

Capitolo 7

Elementi di Illuminotecnica

In questo capitolo verranno discussi gli elementi fondamentali dell'Illuminotecnica, una disciplina che si interessa della corretta realizzazione degli impianti di illuminazione per interni ed esterni, e verranno presentate le caratteristiche fisiche e costruttive delle principali sorgenti luminose utilizzabili negli impianti di illuminazione, al fine di poter operare una scelta adeguata al loro impiego. Gli elementi che concorrono alla determinazione del tipo di sorgente luminosa da impiegare in un impianto sono la potenza elettrica disponibile, l'ingombro dell'apparecchio illuminante, il tipo di resa cromatica e le caratteristiche dell'ambiente nel quale è installato l'impianto, mentre le caratteristiche fisiche delle sorgenti luminose sono determinate da alcuni parametri, detti grandezze fotometriche.

La luce può essere definita come energia raggiante, costituita da onde elettromagnetiche che, colpendo l'occhio umano, determinano la sensazione della visione: la natura dell'energia luminosa è la stessa di quella delle altre radiazioni elettromagnetiche, tra cui ricordiamo, in particolare le onde radio, le radiazioni infrarosse, le radiazioni ultraviolette, i raggi X e la radiazione gamma. Tutte le radiazioni elettromagnetiche, compresa quindi la luce, si trasmettono in linea retta alla identica velocità, prossima a 300000 km/s. Gli unici parametri che costituiscono una differenziazione fra i vari tipi di onde elettromagnetiche, per quanto riguarda la loro diffusione nello spazio, sono la lunghezza d'onda, la frequenza e l'ampiezza. La lunghezza d'onda, che indicheremo con la lettera λ è la distanza fra due punti di ampiezza massima di due onde successive. La frequenza, che indicheremo con la lettera f , è il numero di onde complete che transitano in un punto dello spazio, nell'unità di tempo. La lunghezza d'onda λ e la frequenza f sono legate dalla seguente relazione

$$f = \text{velocità di propagazione} \quad 300000 \text{ km/s} .$$

Per alcuni tipi di radiazioni elettromagnetiche, come ad esempio le onde radio, la lunghezza d'onda ha un valore molto elevato, tanto da essere espressa usualmente in centinaia di metri, oppure in chilometri. La lunghezza d'onda della luce visibile viene, d'abitudine, espressa in micron (μm). Accanto al micron, tuttavia, viene anche adoperato il nanometro (nm) e l'angstrom (\AA), definiti da

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} , \quad 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} , \quad 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} .$$

In tal modo, il centro della regione del visibile si può esprimere come $0.55 \mu\text{m}$, o 550 nm , o 5500 \AA .

7.1 Fotometria

Tutti noi, essendoci adattati per selezione genetica al Sole, abbiamo due recettori, i nostri occhi, che operano in quella regione dello spettro elettromagnetico, detta della luce visibile. La luce è, dunque, una forma di energia radiante, costituita da onde elettromagnetiche di diversa lunghezza d'onda, compresa nella gamma che va da $0.38 \mu\text{m}$ per il violetto fino a $0.78 \mu\text{m}$ per il rosso. Tra questi due valori si individua lo spettro visibile. Stesse quantità di energia raggianti aventi differenti lunghezze d'onda non determinano, in generale, un'impressione luminosa ugualmente intensa. L'occhio umano valuta in misura diversa l'intensità relativa alle varie lunghezze d'onda. Se, ad esempio, si considerano uguali quantità di energia corrispondenti a varie lunghezze d'onda e si paragona l'intensità dell'impressione luminosa ricevuta, si constata che alla radiazione giallo-verde corrisponde l'impressione luminosa più intensa. Le radiazioni rosse e violette determinano, invece, un'impressione molto più debole.

L'occhio umano, dunque, mostra una diversa sensibilità alla radiazione visibile e, come mostra la Figura 7.1, la percezione visiva è massima in corrispondenza di $0.55 \mu\text{m}$, in corrispondenza del colore giallo-verde; a questa lunghezza d'onda corrisponde anche il minor affaticamento dell'occhio. La figura rappresenta la sensibilità spettrale relativa dell'occhio di un osservatore scelto come campione a radiazioni di varie lunghezze d'onda e mostra che il centro della regione del visibile è a circa $0.55 \mu\text{m}$: luce di questa lunghezza d'onda produce la sensazione di giallo-verde.

Per lunghezze d'onda inferiori a $0.38 \mu\text{m}$ si hanno le radiazioni ultraviolette, che sono riproducibili artificialmente, ad esempio, per mezzo di lampade abbronzanti, mentre per lunghezze d'onda superiori a $0.78 \mu\text{m}$ si è in presenza di radiazione infrarossa, riproducibile artificialmente per mezzo di apparecchiature riscaldanti. L'occhio può rivelare la radiazione fra questi due limiti se è sufficientemente intensa: in molti esperimenti, al posto dell'occhio umano, si possono usare lastre fotografiche o rivelatori elettronici sensibili alla luce. I limiti dello spettro visibile, comunque, non sono ben definiti perché la curva della sensibilità dell'occhio tende a zero asintoticamente sia per le lunghezze d'onda lunghe che per quelle corte.

La fotometria si interessa dello studio della luce in relazione alla sensibilità dell'occhio. Le grandezze fisiche che legano i parametri della luce alla percezione umana sono l'intensità luminosa, il flusso luminoso e l'illuminamento.

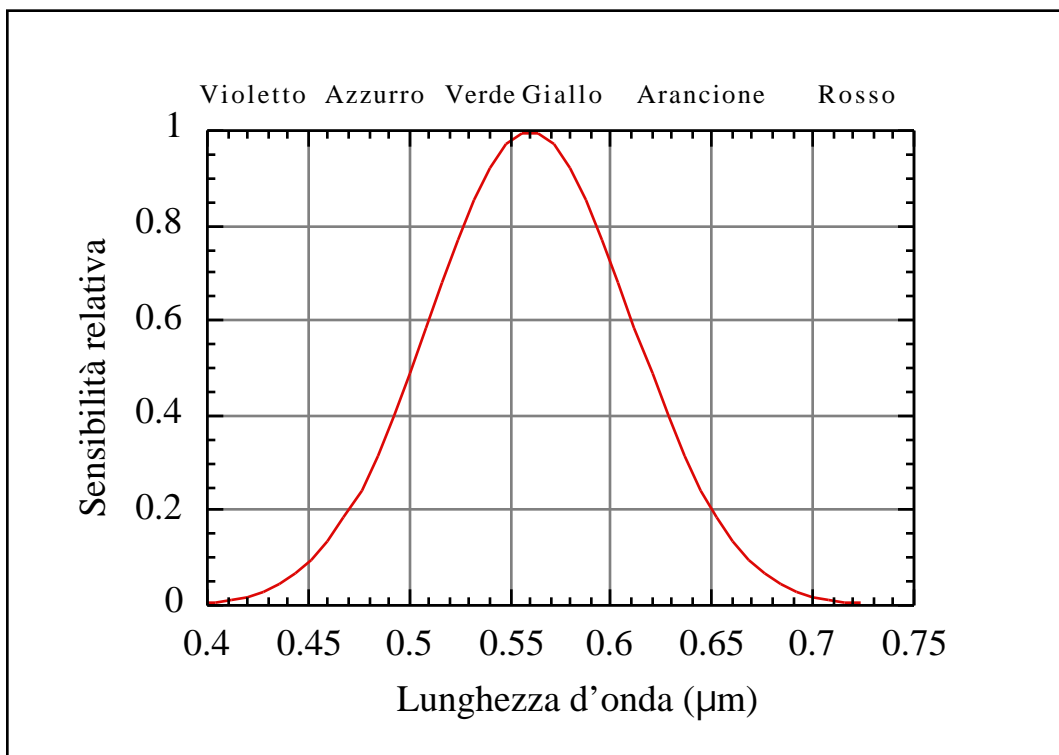


Figura 7.1: curva di visibilità.

