



# Sorgenti e apparecchi di illuminazione

L'impianto di illuminazione è costituito da apparecchi illuminanti e lampade da distribuire e posizionare in modo corretto sull'intera superficie dei locali.

## Lunghezza d'onda

La luce è un'onda elettromagnetica che si propaga nel vuoto ad una velocità costante  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s. La frequenza ( $f$ , numero di periodi al secondo) e la lunghezza d'onda ( $\lambda$ , distanza tra due punti di massima ampiezza) sono in relazione con la velocità dell'onda secondo la formula:

$$f \cdot \lambda = c$$

Le radiazioni visibili sono solo una piccola parte dello spettro e sono comprese tra le lunghezze d'onda di 380 nm e 780 nm (fig. 1).

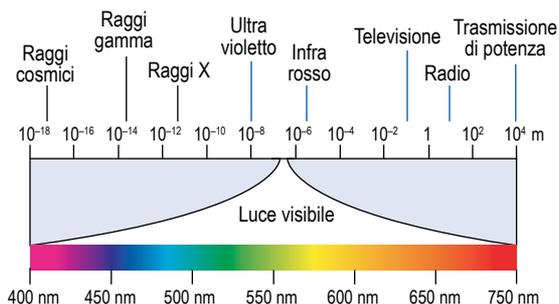


Fig. 1. Spettro delle radiazioni elettromagnetiche.

L'occhio umano distingue le radiazioni di diverse lunghezze d'onda con differenti sensibilità. La sensibilità più alta si ha alla radiazione giallo-verde (lunghezza d'onda pari a 555 nm) e diminuisce sia verso l'infrarosso sia verso l'ultravioletto (fig. 2).

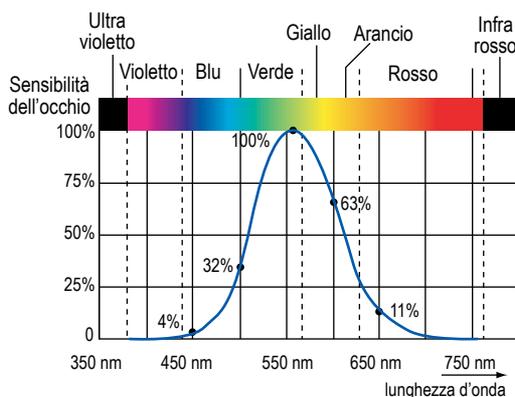


Fig. 2. Sensibilità dell'occhio umano.

La valutazione del colore di un oggetto dipende da fattori soggettivi, ma anche dal suo fattore di riflessione e dalla composizione dello spettro della luce che lo investe. Se, per esempio, la luce che investe un oggetto rosso non contiene la radiazione rossa che può essere riflessa dall'oggetto, lo stesso apparirà nero. Per una resa cromatica ottimale è quindi necessario che la luce contenga tutte le radiazioni del campo visibile, abbia cioè uno spettro di emissione continuo con andamento uniforme.

## Grandezze fotometriche

### Flusso luminoso

Il flusso luminoso ( $\Phi$ ) indica la quantità di luce emessa da una sorgente luminosa in un secondo, si misura in lumen (lm) e permette il confronto tra i vari tipi di lampade (tab. 1).

Tipo di lampada	P [W]	Flusso luminoso [lm]
Ad incandescenza	40	490
Alogena doppio attacco	300	6600
Fluorescente lineare	58	5200
Al sodio ad alta pressione 400 W	400	47.000
Agli ioduri metallici	2000	200.000

### Intensità luminosa

L'intensità luminosa è il flusso luminoso emesso in una determinata direzione. Il suo simbolo è  $I$  e la relativa unità di misura è la candela [cd].

Le sorgenti reali presentano una distribuzione della luce non uniforme nelle diverse direzioni. I valori delle intensità luminose nelle diverse direzioni vengono fornite dai costruttori con grafici tridimensionali (solidi fotometrici) o con loro sezioni particolari (curve fotometriche), come indicato in fig. 3.

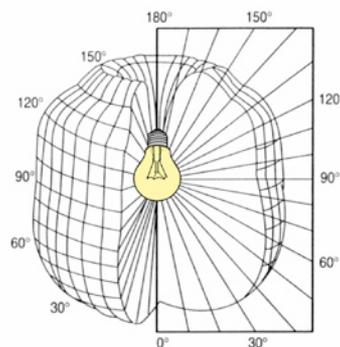


Fig. 3. Solido fotometrico e curva fotometrica di una lampadina.

La **tab. 2** pone a confronto l'intensità luminosa di alcune lampade.

