

Illuminotecnica

L'illuminotecnica è la scienza che studia i metodi e le tecniche per l' illuminazione artificiale degli ambienti sia interni che esterni.

Richiami di ottica: quando un flusso luminoso incontra una superficie (luce incidente) una parte della luce viene riflessa, una parte viene trasmessa (ovvero oltrepassa la superficie), ed una parte viene assorbita. Prende il nome di *fattore di riflessione* il rapporto

$$F_r = \frac{r}{i}$$

dove r =luce riflessa dalla superficie ed i =luce incidente sulla superficie; prende il nome di *fattore di trasmissione* il rapporto

$$F_t = \frac{t}{i}$$

dove t =luce trasmessa attraverso la superficie.

Esempio: se un flusso luminoso pari a 500 lm^1 incide su una superficie con $r=300 \text{ lm}$ e $t=190 \text{ lm}$ avremo

$$F_r = \frac{300}{500} = 0,6 \quad F_t = \frac{190}{500} = 0,38$$

È facile dimostrare che la luce assorbita dalla superficie sarà allora

$$L_a = L_i - (F_r - F_t) = 1 - (0,6 + 0,38) = 0,02$$

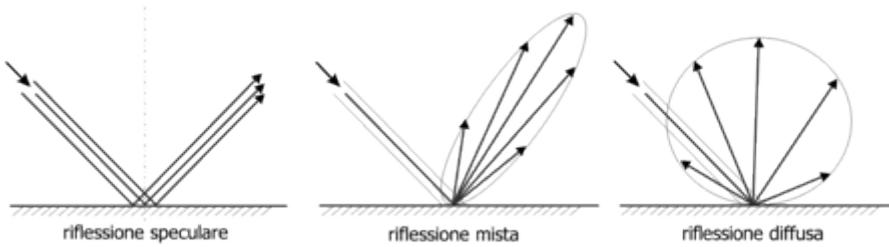
equivalente al 2% della luce incidente.

Una superficie per la quale il fattore di trasmissione è massimo si definisce *trasparente*, una per la quale il fattore di trasmissione è minimo si definisce *opaca*; per valori intermedi la superficie prende il nome di *traslucida*.

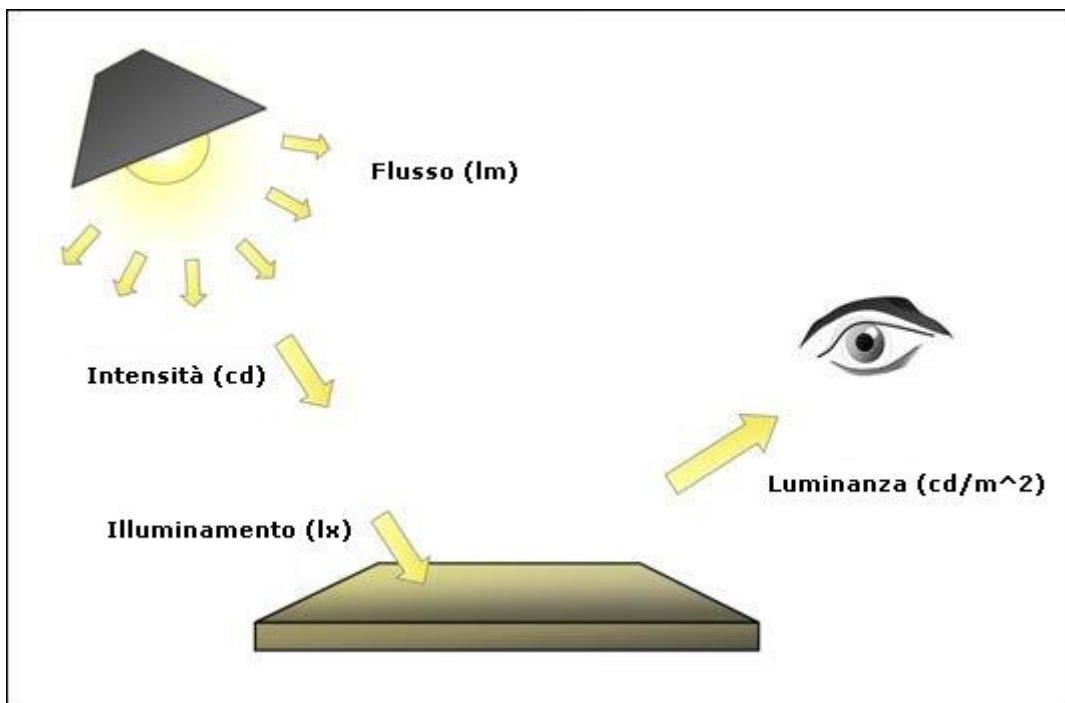
Tipo di superficie	Fattore di trasmissione F_t
trasparente	massimo
traslucida	medio
opaca	minimo

