

NOZIONI DI ILLUMINOTECNICA

- 1_introduzione
- 2_la propagazione della luce
- 3_le grandezze fotometriche
- 4_la percezione della luce
- 5_illuminazione diretta, indiretta, mista
- 6_le lampade
- 7_luminanza e comfort visivo
- 8_calcolo del fabbisogno di flusso luminoso

1_introduzione

Negli ultimi 25 anni il mondo dell'illuminotecnica è cambiato, in quanto è cambiata la valutazione qualitativa della luce, la qualità prende in considerazione la cromaticità della luce. In termini quantitativi la soluzione è semplice, se ho bisogno di più luce metto più lumen. Mentre dal punto di vista qualitativo ci sono molti aspetti che devono ancora essere capiti, come gli effetti psicologici della luce (come la luce influenza gli stati mentali). Dal punto di vista dell'architetto, lo studio sulla qualità della luce permette di valorizzare la visione degli ambienti che progetta, in quanto la luce deve mostrare la cromaticità degli oggetti/ambienti e non danneggiarla.

_Irraggiamento: trasmissione di energia a distanza senza trasporto di materia

La luce si genera principalmente in due modalità: per incandescenza e per salto di elettrone.

_Incandescenza: è il modo più tradizionale e avviene attraverso un corpo ad elevata temperatura (lampade a olio, gas, candele). Qualunque corpo portato ad elevata temperatura emette luce secondo la *Legge di Stefan-Boltzmann*:

$q_0 = \sigma_0 T^4$ (W/m²) dove:

q_0 : energia immessa in tutto lo spettro

T: temperatura assoluta del corpo (K)

σ_0 : costante di *Stefan-Boltzmann*, pari a $5.64 \cdot 10^{-8}$ (W/m²*K⁴)

La radiazione elettromagnetica totale in Watt si ottiene:

$$Q = S \cdot \sigma_0 T^4$$

_Per salto di elettrone: si verifica quando l'elettrone viene eccitato e portato in un orbita esterna dell'atomo; quando l'elettrone ricade

nell'orbita interna dell'atomo genera energia che emette sotto forma di fotone di luce, quindi di radiazione luminosa.

2_la propagazione della luce

La luce è una radiazione elettromagnetica, caratterizzata da Lunghezza d'onda, frequenza e velocità di propagazione nel mezzo; governate dalla legge:

$$\lambda \cdot f = \frac{c_0}{n} \text{ dove:}$$

λ : lunghezza d'onda

f : frequenza (Hz)

n : indice di rifrazione del mezzo

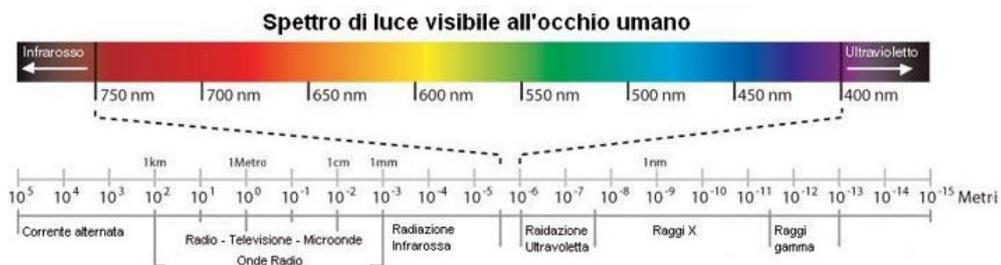
c_0 : velocità della luce nel vuoto pari a $3 \cdot 10^8$ m/s

Il campo delle radiazioni visibili copre un intervallo estremamente ridotto, infatti le radiazioni visibili vanno da 450nm a 750nm (nanometri, un milionesimo di metro). Quando un corpo caldo varia di temperatura, cambia anche la sua posizione sullo spettro del picco di energia emessa, quindi la temperatura del corpo fa cambiare anche il colore del corpo stesso. Precedono e seguono questo intervallo i campi dell'infrarosso e dell'ultravioletto. Il campo delle luci visibili corrisponde allo spettro dell'arcobaleno. All'interno del campo di lunghezze d'onda cambia la sensibilità della ricezione del colore, dove la sensibilità è massima la lunghezza d'onda corrisponde a 555nm; corrispondente a un colore gialloverde. La curva della sensibilità è vera quando la luce è molto intensa, perché di notte l'occhio si adatta a colori più verso il rosso.