Tipo di lampada	P [W]	Angolo [°]	Intensità luminosa [cd]
Alogena	20	60	450
	50	24	4400
	100	8	48.000
Lampada di un faro	2000	1	600.000

### Illuminamento

L'illuminamento (E) rappresenta la quantità di luce (flusso luminoso) che investe una determinata superficie (**tab. 3**) e si misura in lux [lx].

Ambiente	Illuminamento [lx]
Giorno d'estate con pieno sole	100.000
Giorno d'inverno a mezzogiorno	10.000
Notte di luna piena	0 ÷ 25
Uffici e scuole	50 ÷ 300
Soggiorno	150 ÷ 200
Strade	15 ÷ 25

### Luminanza

La luminanza (L) di una superficie luminosa (A) in una data direzione x è il rapporto tra l'intensità luminosa I proveniente dalla superficie emittente e l'area A della superficie stessa perpendicolare alla direzione x. Il simbolo è L e l'unità di misura è candele al metroquadrato (cd/m<sup>2</sup>):

$$L = \frac{I}{A}$$

La luminanza rappresenta la sensazione luminosa percepita dall'occhio quando viene colpito direttamente o in modo riflesso dalla luce (**tab. 4**). Il giusto equilibrio tra la luminanza degli oggetti e dello sfondo è un fattore importante per una visione e una percezione corrette. Elevati valori di luminanza o differenze di luminanza troppo alte nel campo visivo possono essere causa di fenomeni di abbagliamento o comunque di senso di "fastidio" per il contrasto troppo alto.

Ambiente	Luminanza [cd/m <sup>2</sup> ]
Sole a mezzogiorno	16 · 10 <sup>9</sup>
Sole al tramonto	6 · 10 <sup>6</sup>
Cielo sereno	8000
Cielo nuvoloso	2000
Lampada incandescenza 60 W	5 · 10 <sup>6</sup>
Lampada fluorescente 18 W	4000
Illuminazione stradale	0,3 ÷ 2

### Efficienza luminosa

L'efficienza luminosa è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da una lampada e la potenza elettrica assorbita.

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

L'unità di misura è il lumen/watt (lm/W).

Le lampade a incandescenza tradizionali hanno efficienza luminosa di circa 10 ÷ 20 lm/W, mentre quelle a vapore di sodio a bassa pressione sono caratterizzate da efficienza di circa 200 lm/W.

### Sorgenti luminose

Le sorgenti luminose artificiali sono normalmente costituite da due parti: la lampada che trasforma energia elettrica in energia luminosa e l'apparecchio illuminante (contenitore) che protegge la lampada e distribuisce il flusso luminoso.

Una prima classificazione delle lampade (**fig. 4**) può essere fatta considerando il modo in base al quale si ottiene l'emissione della luce.

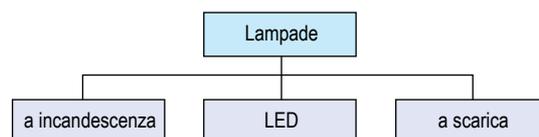


Fig. 4. Classificazione delle lampade.

Si possono avere lampade a scarica, nelle quali la luce si ottiene con una scarica di elettroni in un tubo contenente gas, lampade a incandescenza, nelle quali la luce si ottiene per riscaldamento del filamento, e lampade a LED, nelle quali la luce viene emessa polarizzando direttamente un diodo. Suddivisioni ulteriori possono essere effettuate in base al tipo e alla pressione del gas presente nel bulbo, al tipo di alimentazione ecc. (**tab. 5**).

Le caratteristiche e le prestazioni da considerare per la scelta sono molteplici. Si va dal rapporto prezzo-prestazioni, ad esigenze funzionali ed estetiche, fino ai divieti presenti e futuri previsti dalle direttive dell'UE circa la commercializzazione di certi tipi di lampade. Per il miglioramento dell'efficienza energetica, per esempio, era stato previsto il divieto graduale entro il 2020 alla commercializzazione delle lampade a incandescenza.

Per la restrizione dell'uso di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche, le lampade al mercurio dovranno essere sostituite con altre che contengano sostanze meno inquinanti.

Tab. 5 – Confronto tra lampade

Tipo	Vapori	Potenza [W]	Efficienza	Durata [h]	utilizzi
Incandescenza	inerti	25 ÷ 1.500	10 ÷ 20	1.000	Interni (max. 3 ÷ 4 m)
	alogenuri	20 ÷ 1.500	15 ÷ 22	2.000 ÷ 4.000	Interni commerciali
Led		2 ÷ 40	50 ÷ 90	2.000 ÷ 50.000	Interni, esterni
Scarica bassa pressione	mercurio	5 ÷ 100	80 ÷ 90	5.000 ÷ 10.000	Interni (max. 4 ÷ 6 m)
	sodio	18 ÷ 400	100 ÷ 200	10.000 ÷ 30.000	Esterni (con nebbia)
Scarica alta pressione	mercurio	50 ÷ 2.000	80 ÷ 120	12.000	Esterni
	alogenuri	35 ÷ 3.000	75 ÷ 85	6.000 ÷ 9.000	Esterni
	sodio	50 ÷ 1.000	80 ÷ 150	12.000	Strade, parcheggi

Gli apparecchi illuminanti (contenitori) distribuiscono il flusso emesso dalle lampade al fine di dirigerlo sulle superfici da illuminare e devono rispondere a particolari requisiti illuminotecnici, elettrici e meccanici.

