

Luce artificiale

Metodo del flusso totale

E' un metodo di calcolo rapido per la valutazione del flusso totale che il sistema di illuminazione deve emettere per realizzare un certo ***illuminamento medio*** sul piano di lavoro.

Il metodo del flusso totale è concepito ed è, pertanto, applicabile:

- 1) per i locali a forma di parallelepipedo;
- 2) con centri luminosi dello stesso tipo;
- 3) orientati nello stesso modo;
- 4) disposti secondo i nodi di un reticolo regolare con distanza mutua idonea a realizzare l'uniformità sufficiente dell'illuminamento sul piano di lavoro.

Il metodo può essere utilizzato, in prima approssimazione, anche per il calcolo del flusso luminoso "da installare" in un locale che non è strettamente a forma di parallelepipedo ed i cui centri luminosi non sono organizzati in un reticolo regolare.

In ogni caso, è necessario verificare i parametri dell'impianto corrispondenti ai requisiti per una buona illuminazione.

Il flusso totale necessario

Per realizzare un illuminamento medio E (lx) sul piano di lavoro di area S (m^2) è necessario che il complesso dei centri luminosi emetta almeno il flusso luminoso minimo ExS (lm).

Tuttavia, il flusso che i centri devono emettere effettivamente deve essere maggiore di ExS a causa dell'assorbimento della luce dovuto alle superfici del locale ed agli oggetti presenti.

E' necessaria, altresì, una maggiorazione ulteriore a causa della polvere e dello sporco che si deposita sugli apparecchi e sulle superfici del locale, nonché per tenere conto del tasso di degrado del flusso emesso dalle lampade in dipendenza del tipo e dell'uso.

Per stimare il flusso totale necessario Φ tenendo conto di questi aspetti, il flusso luminoso di progetto sul piano di lavoro ExS è incrementato considerando due fattori al denominatore minori dell'unità, di natura diversa:

$$\Phi = (ExS)/(U \times M) \text{ (lm)}$$

dove **U**, detto **fattore di utilizzazione**, tiene conto dell'assorbimento nel locale e **M**, detto **fattore di manutenzione**, tiene conto del degrado delle lampade, degli apparecchi e delle superfici del locale nel tempo.

Il fattore di utilizzazione U

Il fattore di utilizzazione **U** esprime la frazione di flusso luminoso emesso dalle lampade che, alla fine, incide sul piano di lavoro determinando l'illuminamento desiderato.

Questo fattore è fornito dal costruttore di lampade in tabelle apposite per ciascun apparecchio di illuminazione in funzione dei coefficienti di riflessione delle superfici della geometria del locale e del tipo di impianto.

La disposizione degli apparecchi, **purché uniforme**, ha scarsa influenza sul fattore di utilizzazione. Il progettista ha la libertà di scegliere la distanza mutua tra gli apparecchi rispettando i requisiti di uniformità.

I coefficienti di riflessione sono riferiti alle condizioni reali di esercizio del locale (con arredo normale, quadri, etc.). Sono espressi da una terna di numeri usualmente ordinati: per il soffitto, le pareti ed il pavimento.

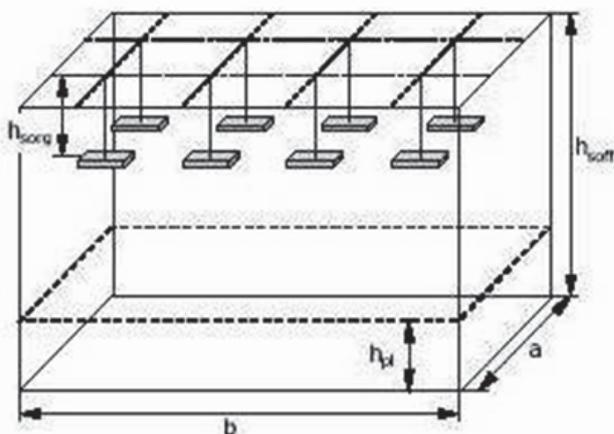
La geometria del locale è descritta dall'**indice del locale K**:

$$K = ab/[(a + b)h]$$

dove a e b sono le dimensioni in pianta e h è un'altezza dipendente dal tipo di sistema di illuminazione.

