

Valutazione dell'illuminazione artificiale

Introduzione

La progettazione del campo luminoso realizzato dalle sorgenti artificiali costituisce una parte importante dei compiti del progettista degli ambienti interni. Conoscendo i caratteri fondamentali degli effetti luminosi, si possono ottenere soluzioni molto interessanti.

L'illuminamento che si ottiene su una qualsiasi superficie è il risultato della luce che vi arriva direttamente dalle sorgenti e di quella invece che la investe dopo essere stata riflessa dai diversi elementi presenti nell'ambiente considerato.

La progettazione può essere condotta con tecniche differenti le quali comportano diversi livelli di complessità, di impegno in termini di tempo e denaro, di differente affidabilità e precisione dei risultati.

In questo contesto si prendono in considerazione metodi di calcolo di prima approssimazione basati su calcoli manuali, lasciando a corsi specialistici la presentazione dei più moderni metodi che sfruttano le possibilità dell'elaboratore elettronico e che, utilizzando modelli numerici complessi, forniscono descrizioni dettagliate e realistiche dell'ambiente luminoso interno.

Calcolo del campo luminoso

I diversi metodi di calcolo manuale del campo luminoso all'interno degli ambienti si basano sul principio di sovrapposizione degli effetti ossia sull'assunzione che l'illuminamento in un punto qualsiasi sia pari alla somma tra quello che si ottiene su di esso dalla luce che vi arriva direttamente dalle sorgenti luminose e quello ottenuto dalle diverse superfici che riflettono (fig.1). Partendo da tale definizione, l'illuminamento diretto, E_D , e diffuso, E_{diff} , che si ottengono in un punto P vengono calcolati separatamente e poi sommati per ottenere il valore globale di illuminamento, E_P .

Si ha:

$$E_P = E_D + E_{diff}$$

Scheda di applicazione progettuale 2

Valutando l'illuminamento di una particolare superficie o in diversi punti dell'ambiente si possono ottenere le distribuzioni di illuminamento.

E' utile rappresentare tali dati utilizzando dei diagrammi che descrivono le diverse superfici e in cui sono tracciate le curve isolux cioè linee che congiungono tutti i punti del piano sul quale l'illuminamento E ha il medesimo valore (figura 2).

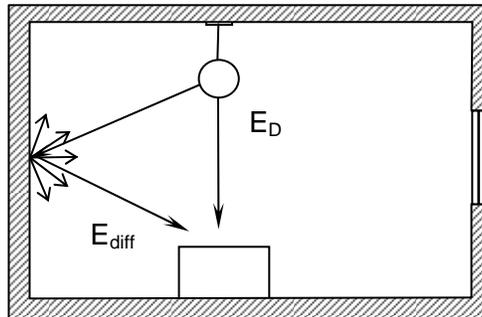


Figura 1. Componenti dell'illuminamento artificiale su di un punto interno di un ambiente.

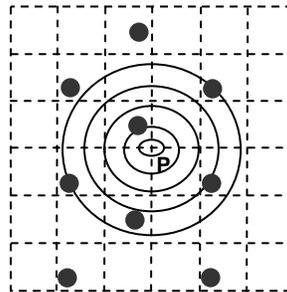


Figura 2. Curve isolux.

Campo diretto. Il più semplice dei metodi che valutano il campo diretto, applicabile quando la sorgente si può assumere puntiforme, si basa sul legame che si ha tra intensità luminosa emessa da una sorgente, I , e illuminamento, E , che si ottiene su di un punto P di una superficie illuminata da tale sorgente.

Dalle definizioni di queste grandezze (figura 3), considerando la sorgente puntiforme, in un punto P che si trova ad una distanza r dalla sorgente si ottiene l'illuminamento utilizzando la seguente relazione:

$$E = \frac{I_v \cdot \cos \nu}{r^2} \quad (1)$$

Scheda di applicazione progettuale 2

Dove ν è l'angolo tra la normale al piano cui appartiene il punto P considerato e la congiungente tale punto e la sorgente; I_ν è invece l'intensità luminosa della sorgente lungo la direzione ν .

La relazione (1) permette di ottenere l'illuminamento su un punto P su di un qualsiasi piano orizzontale illuminato da una lampada (centro luminoso) che emetta nello spazio con la distribuzione rappresentata da un certo diagramma fotometrico. Sarà infatti possibile ricavare da tale grafico l'intensità I_ν della sorgente nella direzione del punto P (figura 4).