La classificazione funzionale più immediata si basa sul tipo di applicazione nella quale l'apparecchio verrà inserito e, in secondo luogo, sul tipo di impiego che esso dovrà assolvere. I prodotti vengono suddivisi in apparecchi per esterni e apparecchi per interni. Ai primi appartengono proiettori, lampioni per arredo urbano ecc. Sono considerati apparecchi per interno gli apparecchi decorativi e da incasso, le plafoniere da interni, ecc.

### Calcolo illuminotecnico

Per ottenere un'illuminazione razionale occorre tener conto, oltre che del tipo di sorgente luminosa e di apparecchio di illuminazione, delle caratteristiche dei locali e delle attività svolte al loro interno. Il livello di illuminamento da prendere in considerazione è quello rilevabile sul piano di lavoro (o di osservazione degli oggetti). Il piano di lavoro è in genere considerato a 0,8 m dal livello del pavimento. I livelli di illuminamento più opportuni, in relazione al tipo di ambiente, sono indicati in **tab. 6**, fornita dalla CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*). Un adeguato livello di illuminamento prevede anche una corretta distribuzione spaziale della luce. Nella maggior parte delle applicazioni l'illuminazione deve

essere moderatamente diffusa con "illuminazione direzionale" complementare. Ciò consente di evitare l'effetto di un'illuminazione "totalmente diffusa" che, per l'assenza delle ombre, rende difficile riconoscere gli oggetti, o valutare le distanze. Mentre l'uso della sola illuminazione direzionale può portare alla formazione di contrasti troppo violenti. Si deve evitare che le sorgenti luminose provochino l'abbagliamento diretto o riflesso sul piano di lavoro. Questo si ottiene utilizzando sorgenti luminose a bassa luminanza (L) e apparecchi illuminanti opportunamente schermati o installati fuori dal campo visivo.

Tab. 6 – Valori di illuminamento consigliati per le diverse attività (CIE)

Tipo di destinazione (attività)	Illuminamento [lux]
Aree esterne industriali	20-30-50
Zone di passaggio e di sosta temporanea	50-100-150
Ambienti di lavoro occupati saltuariamente	100-150-200
Prestazioni visive semplici	200-300-500
Prestazioni visive medie	300-500-750
Prestazioni visive elevate per compiti difficili	1.000-1.500-2.000
Prestazioni visive elevate per compiti di particolare qualità	2.000

### Metodo del flusso totale

Si tratta di conoscere o determinare:

- l'**illuminamento medio** (E, [lux]) che si intende realizzare sul piano di lavoro;
- la **superficie totale** (A, [m<sup>2</sup>]) del locale da illuminare;
- l'**indice del locale** (I<sub>L</sub>), un parametro che tiene conto delle dimensioni del locale, nonché dell'altezza delle lampade o del soffitto rispetto al piano di lavoro, tenendo conto del sistema di distribuzione della luce:

- a) illuminazione diretta (**fig. 5a**), semidiretta e mista (o diffusa)

$$I_L = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

- con a = larghezza del locale [m]  
 b = lunghezza del locale [m]  
 h = distanza tra lampada e piano di lavoro [m]

- b) illuminazione semidiretta e indiretta (**fig. 5b**)

$$I_L = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot H \cdot (a + b)}$$

- con H = distanza tra soffitto e piano di lavoro [m]

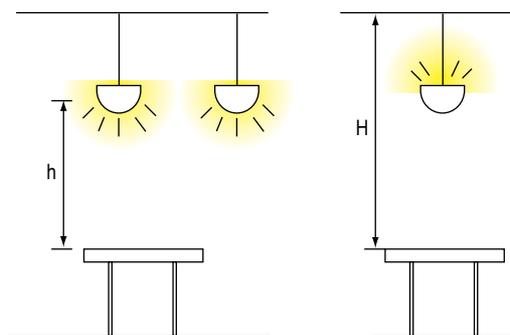


Fig. 5. Illuminazione diretta (a) e indiretta (b).