Indice del locale e tipo di illuminazione

La dimensione h nell'indice del locale dipende dal tipo di illuminazione



h_{soff} = altezza del soffitto
 h_{pl} = altezza del piano di lavoro (0.8 m)
 h_{sorg} = distanza delle sorgenti dal soffitto

Illuminazione diretta

$h = h_{soff} - h_{sorg} - h_{pl}$ = altezza dei centri luminosi dal piano di lavoro

Illuminazione indiretta

$h = h_{soff} - h_{pl}$ = altezza del soffitto dal piano di lavoro

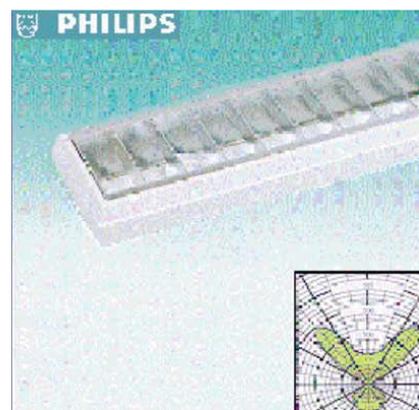
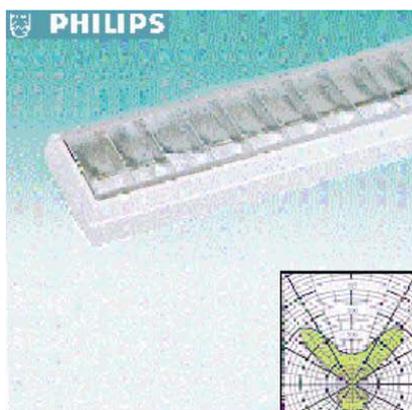
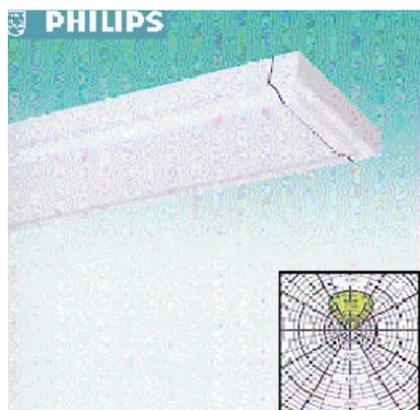
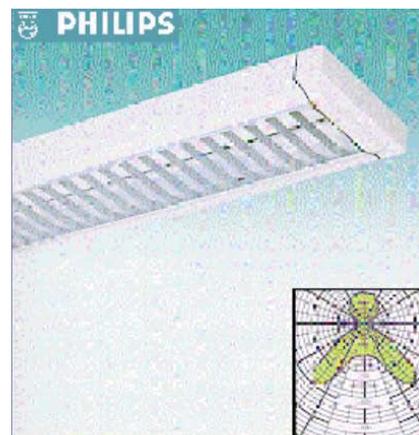
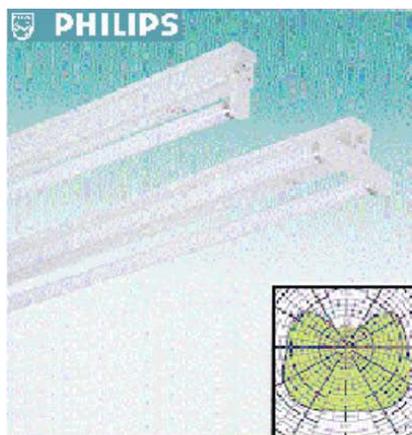
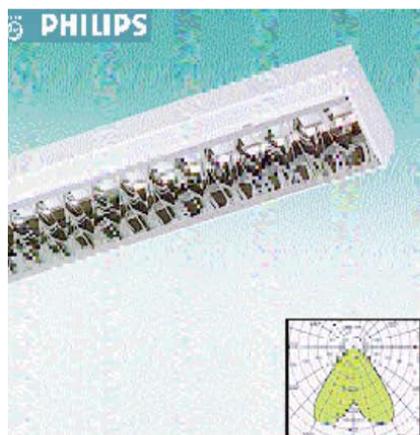
Fattore di utilizzazione U per alcuni apparecchi di illuminazione