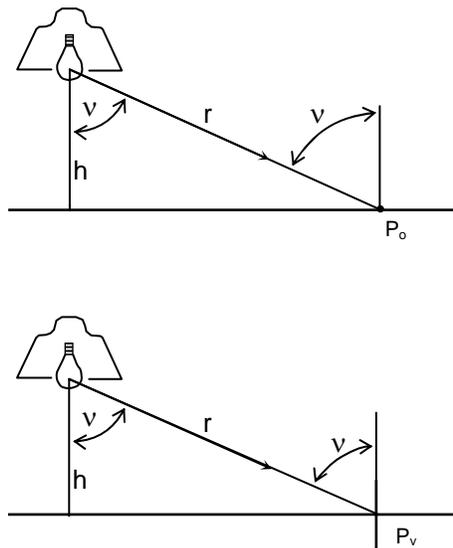


Figura 3. Relazioni tra sorgente puntiforme e superficie illuminata verticale e orizzontale.

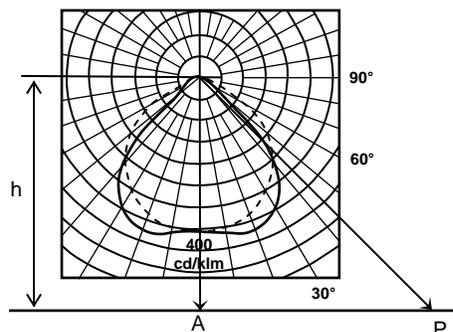


Figura 4. Curva fotometrica di un corpo illuminante e intensità luminosa in una direzione.

Se il punto considerato si trova su di un piano orizzontale (pavimento o piano di lavoro) rispetto al quale il centro luminoso è ad una altezza, h , la distanza, d , del punto dalla sorgente (fig.5) è espressa da:

Scheda di applicazione progettuale 2

$$d = h / \cos \nu$$

Sostituendo tale espressione nella relazione (1) si ottiene allora la seguente relazione:

$$E = \frac{I_v \cdot \cos^3 \nu}{d^2} \quad (2)$$

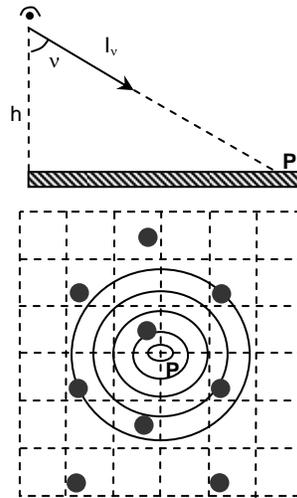


Figura 5.

Applicando tale relazione a diversi punti si ottiene la distribuzione dell'illuminamento sul piano considerato.

Le relazioni (1) e (2) possono essere utilizzate direttamente anche per valutare l'illuminamento negli ambienti esterni dove, in genere, il campo diffuso si può considerare trascurabile.

Premesso che una sorgente luminosa può ritenersi puntiforme quando la distanza tra essa ed il punto di cui interessa conoscere l'illuminamento prodotto dalla sorgente stessa è almeno 5 volte la sua dimensione maggiore.

Ripetendo il calcolo per ogni apparecchio di illuminazione, si conosce l'illuminamento totale prodotto dall'impianto nel punto P considerato.

La formula sopra riportata consente di calcolare l'illuminamento in qualsiasi punto del piano orizzontale se l'apparecchio di illuminazione presenta una distribuzione spaziale delle intensità luminose simmetrica rispetto ad un asse verticale passante per il centro dell'apparecchio.

Scheda di applicazione progettuale 2

Se l'apparecchio non è dotato di simmetria di rotazione, la conoscenza delle distribuzioni delle intensità luminose nel piano verticale passante per l'asse longitudinale ed in quello verticale passante per l'asse trasversale dell'apparecchio, consente di calcolare, sia pure in modo approssimativo, l'illuminamento in un qualsiasi punto P del piano.

Calcolo del campo diffuso. I metodi di calcolo semplificati della componente diffusa dell'illuminamento in un punto, si basano sull'assunzione di campo diffuso uniforme nello spazio interno considerato.

Partendo dall'idea che il flusso luminoso, F_L , emesso da tutte le lampade installate, si distribuisce uniformemente sulle superfici che costituiscono l'involucro, S_{tot} , l'illuminamento medio, E_{diff} , che ne deriva risulta:

$$E_{diff} = \frac{F_L \cdot r_m}{S_{tot} \cdot (1 - r_m)} \quad (3)$$

Dove r_m è il coefficiente di riflessione medio nella banda del visibile dell'involucro dell'ambiente, il quale dipende essenzialmente dai colori delle diverse superfici presenti.