Il fatto che si riesca a percepire, sotto forma di luce, soltanto una parte così limitata delle radiazioni elettromagnetiche è dovuto alla particolare struttura dell'occhio umano: una proprietà molto importante degli occhi, comunque, è la facoltà di distinguere i diversi colori, la capacità cioè di stabilire un confronto fra le onde di differente lunghezza d'onda dello spettro visibile. Quando l'occhio riceve una radiazione la cui lunghezza d'onda è, ad esempio, di 470 nm, percepisce una luce blu, mentre una radiazione di 600 nm corrisponde ad una luce di colore arancione. I diversi colori fondamentali, corrispondenti alle diverse lunghezze d'onda comprese nei limiti su indicati (380 nm e 780 nm), sono ben distinguibili nell'arcobaleno:

- violetto (410 nm);
- blu (470 nm);
- verde (520 nm);
- giallo (580 nm);
- arancione (600 nm);
- rosso (650 nm).

Le lunghezze d'onda comprese tra quelle indicate corrispondono a tutta la gamma di tonalità intermedie tra un colore fondamentale e l'altro. Quando le diverse lunghezze d'onda colpiscono contemporaneamente l'occhio, i loro effetti si integrano e danno luogo alla cosiddetta luce bianca. La luce bianca non corrisponde ad una determinata lunghezza d'onda, ma è prodotta dalla fusione delle luci di diverso colore che costituiscono lo spettro visibile. Ciò può essere verificato con l'attraversamento dei raggi solari in un prisma di vetro; poiché l'indice di rifrazione non è uguale per tutte le lunghezze d'onda ed è tanto più elevato quanto più queste sono piccole, dalla parte opposta del prisma emerge una successione di raggi luminosi, il cui colore passa dal violetto al rosso.

I colori rosso, verde e blu sono detti primari o fondamentali perché con la loro mescolanza è possibile ottenere qualunque gradazione di colori. Si dicono, invece, complementari due colori, ad esempio il rosso ed il verde, il giallo ed il blu, la cui somma è il bianco.

Le radiazioni di lunghezza d'onda comprese tra 780 nm ed 1 nm e quelle di lunghezza d'onda compresa tra 380 nm e 100 nm costituiscono, rispettivamente, la banda delle radiazioni infrarosse e di quelle ultraviolette. Esistono in commercio particolari lampade adatte ad emettere determinate radiazioni infrarosse od ultraviolette, impiegate sia per scopi terapeutici che per scopi industriali.

• **Definizioni fondamentali**

L'**intensità luminosa**, indicata con il simbolo I , rappresenta la potenza radiante emessa da una sorgente puntiforme in una data direzione e si misura in candele (cd). Precisamente una candela rappresenta l'intensità luminosa di una superficie con area $1/60 \text{ cm}^2$ del corpo nero alla temperatura di solidificazione del platino, emessa nella direzione perpendicolare alla superficie stessa, alla pressione 101325 Pa. Il corpo nero è un corpo in grado di emettere ed assorbire radiazioni luminose di ogni lunghezza d'onda. È possibile paragonare l'intensità luminosa all'intensità di un getto d'acqua in una determinata direzione.

Il **flusso luminoso** è la misura della potenza luminosa complessivamente irradiata da una sorgente; si indica, solitamente, con il simbolo Φ e si misura in lumen. Un lumen è $1/(4\pi)$ volte la potenza luminosa totale emessa da una sorgente puntiforme, avente intensità di una candela. Poiché l'angolo solido attorno ad una sorgente puntiforme è pari a 4π steradiani, il flusso luminoso totale Φ , emesso da una sorgente di intensità I , vale

$$\Phi = 4\pi I .$$

Il flusso luminoso emesso da una sorgente può essere misurato in laboratorio mediante uno strumento detto fotometro integratore o sfera di Ulbricht.

Per comprendere il significato del flusso luminoso, basta pensare alla differente quantità di luce emessa da una lampadina da bicicletta e da una normale lampada ad incandescenza, ad esempio da 100 W. Nella tabella che segue sono riportati i valori di flusso luminoso emesso da alcune sorgenti.

Tipo di lampada	Potenza (W)	Flusso luminoso (lm)
Fanale per bicicletta	2	18
Incandescenza normale	100	1380
Tubo fluorescente	36	3350
Vapore di mercurio	125	6300
Vapore di sodio	100	9500

Si definisce **illuminamento** in un punto di una superficie, tipicamente indicato con il simbolo E, la densità di flusso luminoso in quel punto; esso si misura in lux (lx), laddove

$$1 \text{ lux} = 1 \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2} .$$

L'illuminamento può essere inteso come la quantità di luce presente nell'unità di superficie e, poiché l'intensità luminosa non è costante nelle varie direzioni, si intenderà come illuminamento medio. In tal modo, l'illuminamento di una sorgente che irradia isotropicamente in tutte le direzioni un'intensità luminosa I, posta al centro di una sfera di raggio r, è pari a

$$E = \frac{\text{Flusso}}{4 \pi r^2} = \frac{4 \pi I}{4 \pi r^2} = \frac{I}{r^2} .$$

Ne segue che, se una sorgente puntiforme di intensità luminosa I è posta ad una distanza r da una superficie di area A e se il flusso luminoso forma un angolo con la normale alla superficie, l'illuminamento di questa vale

$$E = \frac{\text{Flusso}}{A} = \frac{1}{A} \frac{I A \cos \theta}{r^2} = \frac{I}{r^2} \cos \theta .$$

Ad esempio, sul bordo di un tavolo circolare di 1 m di raggio, l'illuminamento prodotto da una sorgente di 200 cd, sospesa ad una distanza di 3 m dal suo centro, vale

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta = \frac{200}{9 + 1} \frac{3}{\sqrt{10}} = 19 \text{ lx} .$$

La **luminanza**, detta pure brillantezza, rappresenta il flusso luminoso per unità di superficie e per unità di angolo solido emesso o riflesso. Il simbolo è L e l'unità di misura è la candela al metro quadrato (cd/m^2). Questo parametro sintetizza l'effetto che una sorgente luminosa ha sul nostro occhio, essendo la misura dell'abbagliamento di una sorgente luminosa.

L'**efficienza luminosa** è definita come il rapporto tra il flusso emesso e la potenza elettrica assorbita dalla sorgente; il simbolo è η e l'unità di misura è il lumen per watt (lm/W). L'efficienza luminosa determina il rendimento della sorgente: si potrà verificare nel seguito come, a parità di potenza elettrica assorbita, vi siano sorgenti luminose che forniscono un maggior flusso luminoso.

• Legge dell'inverso dei quadrati

Si consideri una sorgente puntiforme e due superfici parallele poste, rispettivamente, a distanza d_1 e d_2 da essa. La legge dell'inverso dei quadrati delle distanze afferma che l'illuminamento delle due superfici è in rapporto inverso ai quadrati delle distanze delle stesse dalla sorgente. Pertanto, se E_1 ed E_2 sono gli illuminamenti sulle due superfici, risulta

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}.$$

Questa legge si può ricavare immediatamente, osservando che l'illuminamento E su uno schermo, prodotto da una sorgente di intensità luminosa I , è inversamente proporzionale al quadrato della distanza r tra la sorgente e lo schermo, ossia

$$E = \frac{I}{r^2}.$$

Ad esempio, si supponga di avere due sorgenti luminose puntiformi di intensità $I_1 = 10 \text{ cd}$ e $I_2 = 90 \text{ cd}$, poste a 10 m l'una dall'altra, e di voler determinare i punti ad uguale illuminamento, posti sulla retta che congiunge le sorgenti. Indicando, allora, con

$$r_1 = x, \quad \text{la distanza dalla sorgente di } 10 \text{ cd},$$

$$r_2 = 10 - x, \quad \text{la distanza dalla sorgente di } 90 \text{ cd},$$

nei punti di uguale illuminamento risulta

$$E = \frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

Sostituendo i valori numerici assegnati, risulta

$$\frac{10}{90} = \frac{x^2}{(10-x)^2} \quad x_+ = 2.5 \text{ m} \quad \text{e} \quad x_- = -5 \text{ m}.$$

La prima soluzione rappresenta un punto posto, a destra della prima sorgente, ad una distanza di 2.5 m, mentre la seconda rappresenta un punto posto, a sinistra della prima sorgente, ad una distanza di 5 m.

