

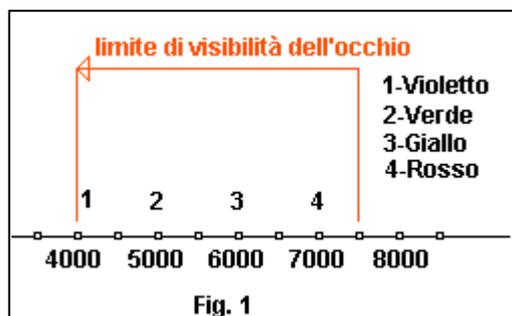
NOZIONI DI ILLUMINOTECNICA

GLOSSARIO DEI TERMINI

(Carlo Rossi CNIL - UAI)

Radiazione visibile

La radiazione visibile dall'uomo è compresa in media fra le lunghezze d'onda 400 e 760 nm (un nanometro è pari ad un miliardesimo di metro) o 4000 e 7600 Amstrong con punte di 3600 e 8000 Amstrong. In figura 1 è rappresentato lo spettro visibile: alle minori lunghezze d'onda corrisponde il violetto e alle maggiori il rosso (nell'ordine: violetto, indaco, azzurro, verde, giallo, arancione, rosso). L'occhio umano è più sensibile alla lunghezza d'onda di circa 5500 Amstrong (giallo - verde).



La differenza di lunghezza d'onda percepibile dall'occhio umano va da 10 - 30 Amstrong fra 5000 e 6000 Amstrong a circa 60 Amstrong verso il rosso.

Le pellicole fotografiche hanno un comportamento diverso dall'occhio umano e le varie tipologie presenti sul mercato presentano sensibilità differenti, più o meno marcate verso certe lunghezze d'onda.

La lunghezza d'onda è data dal prodotto della velocità della luce (c) per il periodo dell'onda (T) o dal rapporto fra la velocità della luce ($c = 300.000.000$ m/s) e la frequenza:

$$l = c \times T = c / f$$

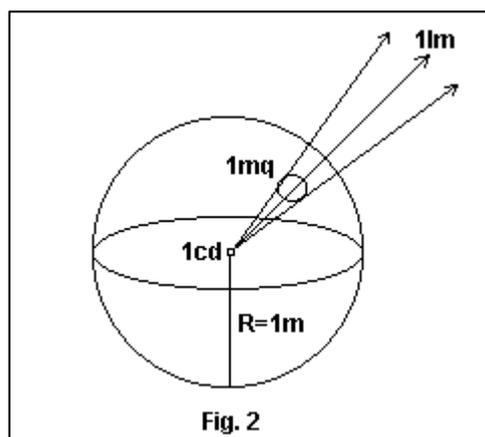
quindi 4000 / 7600 Amstrong corrispondono alle frequenze di 750 / 395 Mhz.

Flusso luminoso

Il flusso luminoso rappresenta la quantità di luce od energia raggiante emessa da una sorgente nell'unità di tempo:

$$F = Q / t = \text{quantità di luce/tempo}$$

da cui si deduce che il flusso luminoso è una potenza (energia diviso tempo). Il flusso luminoso si può calcolare anche moltiplicando la potenza per un coefficiente di visibilità variabile con la lunghezza d'onda. L'unità di misura del flusso luminoso è il lumen (lm) che corrisponde al flusso luminoso emesso da una sorgente di luce puntiforme di intensità (I) pari ad una candela (cd) ed uscente dalla superficie di un metro quadrato di superficie sferica con raggio pari a un metro (steradiante) (figura 2).



Efficienza luminosa

L'efficienza luminosa è pari al rapporto fra il flusso luminoso (lm) emesso da una sorgente luminosa e la potenza elettrica assorbita (watt, W):

$$E = F/P$$

L'efficienza luminosa come appunto dice anche la parola esprime l'efficienza di una lampada, si misura in lm/W ed è una funzione variabile con il tipo di lampada.

- Per lampade ad incandescenza è pari a circa 6-18 lm/W
- Per lampade a mercurio 40 – 60 lm/W
- Per lampade agli alogenuri 60-100 lm/W
- Per lampade al sodio ad alta pressione 60 – 150 lm/W
- Per lampade al sodio a bassa pressione 100 – 190 lm/W

L'equivalente meccanico della luce è pari a 621 lm/W, quindi se tutta l'energia elettrica assorbita dalla lampada fosse trasformata in flusso luminoso nell'unità di tempo, la potenza di 1 watt darebbe 621 lm.