Tipo di illuminazione	Apparecchi	Indice del locale K	Soffitto								
			75 %			50 %			30 %		
			Pareti								
			50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	30 %	10 %	
semidiretta 25% 60%	plafoniere nude o con coppe diffondenti 	0,50 + 0,70	0,28	0,22	0,18	0,26	0,21	0,18	0,20	0,17	
		0,70 + 0,90	0,35	0,29	0,25	0,33	0,27	0,24	0,26	0,24	
		0,90 + 1,10	0,39	0,33	0,30	0,37	0,32	0,28	0,30	0,27	
		1,10 + 1,40	0,45	0,38	0,33	0,40	0,36	0,32	0,33	0,30	
		1,40 + 1,75	0,49	0,42	0,37	0,43	0,39	0,34	0,37	0,33	
		1,75 + 2,25	0,56	0,50	0,44	0,49	0,44	0,40	0,42	0,38	
		2,25 + 2,75	0,60	0,55	0,50	0,53	0,48	0,44	0,47	0,44	
		2,75 + 3,50	0,64	0,59	0,54	0,56	0,51	0,47	0,50	0,47	
3,50 + 4,50	0,68	0,62	0,59	0,61	0,56	0,53	0,54	0,52			
4,50 + 6,50	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60	0,58	0,57			
mista 40% 40%	diffusori 	0,50 + 0,70	0,26	0,23	0,21	0,23	0,21	0,19	0,19	0,17	
		0,70 + 0,90	0,32	0,29	0,27	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	
		0,90 + 1,10	0,37	0,33	0,31	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	
		1,10 + 1,40	0,40	0,36	0,34	0,34	0,31	0,30	0,28	0,26	
		1,40 + 1,75	0,42	0,39	0,36	0,36	0,33	0,32	0,30	0,28	
		1,75 + 2,25	0,46	0,43	0,40	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	
		2,25 + 2,75	0,50	0,46	0,43	0,44	0,40	0,39	0,34	0,33	
		2,75 + 3,50	0,52	0,48	0,45	0,46	0,44	0,41	0,37	0,36	
3,50 + 4,50	0,55	0,52	0,49	0,48	0,46	0,45	0,39	0,38			
4,50 + 6,50	0,57	0,54	0,51	0,49	0,47	0,46	0,42	0,41			
diretta 80%	riflettori a fascio largo 	0,50 + 0,70	0,38	0,32	0,28	0,37	0,32	0,28	0,31	0,28	
		0,70 + 0,90	0,46	0,42	0,38	0,46	0,41	0,38	0,41	0,38	
		0,90 + 1,10	0,50	0,46	0,43	0,50	0,46	0,43	0,46	0,43	
		1,10 + 1,40	0,54	0,50	0,48	0,53	0,50	0,47	0,49	0,47	
		1,40 + 1,75	0,58	0,54	0,51	0,56	0,53	0,50	0,52	0,50	
		1,75 + 2,25	0,62	0,59	0,56	0,60	0,58	0,56	0,58	0,56	
		2,25 + 2,75	0,67	0,64	0,61	0,65	0,63	0,61	0,62	0,61	
		2,75 + 3,50	0,69	0,66	0,63	0,67	0,65	0,63	0,64	0,62	
3,50 + 4,50	0,72	0,70	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,66			
4,50 + 6,50	0,74	0,71	0,69	0,72	0,70	0,68	0,69	0,67			
diretta 70%	riflettori a fascio medio 	0,50 + 0,70	0,35	0,32	0,30	0,35	0,32	0,30	0,32	0,30	
		0,70 + 0,90	0,43	0,39	0,37	0,42	0,39	0,37	0,39	0,37	
		0,90 + 1,10	0,48	0,45	0,42	0,47	0,44	0,42	0,43	0,41	
		1,10 + 1,40	0,53	0,50	0,47	0,52	0,49	0,47	0,48	0,46	
		1,40 + 1,75	0,57	0,53	0,50	0,55	0,52	0,50	0,52	0,50	
		1,75 + 2,25	0,61	0,57	0,55	0,59	0,57	0,54	0,56	0,54	
		2,25 + 2,75	0,64	0,61	0,59	0,62	0,60	0,58	0,59	0,57	
		2,75 + 3,50	0,66	0,63	0,61	0,63	0,61	0,60	0,61	0,59	
3,50 + 4,50	0,68	0,66	0,63	0,66	0,64	0,63	0,63	0,62			
4,50 + 6,50	0,69	0,67	0,66	0,67	0,66	0,64	0,65	0,63			