7.2 L'occhio umano ed il meccanismo della visione

Prima di procedere all'analisi delle principali sorgenti luminose, è utile discutere in qualche dettaglio della costituzione dell'occhio umano e del meccanismo che consente di vedere.

La struttura ed il funzionamento dell'occhio umano possono essere paragonati ad una macchina fotografica. Naturalmente la struttura dell'occhio, che costituisce un organo vitale è assai più complessa di quella di un oggetto, quale una macchina fotografica. In una macchina fotografica si distinguono: diaframma, obiettivo, pellicola. Facendo ricorso alla terminologia usualmente adottata in fotografia, si può dire che l'occhio è costituito, essenzialmente, dai seguenti elementi: un sistema ottico che assicura la formazione dell'immagine, comprendente la cornea, l'umore acqueo, il cristallino e l'umore vitreo; un sistema di messa a fuoco che consente di ottenere un'immagine nitida qualunque sia la distanza tra l'occhio e l'oggetto, costituito dal cristallino e da una serie di piccoli muscoli; un diaframma, la pupilla, che regola la quantità di luce entrante nell'occhio; una membrana sensibile alla luce ed al colore, la retina, sulla quale si forma l'immagine; un sistema di protezione, le palpebre, che agiscono come schermo dell'occhio. Esaminiamoli in qualche dettaglio.

» Sistema ottico

Il sistema proietta, sulla retina, un'immagine capovolta e rimpicciolita. È compito del cervello raddrizzare le immagini, evitando che il mondo venga visto alla rovescia. Il funzionamento del sistema ottico può essere spiegato come segue: da ogni punto della zona circostante l'oggetto, l'occhio riceve un fascio di raggi luminosi divergenti. Il cristallino, che può essere paragonato ad una lente biconvessa, concentra tutti i raggi, provenienti dalle varie parti dell'oggetto, in un

punto della retina. Si forma così un gran numero di punti immagine che, insieme, costituiscono l'immagine retinica dell'oggetto.

» Sistema di messa a fuoco

L'occhio si adatta automaticamente alla distanza fra cristallino ed oggetto; questa facoltà viene denominata accomodamento. Quando l'occhio è a riposo, la curvatura del cristallino è pressoché nulla e l'occhio è adattato alla osservazione di oggetti posti a distanza infinita. Con questo accomodamento gli oggetti a distanza maggiore di 6 m sono visti con nitidezza. Per osservare oggetti posti a distanza minore di 6 m i muscoli, cosiddetti ciliari, si contraggono ed aumentano il raggio di curvatura del cristallino che diviene sufficientemente convesso da fornire, anche in questo caso, un'immagine nitida. È ovvio che il normale accomodamento dipende, in larga misura, dalla elasticità del cristallino. In giovane età, l'elasticità è tanto accentuata che è possibile osservare nitidamente oggetti a distanza di appena 15 cm. Col passare degli anni il cristallino diviene meno elastico e la capacità di adattamento va diminuendo per cui è necessario far ricorso ad adatti occhiali.

» Diaframma

La pupilla, proprio come nel diaframma delle macchine fotografiche, regola la quantità del flusso luminoso entrante nell'occhio ed influenza, nel contempo, la profondità di campo. I muscoli ciliari possono far variare il diametro della pupilla tra 2 mm ed 8 mm, per cui la pupilla può dilatarsi al massimo nel caso di poca luce e contrarsi al massimo nel caso di troppa luce.

» La retina

La retina si comporta come una pellicola fotografica e può ricevere impressioni sia in bianco e nero, sia a colori. Essa è costituita da un gran numero di cellule sensibili alla luce che si differenziano in bastoncelli e coni. Gli impulsi luminosi ricevuti dai coni e dai bastoncelli vengono trasmessi al cervello tramite il nervo ottico. I bastoncelli, a differenza dei coni, non sono sensibili al colore. Sia gli uni che gli altri hanno, comunque, il potere di modificare la propria sensibilità a seconda che la luce disponibile sia poca o molta e contribuiscono a realizzare l'adattamento dell'occhio. La concentrazione dei bastoncelli e dei coni varia sull'area della retina. Una piccola depressione al centro della retina, la fovea, avente un diametro di circa 0.5 mm, contiene solo coni. Esternamente a questa area coni e bastoncelli sono mescolati e la quantità di coni diminuisce man mano che ci si avvicina alla zona periferica della retina. In condizioni di illuminazione molto scarsa solo i bastoncelli determinano il fenomeno della visione; in questo caso, la percezione periferica è superiore a quella foveale e non si ha la sensazione del colore (visione scotopica).

Nel caso, invece, in cui la luce disponibile è sufficiente, i principali elementi attivi sono i coni ed ha luogo la normale visione dei colori (visione fotopica).

7.3 Sorgenti luminose

Le prime sorgenti luminose usate dall'uomo furono le torce e le fiaccole, tipicamente formate da sostanze resinose, da cortecce arrotolate di alberi e da canapa impregnata di grasso. Ben presto comparve la candela, fabbricata in origine con fibre vegetali immerse nella pece oppure in cera animale. Più tardi vennero impiegate le sostanze oleose e si diffusero dovunque, divenendo anche elemento decorativo, le lucerne di terracotta. Le prime candele, in cera oppure in sego, apparvero nel primo secolo dopo Cristo ed è alla loro flebile luce che i primi cristiani si riunivano nelle catacombe. Nei secoli immediatamente successivi non si hanno sostanziali progressi: le ciotole, le lucerne, le lanterne, i candelabri si uniformano allo stile dell'epoca, ma i sistemi di produzione della luce rimangono gli stessi.

A partire dalla prima metà del secolo XVII, comincia a diffondersi l'impiego delle lampade ad olio per l'illuminazione pubblica delle grandi città, ma soltanto nel 1850, con la scoperta delle proprietà illuminanti del petrolio, cominciano a diffondersi, soprattutto per l'illuminazione degli interni, le prime lampade dette appunto a petrolio. L'illuminazione a gas prese il sopravvento sugli altri sistemi soltanto negli ultimi anni del secolo XIX, grazie soprattutto alla introduzione della cosiddetta 'reticella', inventata da Auer nel 1855, che, costituita da sostanze refrattarie e sagomata a forma di manicotto in modo da poter essere applicata attorno alla fiamma, migliorò notevolmente le prestazioni di queste lampade.

L'inglese Humphry Davy riuscì, nel 1813, a stabilire un arco elettrico di luce vivissima tra due elettrodi, costruiti con comune carbone e posti in un bulbo di vetro ovoidale, nel quale veniva praticato un buon vuoto. Il francese Léon Foucault riprese, nel 1840, l'idea di Davy riuscendo a realizzare una lampada in cui, essendo gli elettrodi meno rapidamente combustibili, perché costituiti con carbone di storta (un carbone duro, compatto e lucente, ottenuto come residuo nella parte alta delle storte in cui si distilla la litantrace, dotato di elevata conducibilità elettrica) anziché con carbone comune, l'arco elettrico si manteneva per un tempo più lungo.

Negli stessi anni in cui si approfondivano gli studi relativi allo sviluppo delle lampade a gas e di quelle ad arco, i progressi conseguiti con lo sviluppo delle lampade ad incandescenza si intensificarono a tal punto che queste ultime, a partire dai primi anni del secolo XX, presero definitivamente il sopravvento.