Per quel che riguarda la luce riflessa a seconda di come si presenta la superficie riflettente la luce riflessa sarà *speculare*, *diffusa* o *mista*.

1 lm=lumen, unità di misura del flusso luminoso



Le grandezze fotometriche: alcune unità di misura del sistema SI di particolare interesse nello studio dell' illuminotecnica si definiscono grandezze fotometriche; tra queste le più importanti sono indicate nella figura seguente



Flusso luminoso (Φ): quantità di luce emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo; indica la potenza della luce emessa dalla sorgente. L' unità di misura è il *lumen* (lm).

Intensità luminosa (I): è la quantità di flusso luminoso emessa in una determinata direzione e nell'unità di angolo solido, misurato in steradiani (sr) che la contiene. L' unità di misura è la *candela* (cd) che è in relazione con il flusso luminoso grazie all'equazione

$$cd = \frac{lm}{sr}$$

Illuminamento (E): rapporto tra il flusso luminoso (espresso in lumen) emesso da una determinata sorgente e la superficie dell'oggetto illuminato. Si riferisce all'oggetto e non alla sorgente luminosa. L'unità di misura dell' illuminamento è il *lux* (lx) definito dal rapporto

$$lx = \frac{lm}{m^2}$$

Luminanza: grandezza fotometrica definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente nella direzione dell'osservatore e l'area apparente della superficie emittente, così come vista dall'osservatore. L'unità di misura della luminanza è il Nit² definito dal rapporto

$$Nit = \frac{cd}{m^2}$$

Le lampade: sono le sorgenti luminose più utilizzate e vengono impiegate inserendole all'interno di apparecchi chiamati apparecchi illuminanti. A seconda della tecnologia che utilizzano si dividono in:

- lampade ad incandescenza (a filamento ordinarie od alogene)
- a scarica di gas (fluorescenti o ad alogenuri metallici)
- a led
- a fibre ottiche

I dati tecnici che caratterizzano una lampada sono i seguenti:

- potenza elettrica assorbita (in W)
- tensione di funzionamento (in V)
- flusso luminoso emesso (in lm)
- efficienza (in lm/W)
- indice di resa cromatica R_a
- temperatura di colore (in K)

Le prime quattro grandezze non richiedono approfondimento; le ultime due verranno ora analizzate più in dettaglio; l'*indice di resa cromatica* è un indice determinato sperimentalmente avente un valore massimo pari a 100 (corrispondente alla luce solare) ed indicante se la luce in esame permette un'esatta percezione dei colori. Normalmente un valore superiore ad 80 indica una sorgente luminosa dotata di una buona resa cromatica. La *temperatura di colore* di una sorgente dipende dal suo spettro di emissione (una sorgente luminosa emette radiazioni con diverse lunghezze d'onda³); per definire tale temperatura si confronta la luce generata dalla sorgente luminosa in esame con quella prodotta da un corpo nero riscaldato ad una temperatura tale da ottenere una tonalità simile a quella della luce prodotta dalla sorgente luminosa che ci interessa. Tale temperatura misurata in kelvin è la temperatura di colore della sorgente luminosa. È importante puntualizzare che la temperatura di colore non ha niente a che fare con la temperatura della sorgente luminosa.

Per ridurre il consumo energetico si sta andando verso la progressiva eliminazione delle tradizionali lampade ad incandescenza in favore di lampade aventi maggior efficienza.