Calcolo del numero di punti luce: metodo del fattore di utilizzazione

Nei paragrafi precedenti si è visto come calcolare l'illuminamento su di un punto di una superficie all'interno di un ambiente. E' utile avere a disposizione una procedura inversa che permetta, a partire dai valori di illuminamento medio che si vogliono ottenere, di stabilire il flusso luminoso necessario ossia il numero di lampade di un certo tipo che si devono installare. Una procedura di questo tipo è quella che viene di solito indicata con il nome di "metodo del fattore di utilizzazione".

Tale procedura parte dal calcolo del flusso luminoso effettivo Φ_E che deve essere emesso dalle lampade per ottenere sul piano considerato l'illuminamento E_P necessario al tipo di attività che svolgerà nello spazio analizzato.

I fattori e le grandezze che si considerano sono: il tipo di lampada (intesa come sorgente più apparecchio), la distribuzione spaziale della sua emissione, le dimensioni dell'ambiente, il valore dei coefficienti di riflessione delle pareti e del soffitto, il livello di manutenzione (pulizia, cambio della sorgente ecc.) dei centri luminosi e delle pareti.

La valutazione complessiva di tutte queste variabili è sintetizzata nell'equazione:

Scheda di applicazione progettuale 2

$$\Phi_E = \frac{E_m \cdot S}{C_U \cdot C_M}$$

nella quale: E_m è l'illuminamento medio che si vuole ottenere sul piano; S è l'area del piano che si deve illuminare (pavimento, piano di lavoro ecc.); C_U (coefficiente di utilizzazione) è un coefficiente che tiene conto delle caratteristiche geometriche del locale e delle caratteristiche di riflessione delle pareti; C_M (coefficiente di manutenzione) è un coefficiente che tiene conto del livello di manutenzione delle lampade e del loro invecchiamento.

Il coefficiente di utilizzazione, che viene individuato in funzione di un parametro detto indice del locale K , tiene conto della geometria del sistema sorgente-ambiente-piano di lavoro. A seconda che si intenda realizzare un tipo di illuminamento diretto o indiretto, l'indice del locale si calcola con una delle equazioni di seguito riportate:

- luce diretta
$$K = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)}$$

- luce indiretta
$$K = \frac{3 \cdot (a \cdot b)}{2 \cdot H \cdot (a + b)}$$

nelle quali:

a = lunghezza del locale da illuminare;

b = larghezza del locale da illuminare;

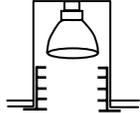
h = altezza del punto luce rispetto al piano di lavoro;

H = altezza del soffitto rispetto al piano di lavoro.

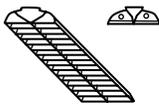
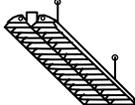
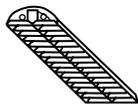
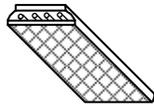
Attraverso apposite tabelle, relative all'apparecchio d'illuminazione utilizzato, fornite dal produttore, si trova il valore del fattore di utilizzazione in funzione del valore trovato di K e dei coefficienti di riflessione delle pareti e del soffitto. Spesso in tali tabelle non sono riportati i valori numerici dell'indice del locale ma esso è descritto in termini di classi contraddistinte da lettere, corrispondenti a intervalli di variazione dell'indice. La tabella I raccoglie i fattori di utilizzazione per alcuni corpi illuminanti.

Scheda di applicazione progettuale 2

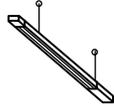
Tabella I. Fattori di utilizzazione per alcuni corpi illuminanti.