Facciamo notare che l'efficienza luminosa, per la stessa classe di lampada, oltre che dipendere dal tipo di lampada prodotta (normale, *super*, *de luxe*), in linea di massima, è minore alle potenze ridotte (50 - 100 W) e maggiore alle potenze maggiori, in genere adoperate nei fari (400 - 3500 W). Per avere il valore preciso bisogna consultare i cataloghi dei costruttori di lampade.

Analizziamo il processo fisico che descrive l'efficienza luminosa. La lampada ha una potenza nominale in watt che nel tempo determina l'energia assorbita (si veda l'appendice 2); in uscita dalla lampada troviamo il flusso luminoso che è minore della potenza assorbita in quanto nel passaggio entrata/uscita ci sono le perdite, la formula seguente evidenzia quanto detto:

$$P_u = P - P_p$$

dove P_u è la potenza luminosa in uscita, cioè il flusso luminoso, P la potenza elettrica assorbita dalla lampada, P_p la potenza perduta e quindi non trasformata in energia raggiante. La potenza perduta è dovuta al processo non ideale di trasformazione della potenza elettrica in potenza raggiante a causa delle seguenti perdite: addizionali (esempio contatti), per effetto *Joule* (nelle lampade ad incandescenza tale effetto, riguardo al filamento, non costituisce solo una perdita ma bensì la base di funzionamento), per riflessione ed assorbimento della luce emessa da parte del bulbo in vetro che si trasforma in calore disperso dal bulbo stesso per conduzione verso l'esterno, interne per convenzione, per emissione nel campo dell'invisibile (raggi ultravioletti ed infrarossi), per una scarica non ideale dei gas, ecc.).

In pratica la lampada è un "trasduttore" di energia: l'energia elettrica in entrata viene trasformata in energia raggiante, chiaramente con rendimento minore di 1.

Una efficienza luminosa elevata significa un processo di trasformazione "più pulito" dell'energia elettrica in energia raggiante.

Quindi, ritornando ai 621 lm/watt teorici, constatiamo che una lampada con efficienza luminosa pari a 62 lm/watt e di potenza pari a 100 W emette 6.200 lumen, contro i 62.100 lm/watt teorici con un'efficienza del 10% e perdite pari al 90%. Una lampada al sodio B.P. da 186 lm/watt e potenza pari a 100 W ha un rendimento del 30%.

Intensità luminosa

L'intensità luminosa si calcola con la formula:

$$I = dF/dw$$

dove dF è il flusso luminoso in una direzione, emesso dalla sorgente luminosa all'interno di un piccolo cono e dw è l'angolo solido del cono stesso. In pratica l'intensità luminosa non è altro che la densità di flusso in una certa direzione (figura 3). L'unità di misura dell'intensità luminosa è la

candela (cd) e corrisponde all'intensità luminosa emessa da un corpo nero ad una temperatura di 1766 gradi centigradi (fusione del platino), alla frequenza di 540×10^{12} Hz, in direzione perpendicolare ad un foro di uscita con un'area pari a $1/600\,000$ metri quadrati sotto la pressione di 101,325 Pascal (1 Pascal è uguale ad 1 Newton diviso 1 metro quadrato).

Per semplificare la formula dell'intensità luminosa di cui sopra si può definire l'intensità luminosa media sferica (sfera di raggio pari a 1 metro) I_m di una sorgente ideale emettente lo stesso flusso della sorgente considerata, con una intensità identica in tutte le direzioni (isotropa):

$$I_m = F/4\pi$$

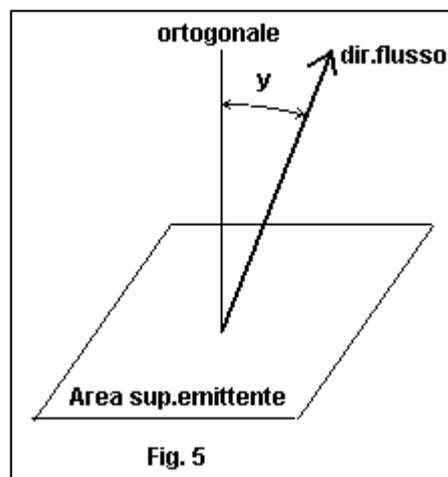
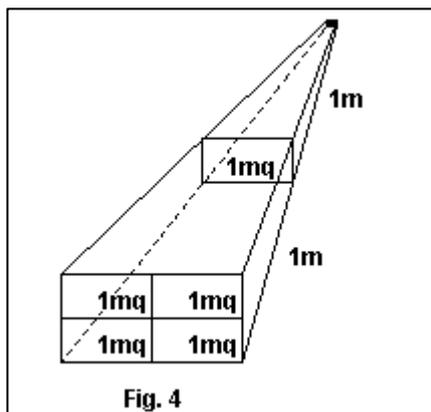
infatti la superficie di una sfera è data dalla formula $4\pi R^2$, da cui si può desumere che se I_m è pari ad 1 candela, il flusso luminoso emesso è pari a 12,56 lm. L'intensità luminosa è importante in quanto costituisce la parte fondamentale della curva fotometrica.