La frequenza: è il numero di periodi che l'onda elettromagnetica compie in un secondo. Si misura in Hz.

La velocità di propagazione: Le onde elettromagnetiche si propagano nel vuoto o nell'aria c_0 pari a circa 300.000 km/s.

Indice di rifrazione [n]: è il fattore di riduzione della velocità della luce c/c_0 : nell'aria e nel vuoto vale 1, nel plexiglass 1.33, nel vetro ottico 1.5 e in certi cristalli si arriva fino a 1.65.



3_ le grandezze fotometriche

Le principali grandezze fotometriche sono:

_Flusso luminoso (Φ), unità di misura “Lumen” [lm]: una sorgente luminosa emette un flusso luminoso che dunque è la quantità di luce emessa da una sorgente nell’unità di tempo. Si misura in Lumen (lm)

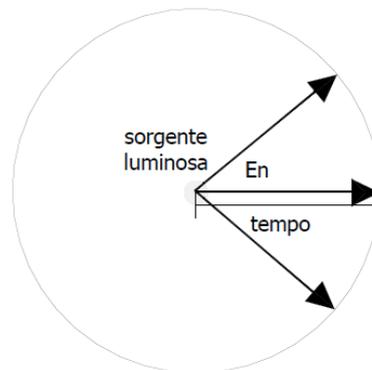
2. Flusso luminoso

Quantità di luce emessa da una sorgente nell’unità di tempo.

L’unità di misura è il *lumen*.

$$\Phi = \frac{En}{t} = I \cdot \omega$$

$$\Phi = [cd \cdot sr] = [lm]$$



_Intensità luminosa (I) [candela]: quantità di luce emessa da una sorgente nell’unità di tempo e nell’unità di angolo solido [candela].

3. Intensità luminosa

Quantità di luce emessa da una sorgente nell’unità di tempo e nell’unità di angolo solido.

L’unità di misura è la *candela*.

$$I = \frac{En}{t \cdot \omega} = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$I = \left[\frac{lm}{sr} \right] = [cd]$$



Brillanza: rapporto tra l'intensità di luce emessa da una sorgente non puntiforme e l'area della superficie emittente. Si usa per le sorgenti luminose di tipo 'flat', ovvero distribuite lungo una superficie piatta.

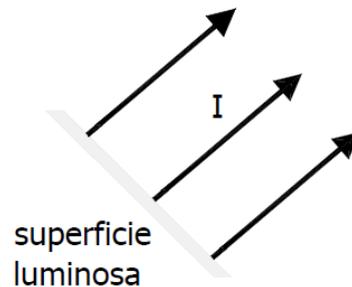
4. Brillanza

Rapporto tra l'intensità di luce emessa da una sorgente non puntiforme e l'area della superficie emittente.

L'unità di misura è lo *stilb*, che corrisponde all'emissione di 1 cd/cm².

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

$$L = \left[\frac{cd}{cm^2} \right] = [sb]$$



Luminanza (L) [stilb]: a differenza della brillanza si divide per la superficie apparente, non per la superficie reale della direzione della sorgente luminosa [candele al metro quadro].

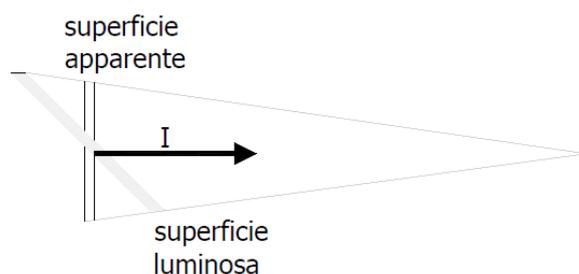
5. Luminanza

Rapporto tra l'intensità di luce emessa da una sorgente non puntiforme in una determinata direzione e l'area della superficie perpendicolare a tale direzione.