2 Dal latino *nitere* ovvero *risplendere*; non è un' unità di misura del SI

3 La lunghezza d'onda della luce visibile varia da 400 nm (violetto) a 800 nm (rosso scuro tendente al marrone)

Oltre per i parametri già visti le lampade si differenziano per il tipo di collegamento al portalampade; gli attacchi più comuni sono

- attacco Edison E14
- attacco Edison E27
- attacco GU10 (lampade con riflettore integrato a 230V)
- attacco GU5.3 (lampade con riflettore integrato a 12V)

esistono comunque molti altri tipi di attacco. Oltre che per il tipo di attacco le lampade si differenziano per molti altri parametri tra cui ricordiamo la forma, il vetro (trasparente, satinato, ecc.), la presenza o meno del riflettore integrato, ecc.

Tipo			Aspetto	Potenza (W)	Tensione (V)	Flusso luminoso (lm)	Efficienza luminosa (lm/W)	Resa dei colori R_a (%)	Temperatura di colore (K)	Vita media (h)	
A incandescenza	A filamento ordinarie	Chiare		40 ÷ 150	rete	420 ÷ 2200	10,5 ÷ 14,7	100	2800	1000	
		Opaline		40 ÷ 100	rete	420 ÷ 1380	10,5 ÷ 13,8	100	2800	1000	
	Con riflettore incorporato			30 ÷ 75	rete			100	2900	2000	
	Alogene	Normali	Lineari		150 ÷ 400	rete	2400 ÷ 9500	16,0 ÷ 23,8	100	3000	2000
			Compatte		60 ÷ 250	rete	840 ÷ 4200	14,0 ÷ 16,8	100	3000	2000
		A bassa tensione			10 ÷ 100	12	130 ÷ 2000	13,0 ÷ 20,0	100	3000	2000
			Con riflettore dicroico		10 ÷ 35	12			100	Varie	2000
	A scarica di gas	Lineari T26			18 ÷ 58	rete	1450 ÷ 5400	80,6 ÷ 93,1	95	Varie	18 000
		Miniaturizzate T16			14 ÷ 80	rete	1350 ÷ 7000	96,4 ÷ 87,5	86	Varie	12 000
		Compatte	A 2 tubi		8 ÷ 23	rete	400 ÷ 1500	50,0 ÷ 65,2	86	Varie	8000
			A 4 tubi		10 ÷ 57	rete	600 ÷ 4300	60,0 ÷ 75,4	86	Varie	8000
		Tubolari			70 ÷ 400	rete	6300 ÷ 32500	90,0 ÷ 81,3	90	Varie	18 000
		Miniaturizzate			20 ÷ 70	rete	1700 ÷ 6600	85,0 ÷ 94,3	90	3000	6000
	Al sodio ad alta pressione				70 ÷ 1000	rete	7000 ÷ 130 000	100,0 ÷ 130,0	85	2700	10 000
A induzione elettromagnetica				55 ÷ 85	rete	6000	109,1	80	3000	85 000	

Indichiamo ora in modo semplice il principio di funzionamento delle lampade attualmente più utilizzate:

- Lampade alogene: sono lampade ad incandescenza che si differenziano da quelle tradizionali per la presenza all'interno del bulbo di un gas alogeno (iodio, bromo) che si combina con il tungsteno che evapora dal filamento e lo porta a depositarsi di nuovo sul filamento stesso rigenerandolo. Grazie a questo meccanismo aumentano sia l'efficienza che la durata della lampada.
- Lampade a scarica: in queste lampade la luce viene prodotta da una scarica generata tra due elettrodi posti all'interno di un bulbo contenente gas. Si dividono in lampade fluorescenti nelle quali la scarica genera una radiazione ultravioletta che viene trasformata in luce visibile dallo strato fluorescente presente all'interno del bulbo e in lampade ad alogenuri metallici (vapori di mercurio o sodio) caratterizzate da elevata efficienza ma scarsa resa cromatica; oltre a questo necessitano di un lungo riscaldamento (vengono usate in genere per l'illuminazione stradale).

- Lampade a led: contengono uno o più diodi luminosi, componenti optoelettronici contenenti un semiconduttore che emette luce quando viene attraversato da corrente elettrica. In questo settore è in corso un notevole sviluppo tecnologico che in pochi anni ha permesso di produrre sorgenti luminose competitive con le lampade fluorescenti.
- Illuminatori a fibre ottiche: sono formati da un illuminatore, ovvero un contenitore contenente una lampada alogena, a scarica di gas od a led, e da un fascio di fibre ottiche che portano la luce prodotta fin dove è necessaria. Questa tecnologia permette di ottenere una luce purissima e priva di infrarossi e ultravioletti, adatta per illuminare oggetti che possono essere deteriorati dal calore e dagli ultravioletti (opere d'arte, ecc.).