Illuminamento

L'illuminamento è pari al rapporto fra il flusso luminoso incidente ortogonalmente su una superficie e l'area della superficie che riceve il flusso, quindi una densità di flusso:

$$L = dF/dA$$

L'unità di misura dell'illuminamento è il lux (lm/m^2). Il lux è definito come il flusso luminoso emesso da una sorgente luminosa (situata al centro di una sfera) con una intensità luminosa di 1 candela che illumina una superficie di 1 mq (si veda la figura 2). L'illuminamento varia con l'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa (figura 4).



Luminanza

La luminanza è pari al rapporto fra l'intensità luminosa emessa in una certa direzione e l'area della superficie emittente perpendicolare alla direzione:

$$U = dI/dA$$

La luminanza si misura in cd/m^2 ; 1 cd/m^2 equivale al flusso luminoso emesso per unità di angolo solido (intensità luminosa di 1 candela) entro un'area unitaria perpendicolare alla direzione del flusso luminoso. Nel caso che il flusso luminoso non sia perpendicolare alla superficie, allora bisogna dividere U per $\cos y$, dove y è l'angolo fra flusso ed ortogonale alla superficie (figura 5).

La luminanza è importante in quanto deve essere sufficiente ed uniforme al fine di riconoscere il percorso, i pedoni ed eventuali ostacoli. Valori troppo elevati di luminanza delle sorgenti portano a abbassare il contrasto e quindi ad uno scarso riconoscimento dei pedoni od ostacoli. In pratica, la sensazione visiva dell'occhio umano, quando percepisce la luce direttamente emessa da una sorgente o riflessa da una superficie, è funzione della luminanza.

Forniamo, come esempio, alcuni valori indicativi di luminanza (cd/m^2):

Sole a Mezzogiorno	16×10^9
Lampada ad incandescenza (potenza minore di 100 W)	5×10^6
Lampada agli alogenuri (potenza minore di 100 W)	$1,5 \times 10^7$

Luminosità o radianza

La luminosità si calcola dividendo il flusso luminoso emesso per l'area della superficie irraggiante:

$$U = dF/dA$$

La luminosità si misura in lm/mq ; 1 Lambert è il flusso luminoso di 1 lumen emesso in un emisfero da un'area unitaria della superficie irraggiante.

Rendimento luminoso

Il rendimento luminoso è dato dal rapporto fra il flusso luminoso emesso dalla lampada verso l'esterno ed il flusso luminoso emesso dalla sorgente (esempio filamento della lampada ad incandescenza):

$$h = F/F_s$$

dove F è il flusso emesso verso l'esterno e F_s il flusso luminoso emesso dalla sorgente.

Resa cromatica e indice di resa dei colori

La resa dei colori o resa cromatica è una valutazione qualitativa sull'aspetto cromatico degli oggetti illuminati ed è pari a:

- 1- ottimo
- 2- buono
- 3- soddisfacente

L'indice di colore "Ra" permette di ottenere una valutazione oggettiva riguardo alla resa di colore della sorgente luminosa emittente.

L'indice Ra è posto pari a 100 quando la sorgente emittente la luce ha lo stesso effetto della sorgente luminosa di riferimento.

L'indice di resa cromatica è funzione indiretta della differenza di resa dei colori, cioè tanto minori sono i valori di Ra tanto più grande è la differenza nella resa dei colori.

Temperatura di colore

La temperatura di colore, la cui unità di misura è il grado *Kelvin* (K), ha come riferimento l'emissione del corpo nero o la curva di *Plank*. La parte della radiazione visibile preponderante è funzione diretta della temperatura di colore "Tc", cioè tanto più grande è Tc tanto più si

accentua la parte azzurra della radiazione, mentre per valori piccoli di T_c si accentua la parte rossa della radiazione visibile.