- il **fattore di manutenzione** (o **conservazione**) del locale ( $M$ ), un parametro che tiene conto delle caratteristiche deprezzate degli apparecchi illuminanti e dell'invecchiamento delle lampade. Esso dipende dal decadimento dell'emissione delle sorgenti, dalla rapidità di sporcamento delle superfici della sorgente e dell'apparecchio e dalla frequenza delle operazioni di pulizia. Se non si hanno indicazioni specifiche, in base al grado di polverosità del locale da illuminare, si può far riferimento ai dati della **tab. 7**, relativi a lampade a scarica di gas, ad apparecchi con emissione prevalentemente verso il basso e ad ambienti di medie dimensioni. Il periodo di pulizia è assunto pari a 12 mesi;

Tab. 7 – Fattore di manutenzione di un locale	
Tipo di ambiente	M
pulito	0,8
medio	0,7
sporco	0,6

- il **fattore di utilizzazione** ( $K$ ) del locale, un parametro che tiene conto delle caratteristiche degli apparecchi illuminanti, dell'indice del locale  $I_L$  e del coefficiente di riflessione del pavimento, delle pareti e del soffitto. Il coefficiente di riflessione ( $c_r$ ) è determinato dal colore delle pareti e del soffitto secondo i valori indicati in **tab. 8**.

Tab. 8 – Coefficiente di riflessione delle superfici	
Superfici	$c_r$
bianche	70%
chiare	50%
con tinte medie	30%
scure	10%

Per una esatta individuazione del fattore di utilizzazione, è bene riferirsi alle caratteristiche (o alle tabelle) messe a disposizione dai maggiori costruttori

di apparecchi luminosi presenti sul mercato. Al fine di formulare una prima indicativa ipotesi progettuale, può essere utile utilizzare la **tab. 9**, riferita a un coefficiente di riflessione tipico del pavimento pari al 20%, nella quale il fattore di utilizzazione  $K$  è fornito in funzione di:

- coefficiente di riflessione del soffitto  $r_c$ ;
- coefficiente di riflessione delle pareti  $r_w$ ;
- indice del locale  $I_L$  suddiviso per intervalli corrispondenti alle seguenti lettere.

A → $I_L = 0,5 \div 0,7$	B → $I_L = 0,7 \div 0,9$
C → $I_L = 0,9 \div 1,2$	D → $I_L = 1,2 \div 1,4$
E → $I_L = 1,4 \div 1,7$	F → $I_L = 1,7 \div 2,7$
G → $I_L = 2,7 \div 4$	H → $I_L = 4 \div 6$

Sulla base degli elementi sopraindicati, il flusso luminoso totale necessario per assicurare un determinato illuminamento di un locale è dato da:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot A}{K \cdot M}$$

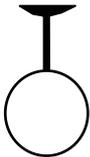
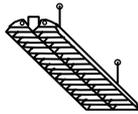
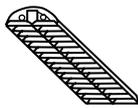
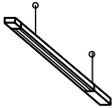
Il numero delle lampade da adottare per ottenere il livello di illuminamento desiderato, noto il flusso luminoso  $\phi_L$  emesso dalle singole lampade, vale:

$$n = \frac{\Phi_T}{\phi_L}$$

Il metodo del fattore di utilizzazione qui sinteticamente presentato offre risultati accettabili in ambienti di forma regolare.



Tab. 9 – Valori indicativi del fattore di utilizzazione per alcuni corpi illuminanti