Tipo di apparecchio	r _c		80		70		50		30		10		0				
	r _w		50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0		
Fattore di utilizzazione																	
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
	Lampadario ad anelli concentrici con lampada ad incandescenza tipo BOWL 	A	.28	.22	.18	.24	.19	.16	.17	.14	.11	.10	.09	.07	.04	.03	.03
B		.36	.30	.25	.32	.26	.23	.22	.19	.16	.14	.12	.10	.06	.05	.04	.01
C		.43	.36	.32	.37	.32	.28	.26	.23	.20	.16	.14	.12	.06	.06	.05	.01
D		.48	.42	.37	.42	.37	.33	.29	.26	.23	.18	.16	.15	.07	.06	.06	.02
E		.55	.49	.45	.47	.43	.39	.33	.30	.28	.20	.19	.17	.08	.07	.07	.02
F		.63	.58	.54	.54	.50	.47	.38	.35	.33	.23	.22	.20	.09	.09	.08	.02
G		.72	.69	.66	.62	.60	.57	.43	.42	.40	.26	.25	.25	.10	.10	.10	.03
H		.83	.83	.83	.72	.72	.72	.50	.50	.50	.30	.30	.30	.12	.12	.12	.03
Riflettore smaltato con lampada ad incandescenza 		A	.35	.28	.23	.34	.28	.23	.33	.27	.23	.32	.27	.23	.32	.26	.23
	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
	Faretto ad incasso con lampada tipo PAR 	A	.59	.56	.55	.59	.56	.55	.58	.56	.54	.58	.56	.54	.57	.55	.54
B		.61	.61	.59	.61	.61	.59	.62	.60	.58	.62	.60	.58	.61	.59	.58	.57
C		.67	.64	.62	.66	.63	.62	.65	.63	.61	.64	.62	.61	.63	.61	.60	.59
D		.69	.66	.64	.68	.66	.64	.67	.65	.63	.66	.64	.63	.64	.63	.62	.61
E		.71	.69	.67	.71	.68	.67	.69	.67	.66	.67	.66	.65	.66	.65	.64	.63
F		.74	.72	.71	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.69	.68	.67	.67	.66	.66	.65
G		.78	.77	.75	.76	.75	.74	.74	.73	.72	.71	.70	.70	.69	.68	.68	.67
H		.82	.82	.82	.80	.80	.80	.76	.76	.76	.73	.73	.73	.70	.70	.70	.69
Apparecchio a fascio largo con lampada a luce fredda 		A	.26	.22	.20	.26	.22	.20	.26	.22	.20	.25	.22	.20	.25	.22	.19
	B	.33	.29	.26	.33	.29	.26	.32	.28	.26	.31	.28	.26	.30	.27	.25	.24
	C	.38	.34	.30	.37	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.34	.32	.29	.28
	D	.42	.38	.35	.41	.37	.34	.40	.36	.34	.39	.36	.33	.37	.35	.33	.32
	E	.46	.42	.40	.45	.42	.39	.44	.41	.39	.42	.40	.38	.41	.39	.37	.36
	F	.51	.48	.46	.50	.48	.45	.48	.46	.44	.47	.45	.43	.45	.44	.42	.41
	G	.57	.55	.54	.56	.54	.53	.54	.52	.51	.52	.51	.50	.50	.49	.48	.47
	H	.63	.63	.63	.62	.62	.62	.59	.59	.59	.57	.57	.57	.54	.54	.54	.53
	Riflettore da interno con	A	.51	.46	.43	.50	.46	.43	.49	.45	.42	.48	.45	.42	.48	.44	.42