Ad esempio, la luce emessa da una lampada ad incandescenza ha T_c pari a circa 2.700 K, mentre la luce diurna a mezzogiorno presenta un valore di T_c pari a 6.000 K.

Tonalità di luce

La tonalità di luce è funzione della temperatura di colore.

Riportiamo alcune grandezze indicative:

- tono caldo < 3.300 K
- tono neutro < 3.300 - 5000 K
- tono bianchissimo 4.000 K
- luce diurna > 5.000 K

Un esempio può chiarire il significato delle ultime tre grandezze trattate: una lampada agli alogenuri sia contraddistinta dalla sigla 1A - Ra 90-100 - > 5000 K; 1A è il grado di resa dei colori, 90 - 100 rappresenta l'indice di resa dei colori, > 5.000 K è la temperatura di colore che da indirettamente la tonalità di luce, nel caso diurna.

LAMPADE PER ESTERNI

(Carlo Rossi CNIL - UAI)

Le lampade sono la parte vitale dell'impianto di illuminazione ed il loro campo di emissione nello spettro visibile ci indica le zone dove l'emissione è maggiore (su tutto lo spettro o nel rosso o nel violetto, ecc.).

Lampade ad incandescenza

Va premesso che le lampade ad incandescenza, nostre care amiche casalinghe, sono state quasi del tutto abbandonate nell'uso esterno, a causa della loro scarsa efficienza luminosa. La lampada ad incandescenza è costituita da un'ampolla cioè l'involucro esterno, da un filamento in tungsteno, da due elettrodi al molibdeno, dal sostegno in vetro, dal codolo o zoccolo a vite (esistono vari modelli di zoccoli) e dal gas interno (azoto o argon, introdotti nel 1913 in sostituzione del vuoto). Le lampade ad incandescenza irradiano grazie al filamento di tungsteno che si riscalda a causa dell'effetto *Joule* (si veda l'appendice 3). Il filamento raggiunge i 2600 °C. Il gas impedisce che il filamento si bruci o si volatilizzi più rapidamente grazie alla compressione che esercita sullo stesso, infine permette al filamento di raggiungere altissime temperature così da aumentare l'efficienza luminosa.

L'ampolla o palloncino è costituita da uno strato di vetro soffiato sottilissimo; il vetro può essere trasparente o smerigliato o opalino mentre le forme sono delle più svariate..

Lo spettro della luce emessa dipende dalla temperatura del filamento in tungsteno; le lampade chiare emettono una luce brillante, quelle smerigliate o silicate riducono l'abbagliamento ed attenuano le ombre. Ad esempio, la luminanza di 2 lampade ad incandescenza da 60 W di cui una a bulbo chiaro e l'altra a bulbo opaco sono rispettivamente pari a: 5×10^6 e 5×10^4 cd/m².

La smerigliatura o l'opalescenza porta però ad una ulteriore perdita di flusso emesso dell'ordine del 10/15%.

La durata di vita è pari a circa 1000 ore di funzionamento; la vita media varia fortemente con la variazione della tensione di alimentazione.

Considerazioni generali sulle lampade a scarica di gas

Le altre lampade fra quelle trattate basano il loro funzionamento sul fenomeno fisico della scarica dei gas e sono: agli alogenuri con tipica luce bianca; al sodio ad alta pressione con buona efficienza luminosa e buona resa cromatica; ai vapori di mercurio con luce bianca; al sodio a bassa pressione ad ottima efficienza luminosa. E' fatto accenno anche alle lampade elettroniche, anche se il loro uso è scarso nell'illuminazione per esterni.

La pressione nelle lampade ad A.P. oscilla fra 10.000 e 10.000.000 di Pa.

Le lampade a scarica in gas, di norma, sono costituite da:

- un attacco
- tubo di scarica
- un ampolla o tubo di vetro chiaro che contiene il gas (lampade a scarica di gas) o tubo ricoperto all'interno da uno strato di polveri fluorescenti (lampade fluorescenti);
- due elettrodi, anodo e catodo, fra i quali si innesca la scarica del gas (esperienza di *Townsend*).

L'innesco per la scarica si verifica solo quando la tensione applicata è pari alla tensione di scarica in modo da perforare il dielettrico fra il catodo e l'anodo. Una volta avviata la scarica elettrica viene emessa la luce ad opera della colonna di gas interessata dalla scarica (alcuni elettroni danno luogo alla "valanga" ed almeno un elettrone di ogni valanga, a sua volta ne provoca un'altra; gli elettroni eccitati quando ricadono al livello energetico inferiore danno luogo all'emissione di fotoni).

