 °K, l'efficienza cala drasticamente dell'ordine del 30 %, annullando così alla nuova tecnologia il primato di sorgente adatta ad ottenere il maggior risparmio energetico possibile.

Per quanto riguarda l'indice di resa cromatica, come si può notare dai dati raccolti nella tabella iniziale di questo capitolo, le lampade a incandescenza

comuni e quelle alogene hanno un valore ottimale (100). Le lampade fluorescenti seguono con un valore comunque molto buono, ma un gradino più in basso rispetto alle precedenti. In riferimento a questo parametro, i Led raggiungono comunque un livello buono, non sufficiente però a concorrere con la resa cromatica delle sorgenti tradizionali.

4.3 - Confronto economico

Tutti i benefici, in genere, sono compensati da un costo d'acquisto elevato; anche per le lampade vale questo discorso.

Nella seguente tabella (figura 29) sono riportati i costi d'acquisto delle lampade per l'illuminazione privata descritte nei capitoli precedenti, insieme a parametri quali il costo annuo ed il consumo annuo delle singole sorgenti in modo da operare un confronto economico tra le diverse tecnologie.

Per leggere ed interpretare correttamente questa analisi e' importante tener conto alcune questioni:

- il valore del costo d'acquisto di ogni lampada può variare intorno al prezzo riportato in tabella;
- viene considerato un tempo di funzionamento giornaliero di ogni singola lampada di 8 ore (2920 ore annue);
- vengono escluse rotture o malfunzionamenti;
- viene fissato un costo dell'energia elettrica pari a 0,20 €/kWh.

	INCANDESCENZA	ALOGENA	FLUORESCENTE COMPATTA	LED
Potenza [W]	40	28	10	7
Flusso luminoso [lm]	420	325	550	400-500
Durata di vita [h]	1500	2000	15000	30000
Costo acquisto [€]	2	4	5	35
Anni di funzionamento (2920 h/anno)	0.51	0.68	5.14	10.27
Costo annuo [€/anno]	3.92	5.88	0.97	3.41
Consumo annuo [€/anno]	23.36	16.35	5.84	4.08
Costo totale annuo (Costo+Consumo annuo) [€/anno]	27.28	22.23	6.81	7.49

Figura 29

Dall'analisi dei costi e dei consumi si può facilmente notare che le lampade ad incandescenza ed alogene risultano essere molto più costose rispetto ai LED o alle più comuni lampade fluorescenti.

Da una prima analisi si può arrivare alla conclusione che le lampade fluorescenti risultano essere le più convenienti in termini di costi, ma bisogna ricordare che esse presentano un notevole decadimento del flusso luminoso con il passare delle ore di funzionamento.

Va ricordato però che l'illuminazione LED è ancora agli inizi e presenta ancora un largo margine di sviluppo a differenza delle altre tecnologie che sono ormai arrivate "al capolinea". Si può facilmente notare infatti che, abbassando di qualche euro il costo d'acquisto delle sorgenti a LED, queste diventano più convenienti rispetto a qualsiasi altra tecnologia.

CAPITOLO 5 - CONCLUSIONI

Da quanto esposto precedentemente si può ben capire che l'illuminazione a LED sarà la soluzione del futuro, in grado di diminuire costi e consumi che gravano tutt'oggi sulla nostra economia.

L'attenzione verso il rispetto dell'ambiente e la continua ricerca del risparmio energetico li rendono attualmente la miglior sorgente luminosa in questi campi. Inoltre, risultando ancora una tecnologia molto giovane rispetto alle altre, presenta enormi margini di crescita e di sviluppo.

Da quanto scritto fin'ora si può dedurre che i LED rappresentano un'ottima sorgente luminosa e da qui nasce l'idea di utilizzare tale tecnologia per l'illuminazione privata.

Dato il ridotto consumo, si ottiene, durante l'utilizzo, un risparmio di energia rispetto alle altre sorgenti luminose; inoltre, vista l'elevata durata di vita, necessitano di una minor manutenzione, riducendo così ancora i costi.

Altro vantaggio, oltre alle ridotte dimensioni che permettono di indirizzare il flusso luminoso direttamente dove desiderato senza l'utilizzo di particolari parabole o ottiche, è il fatto che risultano essere una tecnologia con ridotte emissioni di calore e possono quindi essere utilizzati anche in luoghi che con altre tecnologie potrebbero risultare problematici.

Risultano però avere un costo di acquisto superiore rispetto a quelle ad incandescenza o fluorescenti e, dato che la maggior parte di esse funzionano a bassa tensione, presentano la necessità di essere alimentati mediante l'utilizzo di alimentatori che ne alzano ulteriormente il costo e l'ingombro.

Lo scoglio più grande da superare, quindi, è l'elevato costo di acquisto iniziale; difficilmente, con i prezzi attuali dei LED, una famiglia "media" che si trova a farsi o ristrutturarsi la casa, può permettersi un così gravoso investimento per l'impianto di illuminazione.

Nell'illuminazione pubblica sicuramente questo problema è sensibilmente minore, ed è quindi più facile pensare di investire nella tecnologia LED per un risparmio energetico ed economico assicurati.

Per quanto riguarda l'illuminazione privata non rimane altro che aspettare; sicuramente tra qualche anno, avvalendosi del ritiro dal mercato delle lampade ad incandescenza e quindi con l'incentivazione ad un progressivo risparmio energetico, i LED riusciranno a diventare a tutti gli effetti la miglior tecnologia, riuscendo anche ad abbassare i costi d'acquisto.

Bibliografia:

- G. Moncada lo Giudice, A. de Lieto Vollaro. *Illuminotecnica*. Terza edizione, Ambrosiana 2007.
- F. Papalia, L. Schiavon. *Illuminotecnica, elementi essenziali*. Zerbetto, 1990.
- G. Forcolini. *Illuminazione d'interni*. Edizione Hoepli
- G. Forcolini. *Illuminazione LED*. Biblioteca Tecnica Hoepli Editore Ulrico Hoepli Milano
- M. Bonomo. *Illuminazione d'interni*. Progettazione Tecniche & Materiali Maggioli Editore

Sitografia:

www.philips.com
www.osram.com
www.enea.com
www.iesna.com
www.cree.com
www.electroportal.com
www.nextville.it
www.aecilluminazione.it