Scheda di applicazione progettuale 2

<p>lampada ad alta intensità di scarica</p> 	<p>B .59 .54 .51 .58 .54 .50 .57 .53 .50 .56 .52 .50 .53 .52 .49 .48</p> <p>C .64 .60 .56 .63 .59 .56 .62 .58 .55 .60 .57 .55 .59 .56 .54 .53</p> <p>D .69 .64 .61 .68 .64 .60 .66 .62 .60 .64 .61 .59 .63 .60 .58 .57</p> <p>E .74 .70 .66 .73 .69 .66 .70 .67 .65 .68 .66 .63 .66 .64 .62 .61</p> <p>F .79 .76 .73 .78 .75 .72 .75 .73 .71 .73 .71 .69 .70 .69 .67 .66</p> <p>G .86 .84 .82 .84 .82 .80 .80 .79 .78 .77 .76 .75 .74 .74 .73 .71</p> <p>H .93 .93 .93 .90 .90 .90 .86 .86 .86 .82 .82 .82 .78 .78 .78 .77</p>
<p>Riflettore metallico smaltato con alette lampada fluorescente</p> 	<p>A .35 .29 .25 .34 .28 .25 .31 .27 .23 .29 .25 .22 .27 .23 .21 .19</p> <p>B .44 .38 .33 .42 .37 .32 .39 .34 .31 .36 .32 .29 .33 .29 .27 .25</p> <p>C .51 .45 .40 .49 .43 .39 .45 .40 .36 .41 .37 .34 .37 .34 .31 .29</p> <p>D .57 .51 .46 .54 .49 .44 .49 .45 .41 .45 .41 .38 .41 .38 .35 .33</p> <p>E .63 .58 .53 .60 .55 .51 .55 .51 .47 .50 .46 .44 .45 .42 .40 .38</p> <p>F .71 .67 .63 .68 .64 .60 .61 .58 .55 .55 .53 .51 .50 .48 .46 .43</p> <p>G .80 .77 .75 .76 .74 .71 .69 .67 .65 .62 .60 .59 .55 .54 .53 .50</p> <p>H .91 .91 .91 .86 .86 .86 .77 .77 .77 .68 .68 .68 .61 .61 .61 .57</p>
<p>Apparecchio con illuminazione semidiretta con doppia lampada fluorescente</p> 	<p>A .29 .24 .21 .27 .23 .23 .23 .20 .17 .20 .17 .15 .17 .15 .13 .12</p> <p>B .37 .31 .28 .34 .20 .26 .29 .26 .23 .24 .22 .20 .20 .18 .17 .15</p> <p>C .42 .37 .33 .39 .34 .31 .33 .30 .27 .28 .25 .23 .23 .21 .20 .17</p> <p>D .47 .42 .38 .43 .39 .35 .37 .33 .31 .31 .28 .26 .25 .23 .22 .19</p> <p>E .52 .48 .44 .48 .44 .41 .41 .38 .35 .34 .32 .30 .27 .26 .25 .22</p> <p>F .59 .55 .52 .54 .51 .48 .46 .43 .41 .38 .36 .34 .30 .29 .28 .25</p> <p>G .66 .64 .62 .61 .59 .57 .51 .50 .48 .42 .41 .40 .33 .33 .32 .28</p> <p>H .75 .75 .75 .69 .69 .69 .57 .57 .57 .46 .46 .46 .37 .37 .37 .32</p>
<p>Apparecchio come sopra ma con riflettore superiore</p> 	<p>A .25 .21 .19 .25 .21 .18 .24 .20 .18 .23 .20 .18 .22 .19 .17 .16</p> <p>B .31 .27 .24 .30 .26 .24 .29 .25 .23 .27 .24 .22 .26 .24 .22 .21</p> <p>C .35 .31 .28 .34 .30 .27 .32 .29 .27 .31 .28 .26 .29 .27 .25 .24</p> <p>D .39 .35 .32 .38 .34 .31 .36 .32 .30 .34 .31 .29 .32 .30 .28 .27</p> <p>E .43 .39 .36 .42 .38 .35 .39 .36 .34 .37 .35 .33 .35 .33 .31 .30</p> <p>F .48 .45 .42 .46 .44 .41 .44 .41 .39 .41 .39 .38 .39 .37 .36 .34</p> <p>G .54 .52 .50 .52 .50 .49 .49 .47 .46 .46 .45 .43 .43 .42 .41 .40</p> <p>H .61 .61 .61 .58 .58 .58 .55 .55 .55 .51 .51 .51 .48 .48 .48 .46</p>
<p>Apparecchio a distribuzione bilaterale "bat-wing" con lampada fluorescente</p> 	<p>A .28 .24 .20 .27 .23 .20 .27 .23 .20 .26 .22 .20 .25 .22 .20 .19</p> <p>B .35 .36 .27 .35 .30 .27 .33 .29 .27 .32 .29 .27 .32 .29 .26 .25</p> <p>C .41 .36 .33 .40 .36 .32 .39 .35 .32 .38 .35 .32 .37 .34 .31 .30</p> <p>D .46 .41 .38 .45 .41 .37 .44 .40 .37 .42 .39 .36 .41 .38 .36 .35</p> <p>E .51 .47 .44 .50 .46 .43 .49 .45 .43 .47 .44 .42 .46 .43 .41 .40</p> <p>F .57 .54 .51 .56 .53 .51 .54 .52 .50 .52 .50 .48 .51 .49 .47 .46</p> <p>G .64 .62 .60 .63 .61 .60 .60 .59 .58 .58 .57 .56 .56 .55 .54 .53</p> <p>H .71 .71 .71 .70 .70 .70 .66 .66 .66 .64 .64 .64 .61 .61 .61 .60</p>
<p>Plafoniera a quattro lampade fluorescenti con riflettore superiore</p> 	<p>A .24 .21 .19 .24 .21 .19 .23 .20 .18 .23 .20 .18 .23 .20 .18 .18</p> <p>B .29 .26 .23 .29 .26 .23 .28 .25 .23 .28 .25 .23 .27 .24 .33 .22</p> <p>C .33 .30 .27 .33 .29 .27 .32 .29 .27 .31 .28 .26 .30 .28 .26 .25</p> <p>D .36 .33 .30 .36 .33 .30 .35 .32 .30 .34 .31 .29 .33 .31 .29 .28</p> <p>E .40 .37 .34 .39 .36 .34 .38 .36 .33 .37 .35 .33 .36 .34 .32 .32</p> <p>F .44 .42 .40 .43 .41 .39 .42 .40 .38 .40 .39 .37 .39 .38 .37 .36</p> <p>G .49 .48 .46 .48 .47 .46 .46 .45 .44 .45 .44 .43 .43 .42 .42 .41</p> <p>H .55 .55 .55 .54 .54 .54 .51 .51 .51 .49 .49 .49 .47 .47 .47 .46</p>