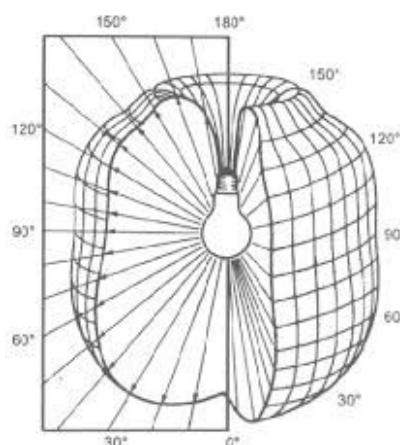
Sistemi di illuminazione: a seconda di dove è diretto il flusso luminoso uscente da un apparecchio illuminante si parla di illuminazione:

- *diretta*, se il flusso luminoso è diretto verso la superficie da illuminare
- *diffusa*, se il flusso luminoso è distribuito uniformemente nell'ambiente
- *indiretta*, se il flusso luminoso è diretto verso una superficie diversa di quella da illuminare che viene illuminata grazie alla luce riflessa

Ogni tipo di illuminazione ha i suoi vantaggi e svantaggi; ad esempio l'illuminazione diretta ha un maggior rendimento ma aumenta l'abbagliamento e la formazione di ombre.

Caratteristiche di un apparecchio illuminante: un apparecchio illuminante è un apparecchio atto a contenere un certo tipo di lampada permettendone la connessione all'impianto elettrico e modificandone, a volte anche in modo sostanziale, il flusso luminoso emesso. Un apparecchio luminoso oltre ad alcune caratteristiche importanti dal punto di vista elettrico (tipo di attacco della lampada, classe indicante la necessità o meno del collegamento a terra, massima potenza della lampada installabile, codice IP) ha una caratteristica molto importante in campo illuminotecnico chiamata *curva fotometrica*.

Per capire cosa è la curva fotometrica è sufficiente considerare una lampada accesa avvitata ad un portalamppada appeso ad un cavo elettrico; il flusso luminoso emesso nello spazio non sarà identico in tutte le direzioni, infatti avremo direzioni in cui è più forte e direzioni in cui è più debole; se prendiamo in considerazione tutti i punti attorno alla lampada aventi uguale intensità luminosa non otterremo quindi una sfera ma un solido di rotazione formato da punti più lontani in corrispondenza delle direzioni dove il flusso è più forte e punti più vicini in corrispondenza delle direzioni dove il flusso è più debole.

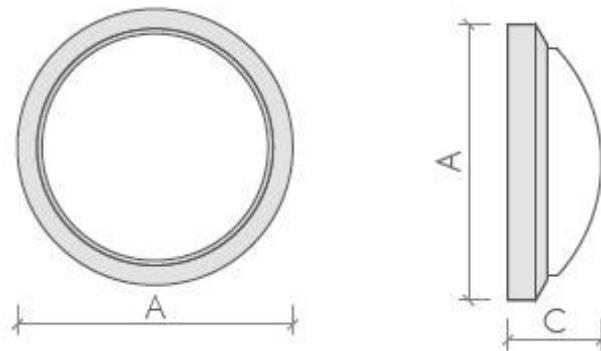


Se ora sezioniamo tale solido con un qualsiasi piano passante per l'asse (vedere lato sinistro della figura qui sopra) otteniamo la curva fotometrica della lampada.