Stima approssimativa del fattore di manutenzione M

Tipo di manutenzione	Fattori di manutenzione in relazione al tipo di apparecchio			
				
buona	0,80	0,75	0,75	0,75
media	0,70	0,65	0,70	0,65
pessima	0,60	0,55	0,65	0,55

Esempi di apparecchi che realizzano distribuzioni diverse



Fasi della progettazione

- 1) Definizione delle caratteristiche del locale da illuminare: natura generale, geometria, disposizione dei posti di lavoro, definizione dei compiti visivi, etc.
- 2) Definizione dell'illuminamento di progetto in relazione alla destinazione d'uso del locale: tabelle con raccomandazioni dei livelli di illuminamento, gradazione di colore, resa dei colori e classe di controllo dell'abbagliamento.
- 3) Scelta del tipo di illuminazione: diretta, semi-diretta, etc.. Valutazione della quota di illuminamento medio necessario sul piano di lavoro e considerazione dell'uso eventuale di centri luminosi localizzati aggiuntivi per incrementare l'illuminamento medio - oggetto del progetto con il metodo del flusso totale - su aree specifiche, se necessario.
- 4) Calcolo dell'indice del locale K.
- 5) Valutazione dei coefficienti di riflessione del soffitto delle pareti ed, eventualmente, del pavimento: tabelle in base alle quali è possibile calcolare valori medi pesati secondo l'estensione delle superfici specifiche.
- 6) Individuazione del fattore di utilizzazione U: in base ai dati del costruttore per l'insieme di lampade ed apparecchi di illuminazione idonei alla realizzazione del progetto.

....cont. Fasi della progettazione

- 7) Calcolo del fattore di manutenzione M: con la procedura complessa con $M = D_l \times D_a \times D_s$ oppure con stime sulla base degli intervalli di valori di M tabellati in funzione del tipo di manutenzione.
- 8) Calcolo della superficie S del piano di lavoro (ovvero di riferimento).
- 9) Calcolo del flusso totale: $\Phi = ES/(UM)$
- 10) Calcolo del numero n di centri luminosi per realizzare l'illuminamento medio E: $n = \Phi/\Phi_l$ dove Φ_l è il flusso emesso dal centro luminoso scelto.
- 11) Disposizione uniforme degli "n" centri luminosi nel locale.
- 12) Verifica dell'uniformità dell'illuminamento sul piano di lavoro: $E_{min}/E \geq 0,8$. Nel caso questa condizione non fosse verificata, si aumenta il numero di centri luminosi che realizzano lo stesso Φ e, quindi, lo stesso E medio distribuito meglio.
- 13) Ulteriori verifiche: abbagliamento diretto con il metodo delle curve limite, contrasto di luminanza, abbagliamento indiretto, etc.
- 14) Calcolo dei consumi elettrici e stima dei costi di gestione e di manutenzione.

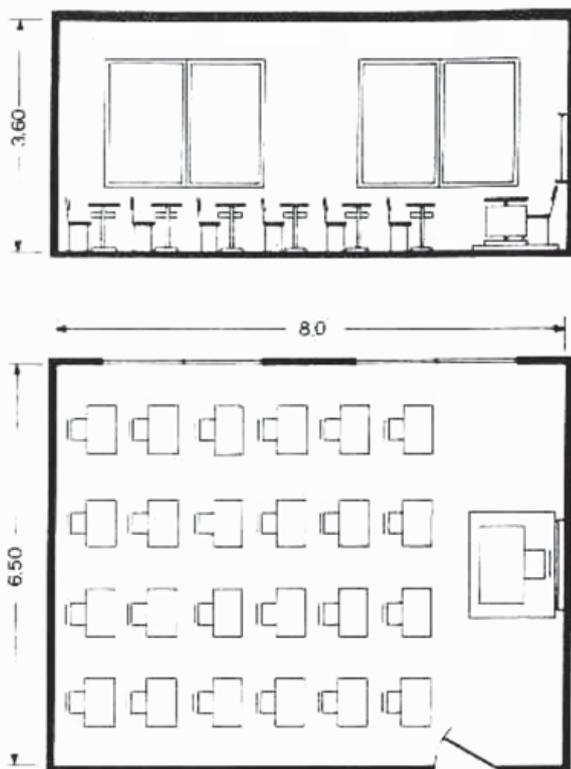
Coefficienti di riflessione di superfici tinteggiate e di materiali illuminati con il campione CIE "C"