Scheda di applicazione progettuale 2

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

$$A \rightarrow K = 0,5 \div 0,7$$

$$C \rightarrow K = 0,9 \div 1,2$$

$$E \rightarrow K = 1,4 \div 1,7$$

$$G \rightarrow K = 2,7 \div 4$$

$$B \rightarrow K_i = 0,7 \div 0,9$$

$$D \rightarrow K = 1,2 \div 1,4$$

$$F \rightarrow K = 1,7 \div 2,7$$

$$H \rightarrow K = 4 \div 6$$

I tabulati sono validi per un coefficiente di riflessione del pavimento pari a $r_f = 20$

Per quanto riguarda il coefficiente di manutenzione della sorgente 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 tabella sottostante, 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.

tipo di ambiente	C_M
pulito	0,8
medio	0,7
sporco	0,6

Il numero di lampade, N , da installare può essere calcolato una volta scelto il tipo di lampada e quindi il flusso da essa emesso, Φ_L :

$$N = \frac{\Phi_E}{\Phi_L}$$

Per quanto riguarda la disposizione delle sorgenti è bene cercare di realizzare una copertura uniforme del piano di lavoro. In generale ai fini dell'uniformità la distanza tra due sorgenti vicine non dovrebbe essere maggiore di una volta e mezza dell'altezza di installazione rispetto al piano di lavoro. 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.

Il metodo del fattore di utilizzazione qui sinteticamente presentato da risultati accettabili con ambienti di forma regolare.

Scheda di applicazione progettuale 2

Il livello di illuminamento

Le modalità, i metodi di misura e i valori medi del livello di illuminamento per ogni tipo di ambiente sono definiti dalla norma CIE (Commission Internationale de l'éclairage) sotto forma di raccomandazioni (Publication n°29 del 1986). Lo scopo di tali raccomandazioni è normalizzare i metodi di rilevamento, così da poter comparare progetti o impianti realizzati, e di poter indicare un intervallo di valori di illuminamento, per differenti compiti visivi, entro il quale si può ragionevolmente prevedere che il giudizio della maggioranza degli utilizzatori sarà di soddisfazione.

Sono stati fissati dei valori limite dell'illuminamento, uno minimo ed uno massimo, misurati su un piano convenzionale di riferimento, oltre i quali si considera che la visione sia resa comunque difficoltosa da un difetto o da un eccesso di emissione luminosa nell'ambiente.

La soglia minima assoluta è stata calcolata in 20 lux, la massima in 2.000 lux. Oltre il massimo il grado di prestazione visiva aumenta, ma in misura non molto apprezzabile, mentre risulta probabile l'insorgenza di fenomeni collaterali che disturbano o alterano la visione, come l'abbagliamento diretto o riflesso, oppure la difficoltà a distinguere piccoli dettagli. Tra questi valori di massimo e minimo è stata costruita una scala di valori intermedi a progressione geometrica, con ragione uguale ad 1,5, e sono state individuate diverse classi di illuminamento.

I livelli di illuminamento, necessari per avere una definizione visiva ottimale di un oggetto, non possono essere definiti in assoluto. Questo non solo perché i coefficienti di riflessione delle pareti e degli oggetti presenti nell'area visiva possono modificare sensibilmente le sensazioni di disagio provocate da eccessivi contrasti di luminanza (abbagliamento), ma anche perché ogni individuo presenta i suoi propri tempi di reazione allo stimolo luminoso.

Sulla base degli studi di Weston la CIE ha proposto una serie di valori di illuminamento medio di esercizio raccomandato per varie destinazioni ed attività.