L'unità di misura è la cd/m².

$$L = \frac{\bar{I}}{S_{app}}$$

$$L = \left[\frac{cd}{m^2} \right]$$



Illuminamento (E) [Lux]: lumen al metro quadro [lux]

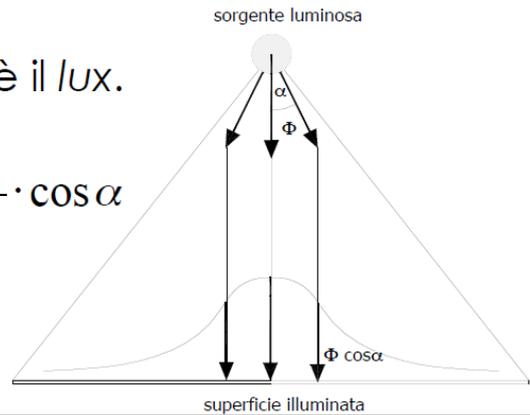
6. Illuminamento

Rapporto tra la componente perpendicolare del flusso luminoso ($\Phi \cos \alpha$) che incide su una superficie e l'area della superficie stessa.

L'unità di misura è il *lux*.

$$E = \frac{\Phi}{S} \cdot \cos \alpha = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

$$E = \left[\frac{lm}{m^2} \right] = [lx]$$



Luminosità o radianza (F) [Lux]: rapporto tra flusso luminoso diffuso da una superficie illuminata e l'area della superficie stessa.

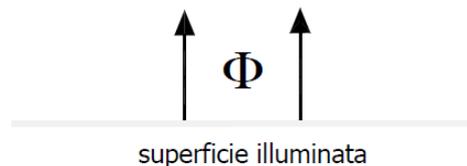
7. Luminosità o radianza

Rapporto tra il flusso luminoso diffuso da una superficie illuminata e l'area della superficie stessa.

L'unità di misura è il *lambert*.

$$R = \frac{\Phi}{S}$$

$$R = \left[\frac{lm}{cm^2} \right] = [lambert]$$



_Indice di resa cromatica (IRC): è un parametro di tipo qualitativo che analizza le sfumature di colore degli oggetti illuminati (quanto è bella la luce) con standard massimo lo spettro di luce solare. Le lampade più brutte sono quelle con luce arancione dell'illuminazione stradale, ovvero una luce monocromatica. La valutazione si occupa prettamente di aspetti qualitativi della luce, valutando quanto lo spettro della luce assomiglia allo spettro della luce solare.

IRC basso	50-70
IRC buono	70-85
IRC ottimo	85-100

Le lampade a vapori di sodio, per esempio, si collocano solamente su una sola riga di colore (arancione), quindi illuminano solamente i corpi che sono in grado di riflettere quella particolare porzione dello spettro cromatico. Il nostro sistema percettivo invece si adatta a un sistema "broadband" (banda larga) di colori.

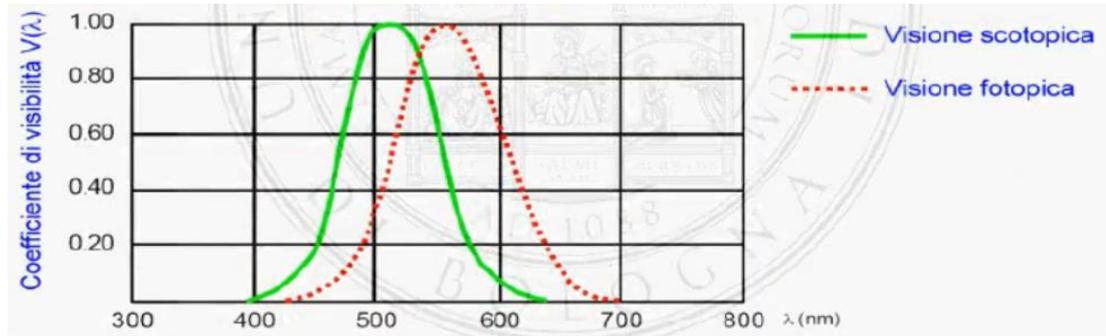
_Temperatura di colore: è un metodo per valutare la cromaticità della luce. E consiste nell' assimilarla ad un corpo incandescente ad una certa temperatura. Al crescere della temperatura il picco tende a spostarsi verso l'azzurro, più è giallognola più è comparabile con la luce del sole. Quando una luce è di colore arancione o rossastra si tende a dire che è una 'luce calda', come quando la luce è grigio-azzurra si tende a dire che è una 'luce fredda' parlando in termini non scientifici. La temperatura di colore è l'esatto contrario di ciò. Infatti una luce azzurra ha un elevata temperatura di colore, mentre una luce giallo-arancione ha una temperatura di colore più bassa.