Colore	Coefficiente di riflessione, %	Materiale	Coefficiente di riflessione, %
Bianco	70-85	Vernice bianca	87-88
Grigio chiaro	45-65	Alluminio, anodizzato lucido	75-87
Grigio	25-40	Alluminio, anodizzato opaco	75-84
Grigio scuro	10-20	Contros. fonoass. bianco, forato	60-80
Nero	5	Marmo, bianco	60-70
Giallo	65-75	Malta, chiara	35-50
Bruno giallastro	30-50	Calcestruzzo, chiaro	30-40
Marrone scuro	10-25	Calcestruzzo scuro	15-25
Verde chiaro	30-55	Arenaria, chiara	30-40
Verde scuro	10-25	Arenaria, scura	15-25
Rosa	45-60	Granito	15-25
Rosso chiaro	25-35	Mattoni, chiari	20-30
Rosso scuro	10-20	Mattoni, scuri	10-15
Celeste	30-55	Legno, chiaro	30-50
Blu	10-25	Legno, scuro	10-25
		Acciaio inox	55-65
		Vetro chiaro	7
		Vetro riflettente	20-30
		Vetro colorato	7
		Erba	6-10
		Vegetazione	25

Valori raccomandati per l'illuminazione di interni - 4

Tipo di locale, compito visivo o attività	Valori di E_n (lux)	Gradazione di colore	R_a	G	Note
Scuole					
Classi: illuminazione generale	300 - 500	W, I	1B	A-B	300lx: aule con sufficiente ill. naturale 500lx: aule con insufficiente ill. naturale
Classi: lavagna	300 - 500	W, I	1B	A-B	
Classi: disegno	500 - 750	W, I	1A, 1B	A-B	
Aule universitarie: illuminazione generale	300 - 500	W, I	1B	B	
Aule universitarie: lavagna	500 - 750	W, I	1B	B	
Aule universitarie: banchi per dimostrazioni	500 - 750	W, I	1B	B	
Laboratori, officine e sale per l'istruzione d'arte	500	W, I	1B	B	
Salè per assemblee	150 - 200 - 300	W, I	1B	B	

Esempio di calcolo per un'aula scolastica



L'aula in figura ha le dimensioni $a = 8,0$ m, $b = 6,5$ m e $h_{soff} = 3,6$ m.

Le pareti sono tinteggiate in grigio chiaro ed il soffitto in bianco.

Essendo dotata di finestre, il sistema di illuminazione deve integrare un illuminamento medio sul piano di lavoro $E = 300$ lx con $R_a = 1B$ e $G = A-B$.

Il sistema scelto è a illuminazione diretta-indiretta (mista). Gli apparecchi che possono soddisfare questi requisiti sono del tipo a schermo con due lampade tubolari fluorescenti da 36 W.



In effetti, avendo fatto queste scelte, rimane da progettare il numero di centri luminosi e la loro disposizione.

Calcolo dell'indice del locale $K = ab/[(a + b)h]$

Illuminazione diretta, semi - diretta e mista:

$h = h_{soff} - h_{sorg} - h_{pl}$ = altezza dei centri luminosi rispetto al piano di lavoro.

$$K = 8,0 \times 6,5 / [(8,0 + 6,5)(3,6 - 0,30 - 0,8)] = 1,43$$

Per il soffitto bianco è $\rho = 0,75$; per le pareti grigio chiaro + finestre + porta + lavagna si può assumere un valore medio pesato $\rho = 0,50$.