Le sorgenti di luce oggi normalmente utilizzate sfruttano i fenomeni di emissione atomica di energia luminosa, che vengono indotti nelle diverse sostanze quando, per acquisizione di energia dall'esterno, un elettrone salta da un'orbita ad una più

esterna; dopo un tempo brevissimo, lo stesso elettrone ritorna nell'orbita iniziale, emettendo l'energia ricevuta sotto forma di **fotone**, il quanto elementare di luce.

A seconda delle diverse esigenze di illuminazione sono state escogitate varie soluzioni tecnologiche per la realizzazione di lampade che forniscano una soluzione adeguata. Ad esempio, se si presenta l'esigenza di una illuminazione localizzata, si può ricorrere all'impiego di lampade di piccole dimensioni. Quando, invece, sono necessarie forti efficienze luminose, si ricorre alle lampade a vapori di mercurio o di sodio. Altre volte sono necessarie particolari lampade ad uso germicida, per particolari colture o per effetti speciali, come le lampade Wood, o, più semplicemente, lampade colorate: in questi casi si ricorre a soluzioni tecnologiche che rendono possibili emissioni luminose in bande ben definite di lunghezza d'onda. A seconda dei metodi con cui viene fornita l'energia agli elettroni ed in dipendenza delle sostanze usate come emettitori, le sorgenti luminose si distinguono in

sorgenti ad incandescenza,
sorgenti a scarica nei gas,
sorgenti a fluorescenza.

Esaminiamo i tre tipi di sorgenti in qualche dettaglio.

• **Lampade ad incandescenza**

Un filamento di tungsteno avvolto a spirale viene immerso in una ampolla di vetro in cui è stato praticato un buon vuoto, oppure è stato introdotto un gas inerte a bassa pressione. Dall'ampolla emergono due elettrodi che consentono di far passare corrente attraverso il filamento, che, quando viene percorso da una corrente, si riscalda; l'aumento di temperatura fornisce energia agli elettroni, dando così origine al fenomeno dell'emissione luminosa. L'efficienza delle lampade ad incandescenza è pari a (10 ÷ 20) lumen/watt. La loro durata di vita, intesa come il periodo durante il quale conservano la suddetta efficienza luminosa, è di circa 1000 ore.

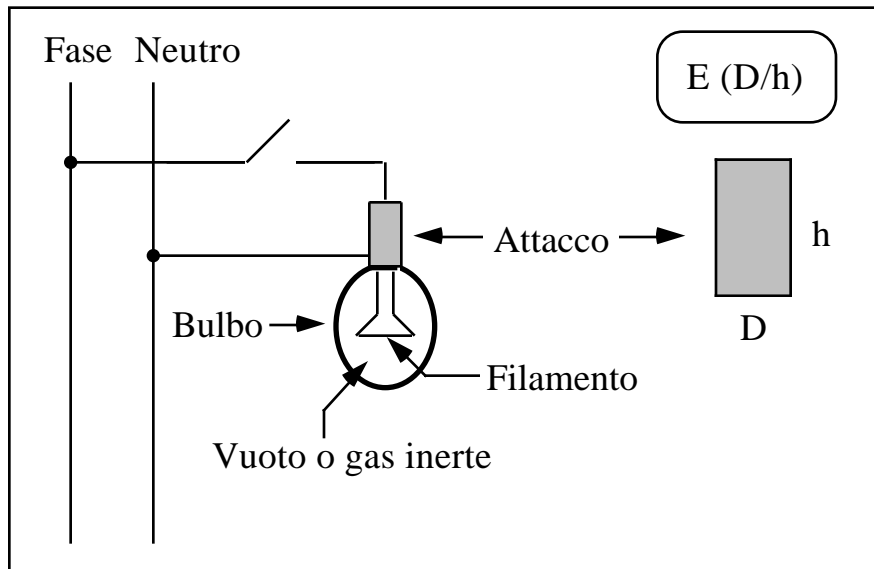


Figura 7.2: collegamento della lampada alla rete.

Da un punto di vista costruttivo, si distinguono per le dimensioni e la forma del bulbo, per le loro finiture esterne e per il tipo di attacco al portalampada.

Queste lampade hanno un costo contenuto, una buona resa cromatica ed il pregio di un'accensione immediata, non necessitando di apparecchiature ausiliarie. I principali difetti sono l'elevata produzione di calore, la bassa efficienza luminosa ed il forte abbagliamento. Il bulbo, con il tempo, tende ad annerirsi riducendo così le prestazioni della lampada: ciò è dovuto al fatto che una parte del filamento sublima, depositandosi sulle pareti del bulbo. In commercio si trovano i seguenti tipi di attacco Edison, descritto in Figura 7.2:

micromignon	E 10/13;
mignon	E 14/20;
normale	E 27/25;
golia	E 40/45.

Alcuni tipi di lampade ad incandescenza contengono, all'interno del bulbo, oltre al gas inerte piccole quantità di alogeno, tipicamente bromo oppure iodio, che permettono di riportare sul filamento il tungsteno sublimato durante l'incandescenza: si ottiene in tal modo una maggiore continuità luminosa e, grazie alla più elevata pressione interna, è possibile aumentare la temperatura del filamento con il conseguente miglioramento dell'efficienza luminosa. I bulbi per lampade alogene sono generalmente realizzati in quarzo e, pertanto, vanno tenuti puliti, evitando di toccarli con le mani, per non innescare un processo di devitrificazione: si consiglia di pulirli con l'alcool prima del loro uso.

• Lampade a scarica nei gas

In un'ampolla di vetro viene posto un gas, che può essere neon, vapore di sodio o vapore di mercurio. Alle due estremità dell'ampolla vengono sistemati due elettrodi. Fornendo una notevole differenza di potenziale tra i due elettrodi, il campo da essi generato è sufficiente a ionizzare il gas rendendolo conduttore. Inizia, in tal modo, il fenomeno di scarica attraverso il gas, accompagnato da emissione luminosa da parte degli elettroni del gas stesso, che ricevono energia dal campo applicato agli elettrodi.

L'inconveniente di queste lampade è che richiedono un'elevata tensione per innescare la scarica, ma, una volta che ciò sia avvenuto, presentano un'impedenza interna molto bassa, perciò è necessario disporre in serie ad esse un dispositivo, detto reattore, che, all'accensione, elevi il potenziale di rete, ma che, una volta avvenuta la scarica, presenti una resistenza interna piuttosto elevata, al fine di limitare la corrente; si tratta, in ultima analisi, di un autotrasformatore.

Per quanto riguarda l'efficienza e la durata si ha, per le lampade a vapori di mercurio, un'efficienza di $(30 \div 50)$ lumen/watt con una durata di 6000 ore, mentre, per le lampade a vapori di sodio, l'efficienza è più elevata, essendo pari a $(40 \div 70)$ lumen/watt, ma la durata è più bassa, essendo di 300 ore, circa.

Una caratteristica negativa, tipica delle lampade a scarica, è l'effetto stroboscopico. La corrente alternata è nulla due volte in un periodo ed alla frequenza di rete, 50 Hz, ciò accade due volte in 20 ms. Pertanto, in presenza di un impianto di illuminazione con lampada a scarica, si hanno degli istanti di non illuminazione e l'occhio non se ne accorge, dato che il tempo di intermittenza è inferiore a quello minimo di persistenza dell'immagine sulla retina: da ciò discende che oggetti in rapido movimento, specialmente circolare, possano addirittura sembrare fermi, se ruotano ad una velocità multipla dell'intermittenza. Tale effetto può dar luogo ad infortuni sul lavoro e, per questo motivo, è consigliabile, in ambienti in cui vi siano organi meccanici in movimento, alimentare, con due linee sfasate tra loro, più lampade a scarica oppure utilizzare un impianto totalmente o parzialmente a lampade ad incandescenza, che non risentono dell'effetto stroboscopico.