La **tonalità** della luce è la funzione della temperatura di colore della sorgente luminosa, si misura in Kelvin (K)

Tonalità calda	2000-3000
Tonalità bianca standard	3000-4000
Tonalità extra bianca	4000-4500
Tonalità fredda	>4500

4_la percezione della luce

La vista dell'uomo non percepisce allo stesso modo le varie lunghezze d'onda presenti nella luce: in condizioni fotopiche (luce intensa diurna a colori) l'occhio ha la massima percezione del colore, corrispondente a una frequenza di 555 nm; in condizioni scotopiche (luce scarsa in bianco e nero) la massima percezione si sposta ad una frequenza di 510 nm.



5_illuminazione diretta, indiretta, mista

La luce nell'illuminazione **diretta** viene sparata verso l'oggetto da illuminare, nella **mista** viene sparata sia verso che nel verso opposto, nell'**indiretta** viene sparata per esempio contro un muro per illuminare con luce di rimbalzo.

☞ Distribuzione diretta

Il flusso luminoso è indirizzato nella zona sottostante l'apparecchio.

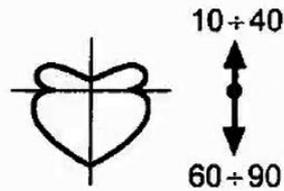
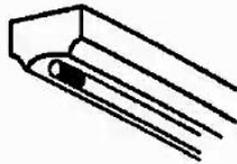
Se l'apparecchio non è posizionato ad un'altezza insufficiente crea disuniformità di illuminamento e abbagliamento.

$0 \div 10$
 $90 \div 100$

☞ *Distribuzione semidiretta*

Il flusso luminoso è diretto prevalentemente verso il basso e in misura minore verso il soffitto.

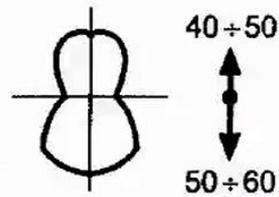
Attenua le ombre e rende più confortevole la visione.



☞ *Distribuzione mista*

Il flusso luminoso è distribuito in parti uguali verso l'alto e verso il basso.

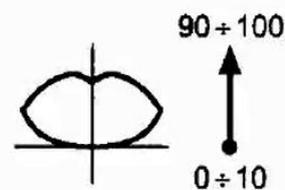
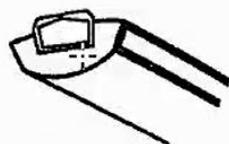
Crea uniformità di illuminamento e assenza di ombre e abbagliamento.



☞ *Distribuzione indiretta*

Il flusso luminoso è diretto tutto verso il soffitto con distribuzione molto allargata e giunge al piano di lavoro per riflessione.

L'uniformità di illuminamento è elevata.



6_ le lampade

Per apprezzare le qualità delle lampade è fondamentale definire:
 _l' **Efficienza luminosa**: lumen ottenuti per ogni Watt di consumo elettrico.

Le lampade sono suddivise in diverse categorie a seconda del loro funzionamento:

_Lampade a incandescenza

Vengono classificate nelle normali lampade a bulbo e in lampade alogene (di dimensioni più ridotte). Le **lampade tradizionali** a bulbo hanno una dimensione maggiore di quelle alogene perché hanno bisogno di più superficie di scambio per il raffreddamento. Le lampade normali non hanno IRC pari a 100 perché producono una luce leggermente rossastra. Le **lampade alogene** a 'spot' (punto di luce) produce una luce molto bella ma produce un illuminamento molto impattante sui pigmenti cromatici degli oggetti esposti.