Nel caso delle lampade fluorescenti c'è una prima emissione invisibile (ultravioletto) ad opera dei vapori di mercurio a bassissima pressione, poi i raggi ultravioletti vengono trasformati in radiazione visibile dal rivestimento interno del tubo (fosfori).

Ad evitare che la corrente assorbita assuma valori elevati e pericolosi, si introduce nel circuito elettrico un reattore che limita tale corrente.

La corrente elettrica assorbita dalla lampada a scarica di gas presenta un angolo di sfasamento con la tensione nominale (si veda l'appendice), tale problema non sussiste nelle lampade ad incandescenza dove la corrente e la tensione sono in fase, ciò è dovuto al carico resistivo della lampada ad incandescenza.

Le lampade funzionanti ad alta pressione emettono pacchetti di spettro continuo, invece le lampade a bassa pressione emettono righe monocromatiche.

Lampade ai vapori di mercurio

Le lampade al mercurio sono costituite da un'ampolla in vetro esterna e da un tubo di quarzo interno per la scarica; all'interno del tubo di scarica ci sono i vapori di mercurio ad alta pressione che grazie alla scarica emettono delle onde ultraviolette (2537 Å). L'ampolla esterna è ricoperta internamente di polvere fluorescente (vanadato d'ittrio o alluminato di ittrio) che trasduce la radiazione ultravioletta in radiazione visibile dal caratteristico colore bianco.

Le lampade ai vapori di mercurio sono presenti soprattutto nelle strade cittadine. Emettono luce bianchissima (tonalità di luce fino a 4000 gradi *Kelvin*, grado ed indice di colore fra 2B/Ra 60-69 - Ra 40 -59) ed il loro spettro copre tutta la luce visibile con punte dal violetto all'arancione. (4000 - 6500 nm). La tendenza attuale prevede la loro sostituzione con le lampade al sodio ad alta pressione. Tra l'altro, la legislazione le considera rifiuto speciale in quanto contenenti mercurio. In definitiva sono da evitare per tre motivi: scarsa efficienza luminosa, emissione su tutto lo spettro, difficoltà e costi di smaltimento.

Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa 5 minuti dall'accensione.

Il fattore di potenza di una lampada al mercurio è pari a 0,5 - 0,7, la corrente di spunto all'accensione è pari circa al 140% della nominale.

Le lampade al mercurio possono funzionare con potenza ridotta del 50% purché l'accensione avvenga alla piena potenza.

Nel caso di spegnimento si riaccendono dopo pochi minuti in quanto a caldo la tensione di innesco è superiore alla tensione nominale.

Le lampade al mercurio possono dar luogo a radiodisturbi che si eliminano collegando in parallelo alla lampada un condensatore elettrico.

La durata di vita è di circa 10.000 ore e non risente delle piccole variazioni di tensione (+/- 5%).

La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 25%.

Lampade a vapori di alogenuri metallici

Le lampade agli alogenuri metallici sono costituite da un tubo ai vapori di mercurio con aggiunti degli ioduri metallici (tipo il sodio, sodio/scandio, tallio, cesio, ecc.), che contribuiscono ad aumentare l'efficienza delle lampade ma con uno spettro micidiale per le osservazioni astronomiche. L'effetto delle lampade agli alogenuri metallici è ancora più devastante in quanto la luce è bianchissima e copre tutto lo spettro visibile. L'effetto è aggravato dal fatto che le lampade agli alogenuri, in genere, vengono adoperate per potenze elevate.

Le lampade agli alogenuri sono molto compatte e vengono usate, in genere, negli impianti sportivi ed industriali, e presentano una tonalità di luce diurna o bianchissima, hanno un'ottima resa dei colori (tonalità di luce fra i 4000 e oltre i 5000 gradi Kelvin, grado ed indice di colore pari a 1A/Ra 90-100). Sono il nemico numero uno dell'astrofilo in quanto la loro radiazione non può essere filtrata con i filtri passa/banda (filtri nebulari).

La loro sostituzione con altri tipi di lampade è problematica laddove sono usate per illuminare i campi sportivi in quanto per seguire i movimenti rapidi e/o la palla c'è bisogno dell'intero spettro; bisogna puntare sull'inclinazione dei fari, sull'utilizzo delle ottiche asimmetriche, sulle schermature e sulla riduzione della potenza.

Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa 4 minuti dall'accensione.