• **Lampade fluorescenti**

Queste lampada sono costituite, come le precedenti, da un'ampolla di vetro contenente un gas a bassa pressione, ma questa volta l'illuminazione avviene grazie al fatto che gli elettroni dotati di energia, che si originano quando si innesca la scarica, urtano le pareti del tubo, sulle quali è deposto uno strato di sostanza fluorescente. Tale sostanza, emettendo fotoni a causa degli urti, rende luminosa l'ampolla. A seconda di come viene innescata la scarica, si hanno le lampade ad elettrodi riscaldati o quelle ad elettrodi freddi.

Uno schema di montaggio delle *lampade ad elettrodi riscaldati* è mostrato in Figura 7.3. Lo starter è costituito da una coppia bimetallica in un'ampolla contenente gas

inerte. Quando si chiude il circuito della lampada, lo starter stabilisce un contatto incerto che dà luogo a passaggio di corrente ed innesca, nello starter stesso, l'arco voltaico: questo produce calore e riscalda la lamina bimetallica che chiude il circuito. In tal modo passa una corrente abbastanza elevata che riscalda gli elettrodi, ma allo stesso tempo, venendo a mancare l'arco, la lamina bimetallica dello starter si raffredda e riapre il circuito. Questa brusca interruzione della forte corrente circolante porta ad una sovratensione di apertura del reattore, che consente di raggiungere il potenziale di innesco della scarica tra i due elettrodi. Una volta innescata la scarica attraverso il gas contenuto nel tubo, essa si mantiene ed inizia il funzionamento a regime. L'efficienza di questi tubi è pari a $(30 \div 60)$ lumen/watt e la durata arriva fino a 10000 ore.

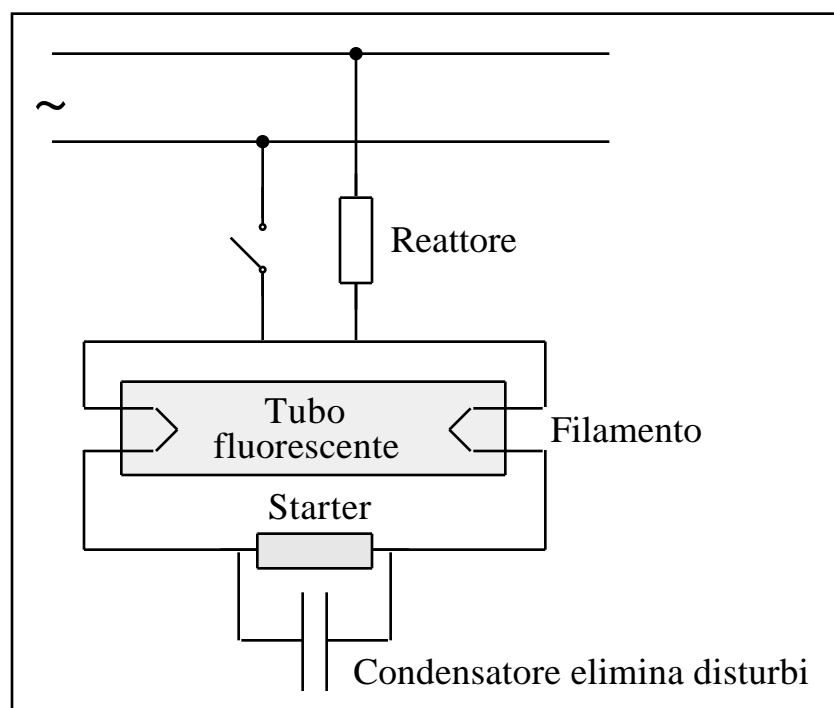


Figura 7.3 : impianto di accensione per lampade fluorescenti.

Le lampade ad elettrodi freddi mancano del meccanismo dello starter. Pertanto, richiedono che la tensione di innesco venga fornita dall'esterno mediante un autotrasformatore: occorre circa 1 kV per ogni metro lineare di lunghezza della lampada, che, di norma, è a forma di tubo. Si può ottenere, grazie ai gas posti all'interno ed ai fosfori delle pareti, una vasta gamma di tinte e, pertanto, questi tubi vengono utilizzati per le insegne luminose. L'efficienza è uguale a quella dei tubi ad elettrodi riscaldati, ma la durata è maggiore.

Prima di terminare questo paragrafo, vale la pena sottolineare che il lettore interessato può senz'altro rivolgersi alle pubblicazioni specialistiche delle case

costruttrici, per essere sempre aggiornato sulle ultime novità del mercato e sulle innovazioni tecnologiche che possono indirizzare la scelta.

7.4 Calcolo degli impianti di illuminazione

Gli studi più recenti sulla fisiologia della visione suggeriscono che gli ambienti occupati dall'uomo devono avere un'intensità ed una distribuzione dell'illuminazione consona alle funzioni cui sono adibiti. La tabella che segue riporta i valori medi di illuminamento della luce naturale.

Condizioni	Luogo	Illuminamento (lux)
Cielo sereno estivo	Zona aperta	100000
	All'ombra	10000 ÷ 20000
	All'interno di una stanza	500 ÷ 2000
Cielo coperto	Zona aperta	3000 ÷ 10000
Cielo plumbeo piovoso	Zona aperta	500
Cielo notturno con luna piena	Zona aperta	0.1
Cielo notturno stellato	Zona aperta	0.001

I risultati di tali studi sono stati recepiti dalle norme, che impongono la scelta dei tipi di lampade, la potenza delle stesse, la disposizione dell'impianto di illuminazione. Nella tabella che segue sono riportati i valori dell'illuminamento relativi ad alcuni ambienti.

Impianti	Locali	Illuminamento (lux)
Locali per abitazione	Scale	50 ÷ 100
	Sala da bagno	50
	Camera da letto	30
	Cucina	50 ÷ 80
	Soggiorno	100 ÷ 250
Scuole	Aule	250 ÷ 400
	Aule da disegno	400 ÷ 800
	Sale di lettura	200 ÷ 300
Negozi	Sale di vendita	500 ÷ 1000
	Vetrine di notte	1000 ÷ 3000
	Vetrine di giorno	5000 ÷ 10000
Officine	Illuminazione generale	200 ÷ 300
	Macchine di precisione	1000 ÷ 3000
	Aggiustaggio	250 ÷ 500

Strade	Strade secondarie	10 ÷ 20
	Strade medie	15 ÷ 25
	Strade principali	20 ÷ 30
	Piazze	25 ÷ 50

Si noti che, nella installazione di un impianto di illuminazione, ha interesse che venga di preferenza illuminato un punto, una superficie oppure un intero ambiente; a tale scopo, le sorgenti luminose vengono integrate da opportuni apparati, che possono essere riflettori, diffusori, rifrattori o proiettori.

Gli apparati **riflettori** consentono di indirizzare la massima intensità luminosa su determinate superfici; i **diffusori** distribuiscono l'intensità luminosa nelle varie direzioni, evitando fenomeni di abbagliamento; i **refrattori** distribuiscono la luce che li colpisce nelle varie direzioni; i **proiettori**, infine, concentrano in una ristretta superficie tutta l'intensità luminosa della sorgente.

Per comprendere sino in fondo lo scopo di questi accessori, è utile definire la **curva fotometrica** di una sorgente: essa è la curva, che si ottiene proiettando, su un piano contenente la sorgente luminosa, gli estremi dei vettori aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa della sorgente. In altri termini, se da una sorgente luminosa, che emette una certa intensità di luce nello spazio circostante, si tracciano vettori di lunghezza proporzionale all'intensità di illuminazione nelle varie direzioni, l'estremità di questi vettori definisce una superficie nello spazio: la curva fotometrica è l'intersezione di tale superficie con un piano passante per la sorgente. In Figura 7.4 è mostrata la curva fotometrica di una sorgente puntiforme e le circonferenze rappresentano punti ad uguale illuminamento.