Normali (miscela di gas inerti)	Alogene (miscela di gas alogeni)
IRC < 100	IRC = 100
Vita media: circa 1000h	Vita media: circa 2000h
Efficienza luminosa 12lm/W	Efficienza luminosa 22lm/W

_Lampade a scarica in gas e vapori

Classificate in tubi fluorescenti e al sodio. E' stato un notevole passo avanti in termini di durata e di efficienza luminosa. Il colore di queste lampade tuttavia è pessimo perché hanno un picco monocromatico tendente al giallo. L'efficienza luminosa è molto alta, tutta via quella percepita dal nostro occhio (essendo una luce pressochè monocromatica) si aggira intorno alla metà di quella nominale.

Fluorescenti	Al sodio
IRC 70-95	IRC < 60
Vita media: circa 10000h	Vita media: fino 25000h
Efficienza luminosa 50-90lm/W	Efficienza luminosa 100-200lm/W

_ **Lampade a fosforo**: (lampada a scarica in gas) funzionano grazie all'eccitamento degli atomi di fosforo presenti all'interno di un tubo dentro il quale vengono fatti passare degli elettroni, i colori visibili variano in base al tipo di fosfori che vengono messi dentro ai tubi fluorescenti. Solitamente se i fosfori si collocano su uno spettro abbastanza ampio della scala cromatica producono una luce abbastanza bianca (quelle industriali solitamente ne hanno solo 3, che se sono ben distribuite lungo la lunghezza del visibile, producono

una luce che percettivamente sembra bianca) quelle più di qualità hanno fino a 5 forsi, producendo una qualità cromatica migliore.

_Lampade a LED: Una delle tecnologie più moderne e versatili che vengono utilizzate ultimamente. Hanno caratteristiche molto vantaggiose ed è un tipo di luce che scalda poco, di conseguenza è molto comoda per essere applicata in qualunque punto della casa, a contatto con diversi materiali.

IRC fino a 100

fino a 120 lm\W

Vita media: fino alle 50000h di vita.