Possono raggiungere le 5.000 - 6000 ore di vita (la durata di vita si abbrevia del 30/40% per aumenti di tensione medi del 5%). La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 40%.

Con speciali accenditori o alimentatori possono riaccendersi all'istante. Presentano un fattore di potenza simile alle lampade al mercurio.

Bisogna prestare la massima attenzione nel regolare il flusso luminoso delle lampade agli alogenuri, infatti a tensione ridotta possono insorgere aberrazioni cromatiche e diminuire la vita di funzionamento.

La corrente di spunto di queste lampade può raggiungere il 190% della corrente nominale.

Una caratteristica delle lampade agli alogenuri è l'emissione di radiazione elettromagnetica nel campo dell'ultravioletto e quindi possono funzionare solo in apparecchi ermeticamente chiusi con parabole in vetro resistente all'alta temperatura ed infrangibile.

Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione

Le lampade al sodio a B.P. contengono il gas neon ed il sodio. Prima si innesca la scarica nel neon, successivamente quando la temperatura è salita il sodio si ionizza ed emette la caratteristica luce gialla. Le lampade al sodio a B.P. presentano dimensioni maggiori rispetto alle equivalenti lampade ad A.P..

La pressione interna è di qualche Pascal. Hanno la massima efficienza luminosa, emettono luce monocromatica gialla sulla lunghezza d'onda del doppietto del sodio (589-589,6 nm) e quindi disturbano poco le osservazioni in quanto la luce è bloccata dai filtri nebulari. Sono le lampade migliori per efficienza luminosa ma data la loro emissione monocromatica sono utilizzate per zone industriali, depositi, alcuni svincoli autostradali, distributori di benzina fuori città. Nella tab. 1 sono riportate le caratteristiche tecniche di alcune lampade da 250 W in confronto con una lampada al sodio B.P. da 180 W.

Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa 15 minuti dall'accensione.

Il fattore di potenza di una lampada al sodio B.P. è appena 0,3, quindi una serie di lampade necessita del rifasamento dell'impianto (aumento del fattore di potenza); la corrente di spunto all'accensione è uguale a quella nominale.

Nel caso di spegnimento si riaccendono dopo poche decine di secondi o alcuni minuti.

Possono raggiungere le 8.000 - 10.000 ore di vita (la durata di vita non si abbrevia per aumenti / diminuzioni di tensione medi del 5%).

La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 40%.

E' una lampada ecologica in quanto non contiene mercurio.

Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione ed al sodio/xeno

Le lampade al sodio ad A.P. presentano una maggiore pressione del sodio che lavora anche ad una temperatura maggiore. Sono costituite da un'ampolla e da due elettrodi. Il tubo contiene vapori di sodio ed altri gas inerti tipo il neon ed argon. All'accensione della lampada, la scarica è guidata dal neon poi raggiunto lo stato di regime la lampada funziona tramite il sodio. Le lampade al sodio ad A.P. presentano una tonalità di luce calda fra il rosa e l'arancione (tonalità di luce minore di 3300 gradi *Kelvin*, grado ed indice di colore fra 2B/Ra 60-69 - Ra 20-39). Sono usate soprattutto nell'illuminazione delle vie cittadine e la loro efficienza luminosa è superiore a quella delle lampade al mercurio e delle lampade agli alogenuri (si possono raggiungere i 150 lm/W). In genere emettono fra 5500 e 7500 Å ma con intensità decrescente con la lunghezza d'onda (dal giallo al rosso). I filtri nebulari permettono di filtrare la loro radiazione.

Aumentando la pressione del sodio fino a 90 *kPa*, l'efficienza luminosa man mano diminuisce, mentre la luce diviene sempre più bianca.

In definitiva una buona lampada al sodio ad A.P. deve presentare una colorazione rosa/arancio, in quanto avrà un'efficienza maggiore di 100 lm/W e porrà meno problemi alle osservazioni astronomiche presentando uno spettro migliore.

Il flusso luminoso può essere ridotto del 55% rispetto al nominale; il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa 10 minuti dall'accensione.

Il fattore di potenza di una lampada al sodio A.P. è pari a 0,5, la corrente di spunto all'accensione è pari circa al 120% della nominale.

Nel caso di spegnimento si riaccendono dopo pochi minuti in quanto a caldo la tensione di innesco è superiore alla tensione nominale. Con speciali accenditori o alimentatori possono riaccendersi all'istante.

Possono raggiungere le 8.000 – 12.000 ore di vita (la durata di vita non si abbrevia per aumenti / diminuzioni di tensione medi del 5%). La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 10%.