Tipo di apparecchio	r <sub>c</sub>	80			70			50			30			10			0
	r <sub>w</sub>	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
	Fattore di utilizzazione K																
Sfera diffondente per lampada ad incandescenza 	A	.26	.19	.15	.24	.18	.14	.21	.16	.12	.17	.13	.10	.14	.11	.08	.07
	B	.33	.27	.21	.31	.25	.20	.27	.21	.19	.22	.18	.14	.18	.14	.12	.10
	C	.40	.32	.27	.37	.30	.25	.31	.25	.21	.26	.21	.18	.21	.17	.14	.12
	D	.45	.37	.32	.42	.35	.29	.35	.30	.25	.29	.25	.21	.23	.20	.17	.14
	E	.52	.44	.38	.48	.41	.36	.40	.35	.31	.33	.29	.26	.27	.24	.21	.18
	F	.60	.53	.48	.55	.50	.45	.47	.42	.38	.39	.35	.32	.31	.29	.26	.23
	G	.71	.66	.62	.65	.61	.58	.55	.52	.49	.46	.44	.42	.38	.36	.34	.30
	H	.87	.87	.87	.81	.81	.81	.70	.70	.70	.59	.59	.59	.49	.49	.49	.45
Riflettore smaltato con lampada ad incandescenza 	A	.35	.28	.23	.34	.28	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.32	.26	.23	.21
	B	.44	.37	.31	.44	.36	.31	.42	.36	.31	.41	.35	.31	.40	.34	.30	.29
	C	.52	.44	.39	.51	.44	.38	.49	.43	.38	.47	.42	.37	.46	.41	.37	.35
	D	.58	.51	.45	.57	.50	.45	.55	.49	.44	.53	.48	.44	.51	.47	.43	.41
	E	.66	.59	.54	.65	.59	.53	.62	.57	.53	.60	.56	.52	.58	.54	.51	.49
	F	.76	.70	.65	.74	.69	.65	.71	.67	.63	.69	.65	.62	.66	.63	.60	.59
	G	.87	.84	.81	.85	.82	.79	.82	.79	.77	.79	.76	.74	.76	.74	.72	.71
	H	.99	.99	.99	.97	.97	.97	.93	.93	.93	.89	.89	.89	.85	.85	.85	.83
Apparecchio con illuminazione semidiretta con doppia lampada fluorescente 	A	.29	.24	.21	.27	.23	.23	.23	.20	.17	.20	.17	.15	.17	.15	.13	.12
	B	.37	.31	.28	.34	.20	.26	.29	.26	.23	.24	.22	.20	.20	.18	.17	.15
	C	.42	.37	.33	.39	.34	.31	.33	.30	.27	.28	.25	.23	.23	.21	.20	.17
	D	.47	.42	.38	.43	.39	.35	.37	.33	.31	.31	.28	.26	.25	.23	.22	.19
	E	.52	.48	.44	.48	.44	.41	.41	.38	.35	.34	.32	.30	.27	.26	.25	.22
	F	.59	.55	.52	.54	.51	.48	.46	.43	.41	.38	.36	.34	.30	.29	.28	.25
	G	.66	.64	.62	.61	.59	.57	.51	.50	.48	.42	.41	.40	.33	.33	.32	.28
	H	.75	.75	.75	.69	.69	.69	.57	.57	.57	.46	.46	.46	.37	.37	.37	.32
Apparecchio come sopra ma con riflettore superiore 	A	.25	.21	.19	.25	.21	.18	.24	.20	.18	.23	.20	.18	.22	.19	.17	.16
	B	.31	.27	.24	.30	.26	.24	.29	.25	.23	.27	.24	.22	.26	.24	.22	.21
	C	.35	.31	.28	.34	.30	.27	.32	.29	.27	.31	.28	.26	.29	.27	.25	.24
	D	.39	.35	.32	.38	.34	.31	.36	.32	.30	.34	.31	.29	.32	.30	.28	.27
	E	.43	.39	.36	.42	.38	.35	.39	.36	.34	.37	.35	.33	.35	.33	.31	.30
	F	.48	.45	.42	.46	.44	.41	.44	.41	.39	.41	.39	.38	.39	.37	.36	.34
	G	.54	.52	.52	.52	.50	.49	.49	.47	.46	.46	.45	.43	.43	.42	.41	.40
	H	.61	.61	.61	.58	.58	.58	.55	.55	.55	.51	.51	.51	.48	.48	.48	.46
Apparecchio con lampada fluorescente per illuminazione indiretta 	A	.26	.21	.17	.23	.19	.15	.17	.14	.12	.12	.10	.08	.07	.06	.05	.03
	B	.34	.22	.23	.24	.35	.22	.23	.19	.16	.16	.13	.12	.09	.08	.07	.04
	C	.40	.34	.30	.35	.30	.26	.26	.23	.20	.18	.16	.14	.10	.09	.08	.05
	D	.45	.39	.35	.40	.35	.31	.30	.26	.24	.20	.18	.17	.11	.10	.10	.06
	E	.51	.46	.42	.45	.41	.37	.33	.30	.28	.23	.21	.19	.13	.12	.11	.07
	F	.58	.54	.50	.51	.48	.44	.38	.36	.34	.26	.24	.23	.14	.14	.13	.08
	G	.67	.64	.61	.59	.56	.54	.43	.42	.41	.29	.29	.28	.17	.16	.16	.10
	H	.77	.77	.77	.68	.68	.68	.50	.50	.50	.34	.34	.34	.19	.19	.19	.12

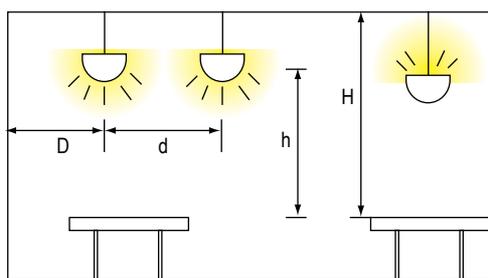


Fig. 6. Distanza tra le lampade.