Dalla Tabella si legge un **fattore di utilizzazione $U = 0,42$**

Fattore di utilizzazione U per alcuni apparecchi di illuminazione

Tipo di illuminazione	Apparecchi	Indice del locale K	Soffitto								
			75 %		50 %		30 %				
			Pareti								
		50 %		30 %		10 %		30 %		10 %	
semidiretta 	plafoniere nude o con coppe diffusori 	0,50 + 0,70	0,28	0,22	0,18	0,26	0,21	0,18	0,20	0,17	
		0,70 + 0,90	0,35	0,29	0,25	0,33	0,27	0,24	0,26	0,24	
		0,90 + 1,10	0,39	0,33	0,30	0,37	0,32	0,28	0,30	0,27	
		1,10 + 1,40	0,45	0,38	0,33	0,40	0,36	0,32	0,33	0,30	
		1,40 + 1,75	0,49	0,42	0,37	0,43	0,39	0,34	0,37	0,33	
		1,75 + 2,25	0,56	0,50	0,44	0,49	0,44	0,40	0,42	0,38	
		2,25 + 2,75	0,60	0,55	0,50	0,53	0,48	0,44	0,47	0,44	
		2,75 + 3,50	0,64	0,59	0,54	0,56	0,51	0,47	0,50	0,47	
		3,50 + 4,50	0,68	0,62	0,59	0,61	0,56	0,53	0,54	0,52	
		4,50 + 6,50	0,70	0,65	0,62	0,65	0,62	0,60	0,58	0,57	
mista 	diffusori 	0,50 + 0,70	0,26	0,23	0,21	0,23	0,21	0,19	0,19	0,17	
		0,70 + 0,90	0,32	0,29	0,27	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	
		0,90 + 1,10	0,37	0,33	0,31	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24	
		1,10 + 1,40	0,40	0,36	0,34	0,34	0,31	0,30	0,28	0,26	
		1,40 + 1,75	0,42	0,39	0,36	0,36	0,33	0,32	0,30	0,28	
		1,75 + 2,25	0,46	0,43	0,40	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	
		2,25 + 2,75	0,50	0,46	0,43	0,44	0,40	0,39	0,34	0,33	
		2,75 + 3,50	0,52	0,48	0,45	0,46	0,44	0,41	0,37	0,36	
		3,50 + 4,50	0,55	0,52	0,49	0,48	0,46	0,45	0,39	0,38	
		4,50 + 6,50	0,57	0,54	0,51	0,49	0,47	0,46	0,42	0,41	

Calcolo del flusso totale $\Phi = (E \times S) / (U \times M)$

Ipotizzando un tipo di manutenzione media, si stima $M = 0,70$. Pertanto si calcola:

$$\Phi = 300 \times 52 / (0,42 \times 0,70) = 53 \times 10^3 \text{ lm}$$

Calcolo del numero n di lampade

Potenza nominale (W)	Potenza compreso reattore (W)	Lunghezza spine escluse (mm)	Flusso luminoso (lm)		
			Ra = 66	Ra = 77	Ra = 86
18	28	590	1 150	1 050	1 450
36	46	1 200	3 000	2 600	3 450
58	70	1 500	4 800	4 100	5 400

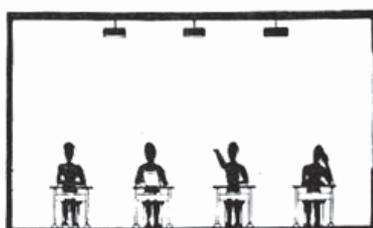
La lampada fluorescente tubolare scelta da 36 W soddisfa la classe di resa dei colori 1B: $80 < R_a < 90$ ed è di tonalità neutra (classe I). Il flusso luminoso emesso è pari a 3450lm ed ha un consumo di 46 W.

$$n = \Phi / \Phi_1 = 50 \times 10^3 / 3450 = 15,38 \approx 16$$

Siccome l'apparecchio scelto è bi-lampada, è necessario sospendere otto apparecchi in modo uniforme. Una scelta possibile appare una disposizione su due file longitudinali. Tuttavia, può rivelarsi più idonea, per motivi di uniformità di distribuzione dell'illuminamento e di limitazione dell'abbagliamento diretto, una disposizione di nove centri luminosi, tre su ciascuna delle tre corsie tra i banchi.

A parte l'eventuale lampada per la lavagna, l'installazione con 8 centri ha un consumo di $46 \times 16 = 736 \text{ W}$, mentre per quella a 9 centri risulta di 828 W.

Disposizione dei centri luminosi nell'aula



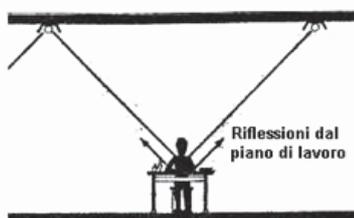
A questo punto sarebbe necessario effettuare le verifiche delle qualità per una buona illuminazione.

Uniformità dell'illuminamento $\epsilon \geq 0,8$: la valutazione richiede un programma di calcolo o, in via di prima approssimazione, si può effettuare il calcolo dell'illuminamento diretto per punti sul piano di lavoro.



Verifica dell'abbagliamento diretto con le curve limite CIE-A: sono necessarie le curve di ripartizione dell'apparecchio.

Verifica dell'abbagliamento indiretto: la disposizione delle lampade causa riflessioni non nocive dal piano di lavoro.



L'illuminazione della lavagna può essere effettuata con una lampada schermata integrata nel suo telaio o con un ulteriore idoneo corpo illuminante sospeso al soffitto.