Scheda di applicazione progettuale 2

Tabella I. 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	1000-1500-2000
Prestazioni visive elevate per compiti di particolare qualità	2000

Esempio 1

Si consideri l'illuminamento prodotto da una lampada da 36W e flusso luminoso 3,45 klm posizionata ad un'altezza dal piano di lavoro, h , pari a 3 m, su due punti A e B che si trovano in posizione tale che la direzione della congiungente di ciascuno con il centro di illuminazione forma con l'asse della sorgente un angolo di 0° e 45° . La distribuzione dell'intensità luminosa (curva fotometrica) è riportata in figura A.1. Per i due punti si ottengono da tale figura rispettivamente i seguenti valori di intensità: A) $I_{0^\circ} = 350$ cd, $\cos^3(0^\circ) = 1$; B) $I_{45^\circ} = 200$ cd, $\cos^3(45^\circ) = 0,35$. Essendo il diagramma parametrizzato in funzione del tipo di lampada (i valori dell'intensità sono relativi ad un klm di flusso emesso) questi valori vanno moltiplicati per il flusso emesso dalla lampada, espresso in klm.

Utilizzando la relazione (2) si può calcolare l'illuminamento orizzontale nei punti A e B.

Nel punto A:

$$E_{0^\circ} = \frac{I_0}{h^2} \cdot \cos^3(0) = \frac{350 \cdot 3,45}{3^2} \cdot 1 = 134 \text{ lux}$$

Nel punto B):

$$E_{45^\circ} = \frac{I_{45^\circ}}{h^2} \cdot \cos^3(45^\circ) = \frac{200 \cdot 3,45}{3^2} \cdot 0,35 = 27 \text{ lux}$$

Scheda di applicazione progettuale 2

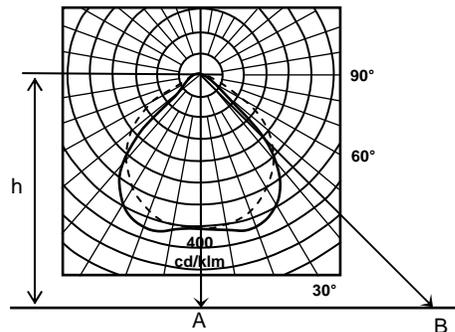


Figura A.1. Intensità di illuminazione della sorgente considerata.

Esempio 2

Si consideri un'aula scolastica, di dimensioni in pianta 6 x 8 m e di altezza 3 m. nella quali si voglia realizzare un illuminamento diretto con lampade sospese ad un'altezza di due metri sopra il piano di lavoro.

Dalla tabella CIE, l'illuminamento medio consigliato è di 300 lux e quindi il flusso luminoso necessario risulta pari a:

$$E_m \cdot S = 300 \text{ lux} \cdot 48 \text{ m}^2 = 14400 \text{ lm}$$

l'indice del locale essendo l'illuminazione diretta risulta pari a:

$$K = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \text{ m} \times 8 \text{ m}}{2 \text{ m} (6 \text{ m} + 8 \text{ m})} = 1,71$$

Tale indice del locale corrisponde alla classe geometrica F e quindi da tabelle del tipo di quella riportata in precedenza si ricavano i due coefficienti di utilizzazione e di manutenzione in funzione del tipo di lampada scelta e dei fattori di riflessione delle pareti e del soffitto.

Si ponga che si siano scelte le lampade fluorescenti con l'apparecchio diffusore con superficie diamantata rappresentato come ultimo in basso; che il soffitto abbia un coefficiente di riflessione del 75%; che le pareti abbiano un coefficiente di riflessione del 50%. Il coefficiente di utilizzazione si ottiene individuando la riga E nell'ultimo gruppo di valori che

Scheda di applicazione progettuale 2

corrispondono alla lampada prescelta. Il valore del coefficiente di utilizzazione viene individuato, su questa riga, dalla colonna che corrisponde al fattore di riflessione del soffitto (tutte le tre prime colonne di sinistra valgono per soffitto con $r = 75\%$) e al fattore di riflessione delle pareti (la prima delle tre colonne di sinistra vale per pareti con $r = 50\%$). Risulta allora $C_U = 0.51$.