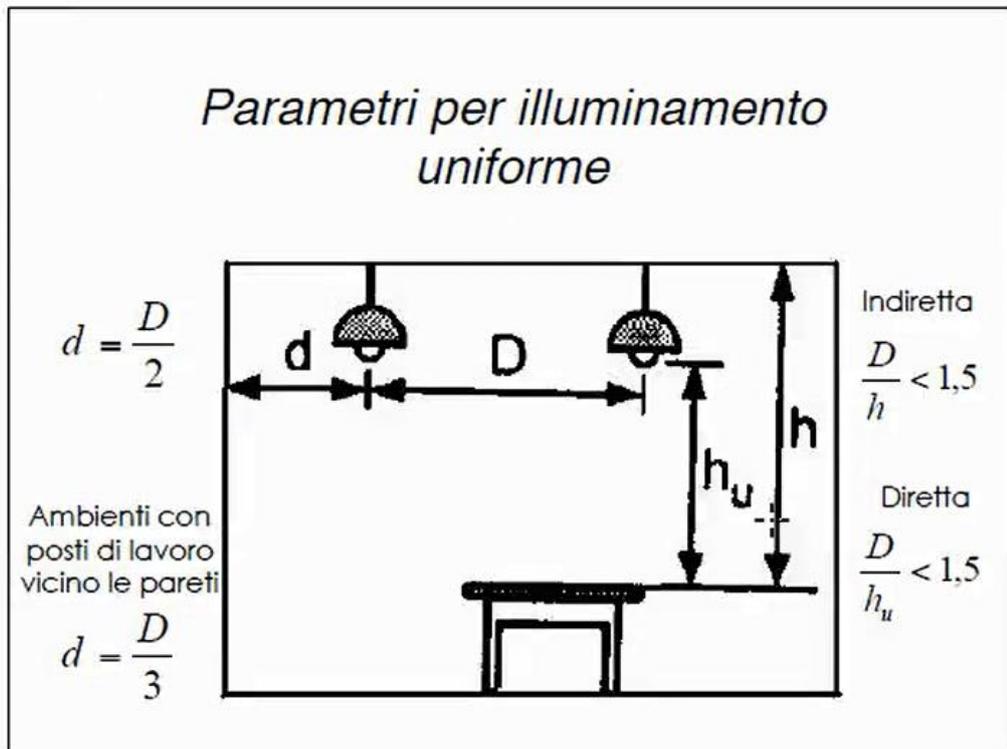
7_luminanza e comfort visivo

_Luminanza: rappresenta per chi guarda la superficie il rapporto tra l'intensità luminosa in candele e la proiezione della superficie nella direzione di osservazione. E' un parametro importante per capire cosa percepisce chi sta guardando una superficie (es. televisore). Una superficie con un'elevata luminanza può essere guardata anche se nella stanza c'è molta luce. Sono molto importanti i rapporti tra le zone di luminanza chiare con zone di luminanza scure (Contrasto), che permettono un maggior comfort di visione.

_Abbagliamento da luce riflessa: su un piano riflettente la luce può essere riflessa e abbagliare; dando fastidio alle attività più comuni. Di norma si dovrebbe sempre evitare di avere le fonti luminose di fronte a se.



Uniformità dell'illuminamento: è un'importante valutazione in ambito qualitativo, in termini architettonici o di light design si può giocare con la disomogeneità dell'illuminamento negli ambienti; ma se è fatto non di proposito può essere non piacevole vedere zone illuminate e zone completamente al buio di uno spazio.



8_ Calcolo del fabbisogno di flusso luminoso

Una semplice relazione consente di valutare il fabbisogno di flusso luminoso complessivo per ottenere il voluto illuminamento in lux sulla superficie di lavoro posta ad 1m da terra (come da capitolato o da norme tecniche, a seconda dell'uso dei locali):

5. Calcolo illuminotecnico

Metodo del flusso totale – ambienti chiusi

$$\Phi_t = \frac{E_m \cdot S}{U \cdot M}$$

- Φ_t – flusso luminoso totale (lumen);
- E_m – illuminamento medio (lux);
- S – superficie totale (m²);
- U – fattore di utilizzazione;
- M – coefficiente di invecchiamento.

In essa compaiono due coefficienti adimensionali, U (fattore di utilizzazione) ed M (coefficiente di manutenzione o invecchiamento): per il primo esistono tabelle che lo riportano in funzione di vari parametri, fra cui un fattore di forma geometrico k , ed il valore del coeff. di riflessione r di pareti e soffitto.

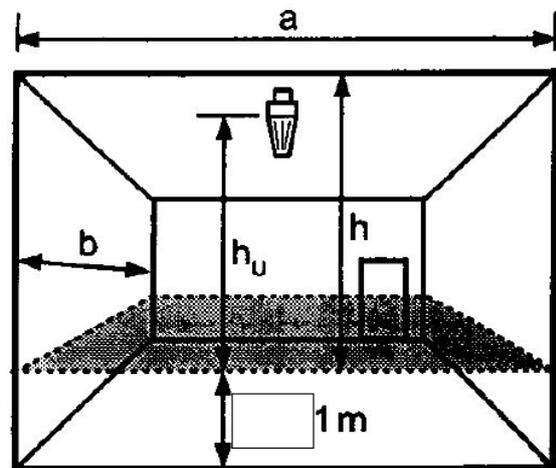
Indice del locale k

ILLUMINAZIONE
DIRETTA E MISTA

$$k = \frac{a \cdot b}{h_u \cdot (a + b)}$$

ILLUMINAZIONE
INDIRETTA

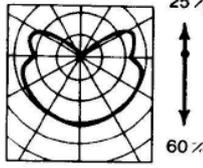
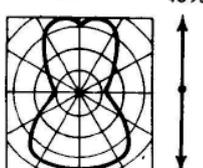
$$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2h \cdot (a + b)}$$

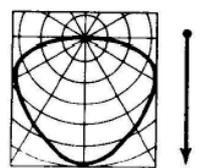
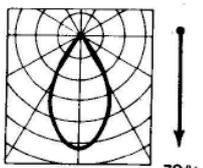


Indice di riflessione r

COLORI DI SUPERFICIE	r
Gruppi molto chiari (bianco, calce, smalto e carta bianca, grigio perla, crema, marmo di Carrara)	70%
Gruppi chiari (avorio, alluminio, verde chiaro, giallo paglierino, marmo di Candoglia, azzurro)	50%
Gruppi scuri (legni lucidi chiari, rosa, arancio, verde, ottone, bronzo, cuoio)	30%
Gruppi scuri (grigio ferro, verde oliva, indaco, marrone bruciato, legni scuri lucidi)	10%