Facciamo notare che sul mercato esistono delle lampade al sodio/xenon che hanno una luce calda molto simile a quella delle lampade ad incandescenza e grado di resa dei colori simile alle lampade al mercurio; le lampade al sodio/xenon quindi pur contenendo sodio sono più "inquinanti" dal punto di vista astronomico. Esistono in commercio delle lampade al sodio/xeno che hanno la possibilità di poter funzionare con due tonalità di luce diverse; le temperature di colore variano da 2500 a 3000 K. Il flusso luminoso può essere ridotto del 55% rispetto al nominale. Non contengono mercurio.

Deve essere prestata la massima attenzione nell'uso di queste lampade per illuminare oggetti o macchine o rapidi movimenti in quanto presentano effetti stroboscopici.

Lampade elettroniche

Le lampade elettroniche, in questa sede sono solo accennate, in quanto il loro uso è rivolto a piccoli impianti per esterni. Risparmiano circa l'ottanta per cento di energia rispetto ad una lampada ad incandescenza ed hanno una vita lunghissima (circa 10.000 ore). Sono alimentate ad alta frequenza (35 kHz), molto compatte e leggere danno la stessa tonalità di luce delle lampade ad incandescenza ed un'ampia resa di colori. L'uso di queste lampade è limitato a dei piccoli globi luminosi o lanterne per esterni.

Dati tecnici lampade

I dati tecnici principali delle lampade riportate sui cataloghi, di norma, sono:

tensione di alimentazione (V), flusso luminoso (lm), efficienza luminosa (lm/W), luminanza media (cd/cm^2), temperatura di colore ($^{\circ}\text{K}$), indice di resa dei colori, posizione di funzionamento, condensatore di rifasamento a 50 Hz (μF).

Il flusso luminoso per alcuni tipi di lampade può essere ridotto di circa il 50% dopo un certo orario, notando però che nel caso delle lampade agli alogenuri si hanno delle aberrazioni cromatiche e una diminuzione di vita. Notiamo che i riduttori di flusso luminoso che si basano sulla riduzione della tensione di alimentazione hanno l'effetto di diminuire la vita della lampada, inoltre per certi valori della tensione di illuminazione inferiori ai valori minimi prescritti dal fabbricante (180 V per le lampade al mercurio, 198 V per le lampade agli alogenuri e sodio A.P.) la lampada non resta accesa.

I regolatori migliori sono gli elettronici che lavorano direttamente o tramite trasformatori. Il principio di funzionamento è basato sulla diminuzione della tensione ai capi della lampada

(regolazione a variazione d'impedenza) o sulla durata della conduzione in ogni semiperiodo (variazione ad interdizione di fase).

Le potenze delle lampade in commercio sono in genere:

70, 100, 150, 250, 400, 1000, 2000, 3550 W per gli alogenuri;

70, 100, 150, 210, 250, 350, 400, 600, 1000, 2000 W per il sodio A.P.;

50, 80, 100, 125, 160, 250, 400, 500 W per il mercurio;

18, 35, 55, 90, 135, 180 W per il sodio B.P.

La tabella 1 mostra delle grandezze fotometriche in funzione del tipo di lampade:

	ALOGENURI	SODIO A.P.	MERCURIO	SODIO B. P.
lm	20.000	33.000	14.000	33.000
lm/W	80	132	56	183
cd/m²	1.350	500	10	10
K	4/5000	< 3300	< 4000	giallo
W	250	250	250	180

Tab. 1. Sono indicati, per vari tipi di lampade, nella prima riga il flusso luminoso, nella seconda l'efficienza luminosa, nella terza la luminanza, nella quarta la temperatura di colore, infine nella quinta la potenza della lampada.

Analizzando con attenzione i dati in tabella, si desume che: l'efficienza luminosa delle lampade al sodio a bassa pressione è la più elevata, addirittura tripla delle lampade al mercurio, cioè a parità di lumen emessi le lampade al sodio a bassa pressione consumano un terzo dell'energia. Le lampade agli alogenuri hanno la più elevata intensità luminosa per unità di superficie emittente. La luce emessa è bianchissima per le lampade agli alogenuri, bianca per quelle al mercurio, rosa/arancione per le lampade al sodio ad alta pressione, gialla per le lampade al sodio a bassa pressione. Una lampada al sodio a bassa pressione, pur di potenza ridotta del 30%, ha un flusso luminoso pari ad una lampada al sodio ad A.P. da 250 W ed addirittura un flusso più che doppio rispetto ad una lampada al mercurio.