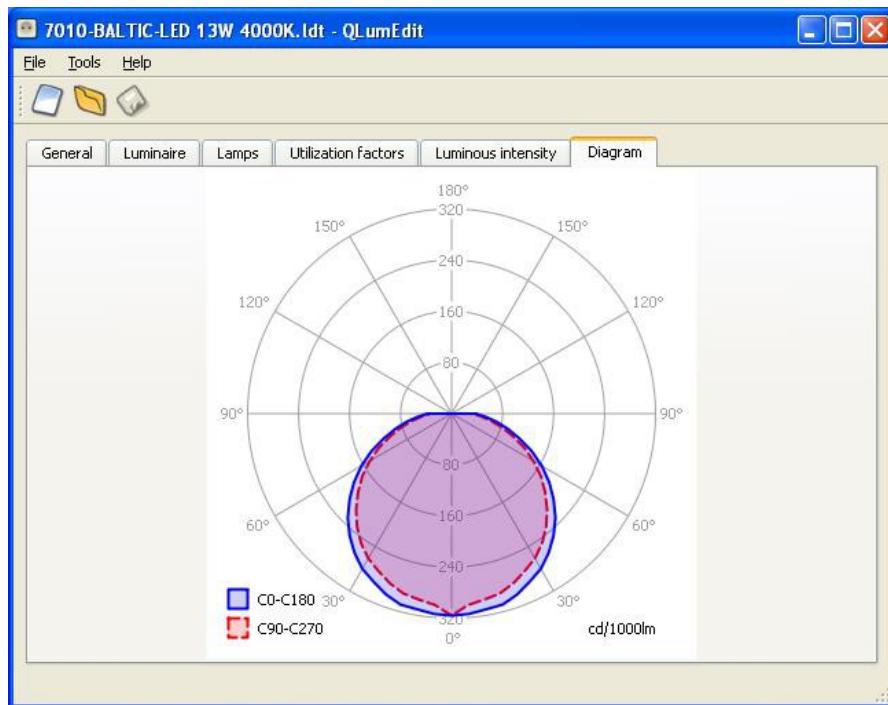
È facile comprendere che se non consideriamo la lampada appesa ad un semplice portalampada ma inserita all'interno di un apparecchio illuminante la curva fotometrica sicuramente subisce delle variazioni notevoli in quanto il suo flusso viene orientato e modellato a seconda della forma dell'apparecchio e del potere riflettente della sua parte interna.

In genere i diagrammi fotometrici sono forniti dai costruttori di apparecchi illuminanti nei loro cataloghi oppure in formato digitale utilizzando una codifica chiamata eulumdat (file .ldt).

Tali files possono essere letti con il programma freeware Qlumedit⁴; ad esempio la curva fotometrica della plafoniera a led indicata in figura



visualizzata per mezzo del software Qlumedit appare nella figura seguente



Altri parametri importanti relativi agli apparecchi illuminanti sono il *rendimento* ovvero il rapporto tra il flusso luminoso emesso dall'apparecchio ed il flusso luminoso emesso dalla lampada presente al suo interno

⁴ <https://sourceforge.net/projects/qlumedit/>

$$\eta = \frac{\Phi_a}{\Phi_l}$$

e il *fattore di manutenzione* M_f dipendente dall'invecchiamento delle lampade, dalla sporcizia che si accumula sulle superfici riflettenti e trasparenti e dall' invecchiamento dei materiali (fenomeni di opacizzazione, ingiallimento, ossidazione, ecc.). Il valore di tale fattore oscilla in genere da 0,55 a 0,80.

Il progetto dell'impianto di illuminazione: il progetto dell'impianto di illuminazione è una parte molto importante del progetto edilizio ed architettonico di ambienti sia interni che esterni. Oltre a contribuire alla funzionalità e all'eleganza degli ambienti l'illuminazione è importante anche ai fini dell'economia, della sicurezza e della salute.

Progettare un impianto di illuminazione consiste nello scegliere le sorgenti luminose più adatte ad ottenere il flusso luminoso (misurato in lumen) necessario ad ottenere l'illuminamento (misurato in lux) necessario alle esigenze di chi dovrà vivere negli ambienti da illuminare.

Attualmente, soprattutto nei casi più complessi, il progetto dell'impianto luminoso viene realizzato utilizzando appositi software; è comunque possibile procedere manualmente nei casi più semplici.