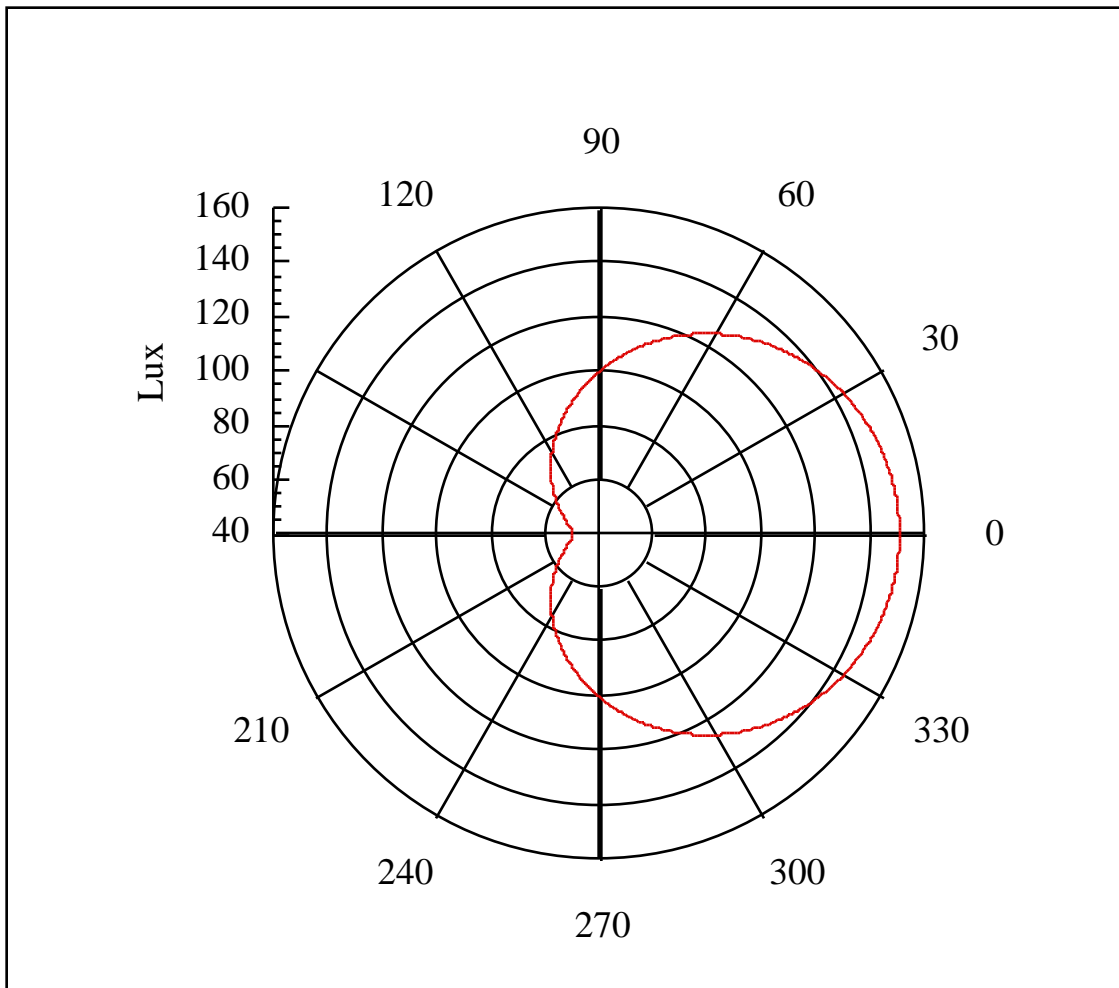


Figura 7.4 : esempio di curva fotometrica.

Ora, poiché le curve fotometriche dei diversi tipi di sorgente non sempre soddisfano i requisiti richiesti di distribuzione di luce nell'ambiente, si ricorre agli apparecchi illuminanti in precedenza indicati, i quali modificano la curva fotometrica della sorgente, seppure assorbendo parte dell'intensità luminosa. In funzione, dunque, dei requisiti di illuminazione dell'ambiente, deducibili dalla tabella riportata, è possibile stabilire anche il tipo più idoneo di apparecchio da usare. In particolare, per ottenere un determinato illuminamento medio E , su una superficie di area A , mediante N lampade di flusso Φ , si ricorre alla formula empirica

$$N = \frac{E A}{k \Phi},$$

in cui il coefficiente k risulta dal prodotto del fattore di durata (0.85), che esprime il flusso sostenuto dalla lampada dopo cento ore di funzionamento come percentuale del flusso iniziale, del fattore di manutenzione ($0.75 \div 0.90$), che esprime il rendimento dell'apparecchio di illuminazione in condizioni di uso, con riferimento al rendimento del medesimo nuovo, cioè non impolverato oppure

offuscato, del fattore di utilizzazione ($0.20 \div 0.40$), che tiene conto del flusso assorbito dalle pareti del locale e dagli oggetti in esso disposti, della loro forma e del loro colore. Se si esegue il prodotto dei precedenti fattori si ricava

$$0.12 \quad k \quad 0.31 .$$

Dalla formula riportata è, infine, possibile ricavare il tipo ed il numero di lampade da usarsi, in base alla conoscenza del flusso luminoso, ottenuta dalla formula stessa.

7.5 La velocità della luce

In questo paragrafo, in gran parte, tratto dal volume di Fisica 2 di David Halliday e Robert Resnick, Casa Editrice Ambrosiana di Milano, del 1978, si tenta di sunteggiare gli sforzi che ricercatori di varie epoche hanno messo in opera per arrivare ad una misura, quanto più precisa possibile, della velocità della luce, nel vuoto e nei mezzi materiali.

La luce viaggia così velocemente che non vi è nulla nella nostra esperienza quotidiana che suggerisca che la sua velocità non sia infinita. Il solo porre la domanda «Qual è la velocità della luce?» indica una considerevole profondità di pensiero. Galileo Galilei si pose questa domanda e tentò sperimentalmente di dare una risposta. La sua opera *Discorso intorno a due nuove scienze*, pubblicata nel 1683, è scritta sotto forma di conversazione fra tre personaggi di nome Salviati, Sagredo e Simplicio. Salviati, che è Galilei stesso, descrive un possibile metodo per misurare la velocità della luce: egli ed un discepolo si misero di fronte ad una certa distanza l'uno dall'altro, di notte, portando ciascuno una lanterna che potesse venire coperta o scoperta secondo la necessità. Quando la luce raggiunse il discepolo, quest'ultimo scoprì la sua lanterna in modo che Galilei potesse vederne la luce. Galilei tentò di misurare il tempo tra l'istante nel quale aveva scoperto la sua lanterna e quello nel quale era stato raggiunto dalla luce della lanterna del suo discepolo: la conclusione fu che la luce «se non è istantanea, è straordinariamente rapida». Per la distanza di un chilometro, oggi si sa che il tempo di andata e ritorno è di circa $3.3 \mu\text{s}$, molto più breve del tempo di reazione dell'occhio umano, e, pertanto, il metodo non ebbe successo.

Per misurare direttamente una velocità elevata, è necessario misurare un piccolo intervallo di tempo oppure far uso di una lunga linea di base. Questa situazione suggerisce che l'astronomia, nella quale intervengono grandi distanze, dovrebbe riuscire a dare un valore sperimentale della velocità della luce, previsione che si è dimostrata vera. Nel 1675 Ole Roemer, un astronomo danese che lavorava a Parigi, fece alcune osservazioni delle lune di Giove dalle quali si può dedurre un valore di $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ per la velocità della luce. Circa cinquanta anni più tardi, un astronomo

inglese, James Bradley, eseguì alcune osservazioni astronomiche di tipo completamente diverso, dalle quali si può dedurre un valore di $3.0 \cdot 10^8$ m/s.