Per quanto riguarda la disposizione reciproca delle sorgenti, è bene cercare di realizzare un'illuminazione uniforme del piano di lavoro. In generale, la distanza tra due sorgenti vicine non dovrebbe essere maggiore di una volta e mezza l'altezza di installazione rispetto al piano di lavoro (fig. 6)

$$\frac{d}{h} = \frac{d}{H} < 1,5$$

$$0,3 \cdot d < D < 0,5 \cdot d$$

dove:

- D è la distanza tra il baricentro dell'apparecchio e la parete;
- d è la distanza tra i baricentri degli apparecchi luminosi.

Importante è anche considerare il solido fotometrico dell'apparecchio in quanto una maggiore apertura del fascio luminoso emesso permette di distanziare di più il passo tra le diverse file di sorgenti.

### ESERCIZIO A

Si vuole illuminare un'area esterna di 8000 m<sup>2</sup> con un illuminamento medio di 25 lx, utilizzando lampade al sodio con flusso unitario di 80.000 lm e efficienza 200 lm/W disposte in modo da ottenere un coefficiente di utilizzazione pari a 0,6 in ambiente sporco. Calcolare la potenza elettrica impegnata.

#### SOLUZIONE

Il flusso totale richiesto vale:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot A}{K \cdot M} = \frac{25 \cdot 8.000}{0,6 \cdot 0,6} = 555.555 \text{ lm}$$

Numero lampade:

$$n = \frac{\Phi_T}{\Phi_L} = \frac{555.555}{80.000} = 6,9 \text{ arrotondato a } 7$$

La potenza di ogni lampada è:

$$P = \frac{80.000 \text{ lm}}{200 \text{ lm/W}} = 400 \text{ W}$$

La potenza elettrica complessiva è:

$$P = 400 \text{ W} \cdot 7 = 2,8 \text{ kW}$$

### ESERCIZIO 1

Determinare il numero di lampade necessarie per illuminare un locale di 6 x 10 m, altezza 3,2 m, con soffitto bianco e pareti chiare. Si prevede l'uso di apparecchi con lampada fluorescente da 8000 lm, con illuminazione diretta. Non è prevista manutenzione e l'illuminamento previsto è di 500 lx medio.

[Ris.: I<sub>L</sub> = 1,56; K = 0,45; M = 0,6; n = 14]



### ESERCIZIO B

Un'aula scolastica di 15 x 12 m e altezza 4 m è illuminata da 8 riflettori smaltati a fascio largo, con lampada ad incandescenza, disposti uniformemente e situati a 0,5 m dal soffitto. Ciascuna lampada ha una potenza di 116 W ed efficienza luminosa 93 lm/W. Sapendo che il soffitto è chiaro e le pareti sono in tinta media, determinare l'illuminamento medio sul piano di lavoro, ipotizzando una scarsa pulizia delle lampade.

#### SOLUZIONE

Supponendo il piano di lavoro a 0,8 m dal livello del pavimento, la distanza dell'apparecchio illuminante dal piano di lavoro risulta:

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ m}$$

Indice del locale per illuminazione diretta:

$$E = \frac{\Phi_T \cdot K \cdot M}{A} = \frac{8 \cdot 10.788 \cdot 0,67 \cdot 0,6}{15 \cdot 12} = 193 \text{ lx}$$

Dalla tab. 9, per un riflettore smaltato con lampada ad incandescenza, in corrispondenza di I<sub>L</sub> = 2,46 (lettera F) e per i coefficienti di riflessione r<sub>c</sub> = 50 (soffitto chiaro, tab. 8) e r<sub>w</sub> = 30 (pareti in tinta media), si individua un fattore di utilizzazione K = 0,67. Il fattore di manutenzione per pulizia scarsa vale M = 0,6 (tab. 7). Il flusso di ogni lampada è:

$$\Phi_L = 93 \cdot 116 = 10.788 \text{ lm}$$

L'illuminamento medio sul piano di lavoro è dato da:

$$E = \frac{\Phi_T \cdot K \cdot M}{A} = \frac{8 \cdot 10.788 \cdot 0,67 \cdot 0,6}{15 \cdot 12} = 193 \text{ lx}$$

### ESERCIZIO 2

Un ufficio di 10 x 15 x 3 m è illuminato da 24 lampade (apparecchi con lampada fluorescente per illuminazione indiretta posti a soffitto, da 3000 lm ciascuno). Ipotizzando il coefficiente di riflessione medio delle pareti 0,5, il coefficiente di riflessione del soffitto 0,8 e una buona manutenzione degli apparecchi, calcolare l'illuminamento medio sul piano di lavoro.