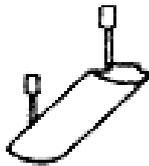
Con questi dati si entra nelle tabelle specifiche per ciascun tipo di lampada, che forniscono il valore del fattore di utilizzazione U:

Distribuzione	Indice di rifless. Indice locale k	Soffitto								
		75%			50%			30%		
		Pareti								
		50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%	
semidiretta 	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		
mista 	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		

Distribuzione	Indice di rifless. Indice locale k	Soffitto								
		75%			50%			30%		
		Pareti								
		50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%	
diretta 	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 	0,50 + 0,70	0,11	0,09	0,06	0,07	0,05	0,04			
	0,70 + 0,90	0,15	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06			
	0,90 + 1,10	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,07			
	1,10 + 1,40	0,22	0,18	0,16	0,13	0,11	0,10			
	1,40 + 1,75	0,25	0,21	0,19	0,15	0,13	0,11			
	1,75 + 2,25	0,29	0,26	0,22	0,17	0,15	0,14			
	2,25 + 2,75	0,33	0,30	0,28	0,20	0,19	0,17			
	2,75 + 3,50	0,35	0,32	0,30	0,21	0,20	0,19			
	3,50 + 4,50	0,36	0,34	0,32	0,22	0,21	0,20			
4,50 + 6,50	0,39	0,38	0,36	0,24	0,23	0,23				

CURVA FOTOMETRICA	Indice del locale	SOFFITTO								
		75%			50%			30%		
		PARETI			PARETI			PARETI		
		50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%	
	0,5 + 0,7	0,15	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,04	0,03	
	0,7 + 0,9	0,19	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,06	0,04	
	0,9 + 1,12	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,05	
	1,12 + 1,38	0,26	0,22	0,19	0,17	0,14	0,13	0,08	0,07	
	1,38 + 1,75	0,28	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,09	0,08	
	1,75 + 2,25	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18	0,17	0,11	0,10	
	2,25 + 2,75	0,35	0,31	0,29	0,23	0,21	0,19	0,12	0,11	
	2,75 + 3,50	0,38	0,34	0,31	0,25	0,22	0,21	0,13	0,12	
	3,50 + 4,50	0,42	0,39	0,36	0,27	0,25	0,24	0,15	0,14	
	5,0 + 6,0	0,43	0,41	0,38	0,29	0,27	0,25	0,16	0,15	

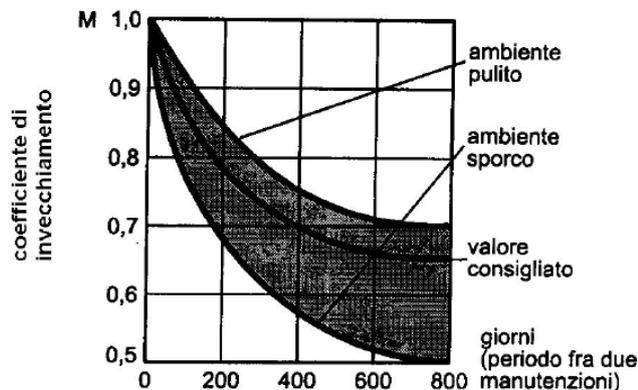
Apparecchio per illuminazione indiretta con lampade fluorescenti



Per quanto riguarda infine il coeff. di invecchiamento M, si valuta solitamente che esso si riduca progressivamente a partire dal valore massimo (1) in funzione degli anni trascorsi fra una operazione di manutenzione e l'altra. Come mostrato dal seguente grafico:

Coefficiente di invecchiamento M

Dipende dall'invecchiamento degli apparecchi di illuminazione e dalla frequenza degli interventi di manutenzione e pulizia.



Una volta ottenuto dal calcolo il flusso luminoso totale richiesto, esso va suddiviso su un adeguato numero di apparecchi per l'illuminazione, in modo da garantire una uniforme distribuzione dell'illuminamento sull'intera superficie del locale.