Nel 1849 un fisico francese, Hyppolyte Louis Fizeau, per primo misurò la velocità della luce con un metodo non astronomico, ottenendo un valore di $3.13 \cdot 10^8$ m/s. L'altro grande fisico francese Jean Bernard Léon Foucault migliorò notevolmente il metodo di Fizeau, mentre lo statunitense Albert Abraham Michelson eseguì una lunga serie di misure della velocità della luce, durante un periodo di cinquanta anni, usando una tecnica interferometrica.

Il compito di arrivare ad un unico 'miglior' valore per qualsiasi grandezza fisica da molte misure indipendenti è solitamente difficile, perché richiede un'accurata valutazione di ogni misura ed un processo di media, che prende in esame altre grandezze fisiche alle quali può essere correlata la grandezza in esame: ciò è vero anche per la velocità della luce, comunemente indicata con il simbolo 'c'. I più recenti compilatori dei migliori valori delle costanti fisiche affermano che tutte le vecchie misure di 'c' sono offuscate dalla misura, eseguita nel 1973 da alcuni ricercatori, che all'epoca lavoravano presso il National Bureau of Standards in Colorado: essi misurarono la frequenza della radiazione emessa da un laser ad elio-neon, confrontandola direttamente con la frequenza di oscillazione di un orologio al cesio. Dalla misura della lunghezza d'onda di tale radiazione si può risalire al miglior valore oggi disponibile della velocità della luce

$$c = (299792.4574 \pm 0.0012) \text{ km/s} .$$

Appendice: l'illuminazione elettrica

Liberamente tratto dalla Storia dell'Elettrotecnica presente sul sito dell'Enel (www.enel.it).

Abituati come siamo alla luce elettrica che illumina le nostre notti, ci sembra impossibile pensare alla fioca luce che potevano avere a disposizione gli uomini dell'antichità, data dal fuoco della legna o dalle torce. Ancora all'inizio del secolo XIX le strade erano buie e ci si doveva avventurare con torce o lanterne, o sperare nella luce della luna. In Inghilterra, un certo dottor Clayton, dopo che, nel 1733, una fuga di gas in una miniera di carbon fossile era stata instradata mediante un tubo fin sopra il pozzo ed aveva fiammeggiato a lungo illuminando tutta la campagna intorno, fece ricerche sul gas, ma senza andare al di là delle esperienze di laboratorio. Nel 1777 a Redruth, in Cornovaglia, uno scozzese di nome William Murdock tentò di utilizzare il gas di carbon fossile, riempiendone vesciche con inserito un tubetto di metallo ed, accendendo il gas che ne usciva, se ne serviva come lanterne, costruendosi così un impianto di illuminazione domestico. Verso il 1794 riempì di gas una cisterna posta in giardino, portò, attraverso una canna, il gas fino a casa e la illuminò, fra lo stupore dei compaesani; nel 1798 la fonderia di Soho dove lavorava fu la prima ad essere illuminata a gas, anche se solo nei giorni festivi. L'illuminazione a gas all'inizio incontrò una forte opposizione da parte dell'opinione pubblica, perché si credeva che nei tubi passasse la fiamma, e solo quando si comprese che vi passava solo il gas e la fiamma si accendeva alla sua uscita, questo tipo di illuminazione poté diffondersi in tutto il mondo.

• Le lampade elettriche

Il passaggio dall'illuminazione a gas a quella elettrica, che è stata una delle prime applicazioni pratiche dell'elettricità, anche se, inizialmente, dedicata solo all'illuminazione pubblica, non fu facile, a causa di due motivi: il primo motivo risiedeva nella bassa tensione erogabile dalle dinamo di allora, fra 50 V e 100 V, e del loro assai limitato raggio di azione; il secondo motivo era l'inaffidabilità e la scarsissima durata dei vari tipi di lampade che vennero via via studiate. Fra le principali citiamo le lampade ad idrogeno con accensione elettrica di F. L. Ehrman del 1780, a foglie di carbone nel vuoto di J. W. Starr del 1845, a cilindro di carbone nel vuoto di William Eduard Staite e William Greener del 1846 e, nello stesso anno, la lampada con filamenti in platino in idrogeno di Joseph Pierre Gillard. Abbiamo, poi, nel 1854 quella con filamenti di bambù carbonizzato di Heinrich Goebel da 42.5 V, 75 W, 70 lumen e 400 ore di durata, alla quale segue la lampada con filamenti in platino del 1859 di Moses Farmer di cui 42 vengono installate in Newport News, ma durano solo 4 ore. Il principale problema era

quello del materiale dei filamenti resi incandescenti dal passaggio della corrente elettrica ed il loro contenimento in un involucro vuoto o riempito di gas inerte. Occorreva trovare un buon compromesso fra il flusso luminoso e la potenza assorbita, ossia l'efficienza luminosa, e poiché questa è tanto più alta quanto maggiore è la temperatura, sembrò naturale, nella costruzione dei primi filamenti, impiegare il carbonio, che ha un elevato punto di fusione (3600 °C). Tuttavia, per ottenere una durata accettabile della lampada, ci si doveva limitare a temperature molto più basse, circa 1800 °C, per evitare la sublimazione, ossia il passaggio allo stato gassoso, del carbonio. Naturalmente tutto ciò aveva come conseguenza un assai scarso rendimento luminoso delle lampade che non oltrepassava 2 lumen/watt; inoltre, con l'aumento della temperatura, il carbonio subisce una diminuzione della resistenza elettrica, quindi ogni fortuita (ed a quei tempi la tensione non era certo molto costante) elevazione della tensione causava un aumento della corrente con conseguente drastica riduzione della vita della lampada. Nel corso degli anni si sperimentarono materiali diversi, come l'osmio nel 1898 da parte di A. von Welsbach, il tantalio nel 1903 con Werner von Bolton, ma la soluzione che renderà le lampade ad incandescenza veramente affidabili verrà raggiunta solo nel 1908 da William David Coolidge con l'adozione del **tungsteno**, anche detto wolframio. Il tungsteno a temperature assai prossime a quella di fusione (3300°C), presenta una velocità di sublimazione accettabilmente bassa, accompagnata da una soddisfacente efficienza di 35 lumen/watt e da una caratteristica autoregolante, dato che la sua resistenza aumenta con il crescere della temperatura. Tornando alla nostra storia, le lampade che più si affermano sono quelle ad arco di Sir Humphry Davy, scopritore dell'arco elettrico, anche detto voltaico, perfezionate dall'americano C. F. Brush, che presentano però problemi dovuti alla necessità di alimentazione singola (una dinamo per ogni lampada!), ai complessi dispositivi per la regolazione della distanza degli elettrodi, alla scarsa durata, alla luce troppo violenta, adatta solo per gli esterni ed al fastidioso ronzio da loro emesso quando sono alimentate in bassa frequenza. In Francia ha un buon successo un dispositivo regolatore dell'arco studiato da Jean Bernard Léon Foucault, ma una vera prima rivoluzione nell'illuminazione si ha con le lampade di Pawel Nikolajewitsch Jablotschkow, brevettate nel 1876 e prodotte a Parigi dal 1878. Queste lampade offrono, pur essendo sempre fondamentalmente lampade ad arco, notevoli vantaggi rispetto a quelle sino ad allora in uso: con un'unica dinamo si possono alimentare più lampade, circa 15, e non hanno bisogno dei dispositivi di regolazione della distanza degli elettrodi, essendo costituite da due elettrodi paralleli in carbone, isolati sino all'estremità con una massa ceramica che viene fusa lentamente dall'arco durante il funzionamento. Una di queste lampade, da 55 V e 9 A, venne installata nel 1877 nella Avenue de l'Opéra a Parigi, ma un anno dopo ben 12 lampade, alimentate da una sola dinamo, illuminavano un tratto di strada del Kaiserpassage a Berlino,