La procedura manuale per progettare un'impianto di illuminazione può dividersi nelle seguenti fasi:

- 1) a seconda dell'attività da compiere all'interno dell'ambiente si determina l'illuminamento medio (E_m) necessario secondo la norma UNI EN 12424-1)

Stralcio dei valori di illuminamento medio E_m e resa cromatica effettiva R_a (secondo la norma UNI EN 12464-1)			
Tipo di locale	E_m	R_a	Note
Zone di circolazione	100	40	$E_m=150$ lux se sono presenti veicoli
Zone di parcheggio	75	20	
Ingressi	100	80	
Scale, ascensori, tappeti mobili	150	40	
Locali di riposo	100	80	
Zone di lettura	500	80	
Cucine	500	80	
Sale da pranzo	200	80	
Locali caldaie	100	40	
Sale conferenze e riunioni	500	80	
Postazioni CAD e PC	500	80	
Aule scolastiche	300	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile
Locali per visite mediche	1000	90	
Locali per lavori di precisione	1000	90	Temperatura di colore non inferiore a 4000K

- 2) successivamente si decide quale tipo di illuminazione usare (diretta, indiretta, ecc.)
- 3) dalle misure del locale si determina la superficie da illuminare (in m^2)
- 4) si determinano il rendimento η dell'apparecchio illuminante ed il fattore di manutenzione M_f (anche questi generalmente sono resi disponibili dai produttori di apparecchi illuminanti)
- 5) si calcola il flusso luminoso totale con la formula

$$\Phi_{tot} = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot M_f} \quad [lm]$$

- 6) una volta calcolato il flusso totale Φ_{tot} si determina il numero di apparecchi illuminanti necessari con il rapporto

$$n = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi}$$

dove Φ è il flusso luminoso dell'apparecchio illuminante prescelto.

Esercizio: calcolare il numero di apparecchi illuminanti necessari ad illuminare con un sistema a luce diretta un locale destinato a zona di lettura avente una pianta di 8×4 metri ipotizzando che gli apparecchi illuminati abbiano un flusso di 6000 lumen, un rendimento $\eta=0,48$ ed un fattore di manutenzione $M_f=0,75$

Dalla norma UNI EN 12424-1 determino che l'illuminamento (E) necessario per una zona di lettura è pari a 500 lux; poiché tutte le altre informazioni necessarie sono disponibili posso subito applicare la formula per il calcolo del flusso totale Φ

$$\Phi_{tot} = \frac{E \cdot A}{\eta \cdot M_f} = \frac{500 \text{ lx} \cdot 8 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}}{0,48 \cdot 0,75} = 44444 \text{ lm}$$

Poiché il flusso di un singolo apparecchio illuminante è pari a 6000 lm dal rapporto

$$n = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi} = 44444 \frac{\text{lm}}{6000 \text{ lm}} = 7,4$$

deduco che sono necessari 8 apparecchi illuminanti.

Esercizio: il flusso luminoso emesso da una lampada ad incandescenza è $\Phi=2000 \text{ lm}$. Calcolare l'efficienza di tale sorgente luminosa se la potenza elettrica richiesta è pari a 150 W. Calcolare inoltre l'intensità luminosa nell'ipotesi che tale sorgente luminosa sia isotropa⁵.

L'efficienza luminosa è

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{2000 \text{ lm}}{150 \text{ W}} = 13,3 \text{ lm/W}$$

essendo la sorgente isotropa $I=cost$ quindi avremo

⁵ Una sorgente luminosa si dice isotropa se emette un flusso costante in tutte le direzioni

$$I = \frac{\Phi}{4\pi} = 2000 \frac{lm}{4\pi} = 159 cd$$

Esercizio: scegliere il numero ed il tipo di lampade necessario ad illuminare un'aula scolastica avente pianta rettangolare di 4x8 m con un sistema di illuminazione a luce diretta (ipotizzare $\eta=0,48$, $M_t=0,75$).

Secondo la norma UNI EN 12464-1 in un'aula scolastica occorrono un $E_m=300$ lux e $R_a \geq 80$.

Applicando la formula per il calcolo del flusso luminoso ottengo

$$\Phi_{tot} = \frac{E_m \cdot A}{\eta \cdot M_t} = \left(\frac{300 \cdot 4 \cdot 8}{0,48 \cdot 0,75} \right) lm = 26666 lm$$

supponendo di scegliere delle lampade fluorescenti tubolari da 30W ciascuna che generano un flusso luminoso pari a 2800 lm saranno necessarie

$$n = \frac{\Phi_{tot}}{\Phi_{lam}} = \frac{26666}{2800} = 9,52 \text{ lampade}$$

che arrotonderemo a 10.