[Ris.: I<sub>L</sub> = 2,73; K = 0,67; M = 0,8; E = 257 lx]

**ESERCIZIO C**

Calcolare il numero di lampade da installare in un'aula da disegno di dimensioni  $7 \times 10 \times 3$  m. Si prevede un illuminamento medio sul piano di lavoro pari a 500 lx ottenuto mediante apparecchi con doppia lampada fluorescente a soffitto, di potenza  $2 \times 58$  W ed efficienza luminosa 93 lm/W. Si assuma un grado di pulizia buono degli apparecchi ed un coefficiente di riflessione delle pareti e del soffitto pari al 50%.

**SOLUZIONE**

Supponendo il piano di lavoro a 0,8 m dal livello del pavimento, la distanza dell'apparecchio illuminante dal piano di lavoro risulta:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ m}$$

Indice del locale per illuminazione diretta:

$$I_L = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{10 \cdot 7}{2,2 \cdot (10 + 7)} = 1,87$$

Dalla **tab. 9**, per un apparecchio con doppia lampada fluorescente, in corrispondenza di  $I_L = 1,87$  (lettera F) e per coefficienti di riflessione 50, si individua un fattore di utilizzazione  $K = 0,46$ .

Il fattore di manutenzione per pulizia di buon livello è  $M = 0,8$  (**tab. 7**).

Il flusso luminoso di ogni lampada è:

$$\Phi_L = 93 \cdot 58 = 5.394 \text{ lm}$$

Dalla relazione:

$$E = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot K \cdot M}{A} = 500 \text{ lx}$$

Si ricava il numero di lampade  $n = 17,6$ , arrotondato a 18, pari a 9 apparecchi portalampade.

**ESERCIZIO 3**

Si consideri un'aula scolastica (illuminamento medio consigliato 300 lux) di dimensioni  $6 \times 8$  m, nella quale si vuole realizzare un illuminamento diretto mediante apparecchi con lampade fluorescenti (3400 lm) per illuminazione indiretta sospesi a un'altezza di due metri sopra il piano di lavoro. Sapendo che il soffitto è bianco e le pareti chiare e presupponendo un livello di manutenzione buono, determinare il numero di lampade necessarie.

[Ris.:  $I_L = 1,714$ ;  $K = 0,51$ ;  $M = 0,8$ ;  $n = 11$ ]

**ESERCIZIO D**

Si vuole illuminare un piccolo laboratorio artigianale di dimensioni in pianta  $7,5 \times 5$  m, altezza 4 m e con pareti e soffitto in tinte medie. Supponendo di ricorrere ad un sistema di illuminazione diretta, con lampade ad incandescenza di 300 W (230 V), utilizzando apparecchi illuminanti del tipo monolampada con riflettore, fissati a 0,5 m dal soffitto, calcolare il numero delle lampade e la loro disposizione per ottenere sul piano di lavoro un livello di illuminamento non inferiore a 250 lux (si consideri un'altezza del piano di lavoro  $p = 0,8$  m).

**SOLUZIONE**

Area da illuminare:

$$A = a \cdot b = 7,5 \cdot 5 = 37,5 \text{ m}^2$$

Distanza dell'apparecchio illuminante dal piano di lavoro:

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ m}$$

Indice del locale:

$$I_L = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{7,5 \cdot 5}{2,7 \cdot (7,5 + 5)} = 1,11$$

Trattandosi di pareti in tinte medie, il coefficiente di riflessione vale  $c_r = 30\%$  (**tab. 8**).

Dalla **tab. 9**, per un riflettore smaltato con lampada ad incandescenza, in corrispondenza di  $I_L = 1,11$  (lettera C) e per i coefficienti di riflessione  $r_c = 30$  e  $r_w = 30$ , si individua un fattore di utilizzazione  $K = 0,42$ .

Prevedendo per gli apparecchi illuminanti una manutenzione di livello medio, si considera un fattore di manutenzione  $M = 0,7$  (**tab. 7**).

Il flusso totale risulta:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot A}{K \cdot M} = \frac{250 \cdot 37,5}{0,42 \cdot 0,7} = 31.888 \text{ lm}$$

Poiché l'efficienza indicata in **tab. 1** per le lampade ad incandescenza vale  $10 \div 20$ , si può ipotizzare un livello di efficienza medio di 15 lm/W.

Pertanto il flusso luminoso di ciascuna lampada vale:

$$\Phi_L = 15 \cdot P = 15 \cdot 300 = 4500 \text{ lm}$$

Il numero delle lampade è:

$$n = \frac{\Phi_T}{\Phi_L} = \frac{31.888}{4.500} = 7,1 \text{ arrotondato a } 8$$

Ogni apparecchio illuminante contiene una lampada e per avere una buona uniformità di illuminamento è opportuno suddividere l'area del locale in zone di uguale superficie, al centro delle quali prevedere un apparecchio illuminante.