Il coefficiente di manutenzione è riportato sulla destra della tabella accanto alla rappresentazione dell'apparecchio. Se il tipo di manutenzione è buono si ha $C_M = 0.70$. A partire dai diversi dati calcolati il flusso luminoso effettivo da fornire all'ambiente risulta allora pari a:

$$\Phi_E = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_M} = \frac{1440lm}{0,51 \times 0,70} = 40336lm$$

Si può ora determinare il numero di lampade che devono essere installate. Le sorgenti che si vogliono installare sono lampade fluorescenti lineari 1500 x 26 tipo de luxe ed ognuna di tali lampade emette un flusso luminoso pari a 3750 lumen. Il numero N delle lampade da installare sarà allora:

$$N = \frac{\Phi_E}{\Phi_L} = \frac{40336lm}{3750lm} = 10,75$$

Si necessita allora di 11 lampade e visto che, se si suddividono le lampade in gruppi di due dentro un apparecchio ne occorreranno almeno 12, il numero di apparecchi da installare nell'aula saranno 6. La loro disposizione si potrà per esempio prevedere su tre file equispaziate ognuna delle quali è composta da due apparecchi.

E' interessante infine notare che, se l'efficienza luminosa delle lampade è, come si ricava dalle tabelle fornite dai produttori, 65 Lumen/W, la potenza che si dovrà fornire all'impianto di illuminazione sarà $P_L = (3750 \times 12) / 65 = 692 \text{ W}$.

Esempio 3

Si progetti un impianto di illuminazione per un ufficio tecnico in cui è richiesta una soluzione tecnicamente valida anche sotto il profilo estetico.

Scheda di applicazione progettuale 2

Dati di progetto

Dimensioni del locale

lunghezza	8,5 m
larghezza	7,5 m
area totale	63,75 m ²
altezza	3 m
altezza piano di lavoro	0,65

Fattori di riflessione medi

soffitto	70-80%
parete 1	50%
parete 2	50%
parete 3	50%
parete 4	50%
pavimento	20-30%

prestazioni richieste

illuminamento in esercizio	500 lux
colorazione della luce	1
grado resa dei colori	1
classe di luminanza	1

Scelta dell'apparecchio

tipo Fenice (fig. A.2.) per lampade fluorescenti tubolari	18, 36 e 58 W
grado di protezione	IP 20
rendimento minimo	60%
estetica: buona, permette il sistema modulare	

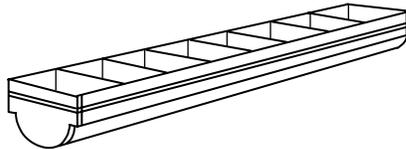


Figura A.2. Apparecchio di illuminazione tipo Fenice.

Scelta della lampada

tipo tubolare fluorescente ad alta efficienza	
tipo da 18 W	1450 lumen
tipo da 36 W	3450 lumen
tipo da 58 W	5400 lumen
resa cromatica	1
temperatura di colore	tono caldo

Scheda di applicazione progettuale 2

Calcolo del numero dei punti luce

Si calcola per prima cosa l'indice del locale:

$$K = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{8,5 \cdot 7,5}{2,35 \cdot (8,5 + 7,5)} = 1,69$$

Pertanto, dalla tabella relativa all'apparecchio Fenice (art. F99501), si ricava il seguente valore del coefficiente di utilizzazione $C_u = 60\%$. Il fattore di manutenzione delle superfici può essere assunto pari a 75%. Il flusso luminoso effettivo necessario risulta allora:

$$\Phi_E = \frac{E \cdot S}{C_u \cdot C_M} = \frac{500 \cdot 63,75}{0,6 \cdot 0,75} = 70,83 \text{ klm}$$

Si considera una lampada da 36W, con un flusso luminoso Φ_L pari a 3,450 klm, è possibile a questo punto calcolare il numero di corpi luminosi necessari:

$$N = \frac{\Phi_E}{\Phi_L} = \frac{70,83 \text{ klm}}{3,45 \text{ klm}} = 20$$

Tali corpi luminosi raggruppati a coppie di due in ciascun apparecchio illuminante si possono considerare disposti su 3 file (fig.A.3.) e pertanto ridurre a 18 o portare a 21.

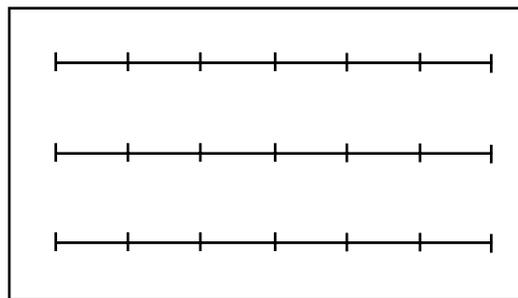


Figura A.3. Schema della distribuzione degli apparecchi.