allora di rinomanza mondiale, fra il famoso viale Unter der Linden e la Friedrichstrasse. Vale la pena sottolineare, fra l'altro, che Jablockov fu il primo ad avanzare l'idea dell'alimentazione centralizzata ed in un suo schema del 1879 si riscontrano già tutte le caratteristiche dei moderni impianti di produzione dell'energia elettrica. Comunque, anche le lampade di Jablockov non risolvono alla radice i problemi di illuminazione e non hanno pertanto una grande diffusione. Un decisivo impulso alla diffusione dell'illuminazione elettrica viene, invece, dato dalla lampada ad incandescenza di Thomas Alva Edison, geniale tecnologo che vanta più di mille brevetti, di cui i più noti sono il fonografo e la lampada a incandescenza. Edison pensa di realizzare una lampada di buona durata e di soddisfacente rendimento, di costo limitato, tale da potere essere impiegata su larga scala: la difficoltà maggiore, che anche egli incontra, è nel tipo di materiale da impiegare per i filamenti. Sperimenta ogni sorta di materiale, fra cui anche fibre di bambù, ma alla fine, nell'esemplare che viene brevettato nell'autunno 1878, impiega il platino. Così, a Menlo Park nel New Jersey, la notte di San Silvestro dello stesso anno è illuminata dallo sfavillio delle lampade di Edison, che suscitano immediatamente un enorme interesse. Concorrente di Edison è Sir Joseph Wilson Swan che, sempre nel 1878, brevetta una lampada a filamenti di carbone che migliora nel 1883, adottando filamenti in nitrocellulosa sciolta in acido acetico; nel 1897, perfezionando l'invenzione di Edison, presenta una lampada che sarà la base delle lampade ad incandescenza del futuro. La concorrenza fra i due termina poco dopo, con la costituzione della società Edison & Swan United Light Company, alla quale arriderà un proficuo futuro. La lampada di Edison incontra quasi immediatamente un grande successo, grazie anche alle varie installazioni che egli, con l'aiuto finanziario del banchiere J. P. Morgan, realizza per consentire l'utilizzazione pratica della sua invenzione. Nel 1880, 115 lampade di Edison illuminano il piroscavo 'Columbia' ed all'Esposizione di Parigi del 1881 i visitatori ammirano 1000 lampade da 103 V, 75 W, 225 lumen e 600 ore di durata. Altre lampade rischiarano la Camera dei Comuni di Londra e nel 1883 nelle strade di New York brillano 2300 lampade, alimentate da speciali dinamo in grado di alimentare ognuna 1000 lampade. Ma le lampade ad arco elettrico continuano ad essere impiegate: nel 1873 si assiste all'illuminazione del castello di Linderhof con elettricità prodotta idraulicamente; nel 1877 vengono impiegate per il battello posacavi 'Faraday' dei Siemens; all'Esposizione di Giardinaggio di Amburgo del 1880 troviamo 18 lampade ad arco e nel 1882 sono installate al teatro Savoy di Londra; nel 1832 illuminano la torre della Frauenkirche di Monaco, la Potsdamer Platz e la Leipzigerstrasse a Berlino. Una curiosità: nel 1885 J. Bourdais propone che, in occasione della Esposizione Mondiale di Parigi, prevista per il 1889, venga costruita una torre alta 360 metri, avente al culmine una ghirlanda di lampade ad arco; da questa idea, non realizzata, nascerà però il progetto di A. G. Eiffel con la

costruzione, nel 1898, della sua celeberrima torre di 300 metri di altezza. Nascono così nel 1882, le prime centrali elettriche per l'illuminazione a Londra e a New York, e la società che Edison ha nel frattempo fondato, la Edison General Electric Company, inizia una battaglia con la società Thomson-Houston Electric Company di E. Thomson sul tipo di corrente da impiegare per l'illuminazione, sostenendo la prima la corrente continua e la seconda la corrente alternata. Il banchiere Morgan metterà poi fine alla diatriba, fondendo le due società rivali e costituendo, nel 1892, la General Electric Corporation. Nel 1883, durante ulteriori ricerche sulle lampade ad incandescenza, Edison scopre che, ponendo un filamento caldo ed un elettrodo metallico freddo in un bulbo in cui è stato fatto un vuoto parziale, la corrente elettrica può passare dal primo al secondo; si tratta di una corrente unidirezionale che si interrompe se si inverte la polarità della tensione continua applicata fra il filamento e l'elettrodo. Da questo risultato viene dedotto che la corrente è data dal moto di parti di cariche elettriche, ossia di particelle, che poi saranno riconosciute come elettroni. Questa scoperta di Edison è di grandissima importanza, poiché essa è la base di tutti i dispositivi elettronici che seguiranno, che possono quindi essere considerati come derivati da questo effetto, denominato **effetto Edison**; la prima applicazione viene fatta nel 1897 da Sir John Ambrose Fleming che utilizza nella sua valvola (tubi a vuoto) la unidirezionalità della corrente per la rivelazione di onde radio. A sua volta la valvola di Fleming è il prototipo dei moderni **diodi**, che vengono impiegati come rivelatori o come raddrizzatori di potenza. Nel 1900 le lampade ad incandescenza vengono sempre più perfezionate, soprattutto per quanto riguarda, come accennato prima, il materiale dei filamenti, il che permette alla 'luce elettrica' di entrare in tutte le case; grande importanza nella produzione e commercializzazione delle lampade ha la fondazione, nel 1919, della società Osram, nata da una fusione fra AEG, AUER e Siemens. Nascono tipi di lampade ad incandescenza 'specializzate', come quelle in 'miniatura' per la ricerca scientifica e per strumenti chirurgici, le cosiddette **foto flood**, ricche di radiazioni violette e ultraviolette per impieghi fotografici, quelle in atmosfera di iodio per illuminazione di grandi superfici, quelle a raggi infrarossi per scopi terapeutici, e così via. Ricordiamo poi le lampade fluorescenti (1910), quelle alogene (1958) e quelle compatte a basso consumo (1984).

• **Le prime centrali di produzione per l'illuminazione**

Lo sviluppo dell'illuminazione elettrica, sia stradale che privata, rende necessaria la costruzione di vere e proprie centrali di produzione e distribuzione dell'elettricità, destinate solo all'illuminazione, all'inizio di piccola potenza, a causa del limitato numero degli utenti. La prima centrale ad entrare in esercizio nel 1881 è quella di Appleton nel Wisconsin, alla quale segue, dopo un anno, quella di Pearl Street a New York, con generatori a corrente continua azionati da macchine a vapore

costruite appositamente e dove, naturalmente per la prima volta, si effettua la fornitura di energia ad una rete di 400 lampade ad incandescenza. Sempre nel 1882 Edison fornisce alla centrale londinese di Holborn Viadukt 12 dinamo; le centrali sino ad ora realizzate e quelle che seguiranno di Parigi e San Pietroburgo sono tutte in corrente continua. Il primo impianto di produzione e distribuzione di energia elettrica per l'illuminazione in Italia nasce a Milano nel 1883, con la centrale di via Santa Radegonda, con una rete di distribuzione di 500 metri, ed il primo utente è un caffè in Galleria che illumina la notte milanese con quattro lampade ad arco. Ricordiamo, infine, che nel 1894 viene fondata a Berlino la Deutsche Edison Gesellschaft che affida alla Siemens & Halske la costruzione di una centrale in Friedrichstrasse in grado di alimentare 2000 lampade ad incandescenza. Subito dopo, a seguito del diffondersi delle utilizzazioni dell'elettricità, nascono le centrali per la produzione dell'energia elettrica, non più destinata alla sola illuminazione.