Disponendo le lampade su due file parallele al lato più lungo si hanno quattro lampade per fila. L'interasse tra le lampade di una stessa fila vale:

$$d_1 = \frac{7,5}{4} \cong 1,9\text{m}$$

La distanza dalle pareti a lunghezza minore vale:

$$D_1 = \frac{7,5 - (3 \cdot 1,9)}{2} \cong 0,9\text{m}$$

L'interasse fra le file di lampade vale:

$$d_2 = \frac{5}{2} = 2,5\text{m}$$

La distanza dalle pareti a lunghezza maggiore vale:

$$D_2 = \frac{5 - 2,5}{2} = 1,25\text{m}$$



### ESERCIZIO E

In un locale di 16 x 6,5 m, alto 5 m, con soffitto in colore bianco e pareti di tinta media, si vuole realizzare un illuminamento medio di 190 lx servendosi di lampade fluorescenti tubolari da 40 W, montate entro riflettori con due lampade ciascuno, disposti a soffitto (manutenzione media). Si vuole conoscere il numero degli apparecchi illuminanti da installare e la loro disposizione, sapendo che la lunghezza di tali apparecchi è pari a 1,3 m.

#### SOLUZIONE

Superficie da illuminare:

$$A = a \cdot b = 16 \cdot 6,5 = 104 \text{ m}^2$$

Supponendo il piano di lavoro a 0,8 m dal livello del pavimento, la distanza dell'apparecchio illuminante dal piano di lavoro risulta:

$$h = 5 - 0,8 = 4,2 \text{ m}$$

Indice del locale:

$$I_L = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{16 \cdot 6,5}{4,2 \cdot (16 + 6,5)} = 1,1$$

Dalla **tab. 9**, per un apparecchio con due lampade fluorescenti e riflettore superiore, in corrispondenza di  $I_L = 1,11$  (lettera C) e per i coefficienti di riflessione  $r_c = 70$  (soffitto bianco, **tab. 8**) e  $r_w = 30$  (pareti in tinta media), si individua un fattore di utilizzazione  $K = 0,30$ .

Prevedendo per gli apparecchi illuminanti una manutenzione di livello medio, si considera un fattore di manutenzione  $M = 0,7$  (**tab. 7**).

Il flusso totale risulta:

$$\Phi_T = \frac{E \cdot A}{K \cdot M} = \frac{190 \cdot 104}{0,3 \cdot 0,7} = 94.095 \text{ lm}$$

Ipotizzando un livello di efficienza medio pari a 85 lm/W rispetto a quanto indicato in **tab. 5** per lampade fluorescenti tubolari (80 ÷ 90), il flusso luminoso di ciascuna lampada vale:

$$\Phi_L = 85 \cdot P = 85 \cdot 40 = 3400 \text{ lm}$$

Il numero delle lampade è:

$$n = \frac{\Phi_T}{\Phi_L} = \frac{94.095}{3.400} = 27,6 \text{ arrotondato a } 28$$

Gli apparecchi illuminanti contengono due lampade ciascuno e pertanto saranno in numero di 14. Gli apparecchi vengono disposti su due file parallele al lato maggiore.

L'interasse tra le lampade di una stessa fila vale:

$$d_1 = \frac{16}{7} \cong 2,3\text{m}$$

La distanza dalle pareti a lunghezza minore vale:

$$D_1 = \frac{16 - (6 \cdot 2,3)}{2} \cong 0,58\text{m}$$

L'interasse fra le file di lampade vale:

$$d_2 = \frac{6,5}{2} = 3,25\text{m}$$

La distanza dalle pareti a lunghezza maggiore vale:

$$D_2 = \frac{3,25}{2} = 1,625\text{m}$$

### ESERCIZIO 4

Calcolare il numero di lampade fluorescenti a soffitto da 36 W, con efficienza 96, necessarie per illuminare in modo diretto a 100 lx un corridoio pulito di dimensioni 16 x 3 x 3 m (coefficienti di riflessione: soffitto 0,50, pareti 0,30).

$$[\text{Ris.: } I_L = 0,84; K = 0,19; M = 0,8; \Phi_T = 31.579 \text{ lm}; n = 10]$$

### ESERCIZIO 5

Si vuole illuminare un'area esterna di 8000 m<sup>2</sup> con un illuminamento medio di 15 lx, utilizzando lampade al sodio con flusso unitario di 60.000 lm e efficienza 200 lm/W disposte in modo da ottenere un coefficiente di utilizzazione pari a 0,7 in ambiente sporco. Calcolare la potenza elettrica impegnata.

$$[\text{Ris.: } n = 5; P = 1,5 \text{ kW}]$$