Riguardo alla durata di vita delle lampade, facciamo notare che gli alimentatori elettronici (premontati nel corpo illuminante) hanno allungato la durata della vita delle lampade al sodio, minimizzando la differenza con le lampade al mercurio. Inoltre, gli alimentatori permettono di stabilizzare l'efficienza luminosa delle lampade al sodio, cosa che non succede con le lampade al mercurio che con l'invecchiamento riducono la loro già bassa efficienza luminosa.

Il prezzo di una lampada al sodio ad A.P. è maggiore di circa il 30 - 40% rispetto ad una lampada al mercurio ed inoltre, nonostante gli alimentatori, la durata di vita delle lampade al sodio ad A.P. è comunque minore rispetto alle lampade al mercurio. Sembrerebbe che le lampade al sodio, nonostante la loro maggiore efficienza, poi siano antieconomiche a causa del maggiore prezzo di acquisto, ma in effetti quest'ultima voce è controbilanciata da altri costi dovuti alle lampade al mercurio; infatti, queste ultime danno luogo a due spese aggiuntive:

- alti costi di esercizio;
- raccolta, trasporto e successivo smaltimento.

La sostituzione delle lampade al mercurio con lampade al sodio ad alta pressione può essere effettuata tenendo conto che:

- in genere la lampada al sodio richiede un alimentatore, un accenditore (da installare in prossimità della lampada) ed un condensatore di rifasamento, mentre la lampada al mercurio richiede un alimentatore ed un condensatore di rifasamento; comunque alcuni tipi di lampade al sodio possono fare a meno dell'accenditore.

Appendice

1) Il fattore di potenza ed il rifasamento

I circuiti elettrici alimentati con energia elettrica in regime sinusoidale permanente (in gergo corrente alternata) possono essere di tipo resistivo, induttivo, capacitivo o misti; nell'ordine il carico elettrico è costituito da: una resistenza, un induttore, una capacità o da un insieme di questi componenti.

La corrente elettrica presenta un angolo di sfasamento rispetto alla tensione applicata al circuito in funzione del carico (figure 11, 12 e 13):

- carico resistivo, angolo pari a zero;
- carico induttivo: angolo pari a 90° in ritardo;
- carico capacitivo: angolo pari a 90° in anticipo.

Nel caso delle lampade a scarica di gas il carico è misto (resistivo/induttivo) e l'angolo di sfasamento in ritardo è compreso fra 0 e 90° .

Il fattore di potenza è il coseno dell'angolo di sfasamento ed assume i seguenti valori:

- 1 carico resistivo
- 0 carico induttivo puro;
- 0 carico capacitivo puro.

Le Società elettriche non tollerano angoli di sfasamento eccessivi a causa dell'impegno eccessivo della potenza installata e quindi costringono gli utenti a diminuire tale angolo a valori tollerabili (coseno pari a circa 0,8 - 0,9).

L'aumento del fattore di potenza o la riduzione dell'angolo di sfasamento si effettuano tramite condensatori elettrici supplementari applicati all'impianto, tale tecnica è chiamata "rifasamento".

2) Energia e potenza

L'energia è data dalla formula:

$$\text{Energia} = \text{potenza} \times \text{tempo}$$

dove l'energia si misura in J (joule,) la potenza è espressa in W (watt) ed il tempo in secondi.

Le società elettriche fatturano l'energia elettrica consumata in chilowattora (una unità di misura maggiore del joule), $1\text{kWh} = 1000 \text{ watt} \times 1 \text{ ora} = 3.600.000 \text{ J}$.

3) L'effetto Joule nelle lampade ad incandescenza

La corrente elettrica circola nel filamento di una lampada ad incandescenza quando ai capi del filamento si applica una tensione elettrica; il filamento di una lampada ad incandescenza è un carico puramente resistivo.

La corrente elettrica è data dalla formula:

$$I = V/R$$

dove I è la corrente in A (ampere), V la tensione in V (volt) e R la resistenza in Ω (ohm).

Una resistenza elettrica percorsa da corrente elettrica da luogo all'effetto Joule, definito dalla formula:

$$P = R \times I^2$$

cioè la potenza della lampada è pari al prodotto della resistenza elettrica del filamento e della corrente elettrica al quadrato che circola nel filamento stesso.

Il filamento percorso dalla corrente si scalda trasformando l'energia elettrica in calore ed energia raggianti.