

Nozioni di illuminotecnica

Loredana Dioguardi

Istituto di Ingegneria Agraria

17 giugno 2004

Argomenti della lezione

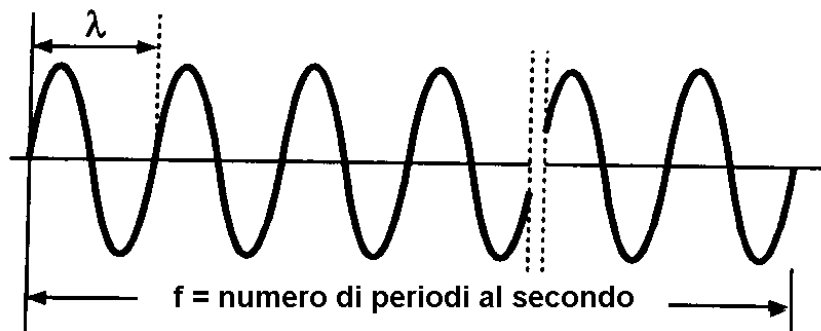
- Cos'è la luce e le caratteristiche dell'onda elettromagnetica;
- Grandezze fotometriche;
- Effetti della luce sull'uomo;
- Legislazione e normativa;
- Requisiti di una corretta illuminazione (naturale e artificiale);
- Sorgenti luminose;
- Apparecchi di illuminazione;
- Calcolo illuminotecnico.

La luce

La luce è l'agente fisico che rende visibile gli oggetti ovvero è la sensazione determinata nell'occhio umano dalle onde elettromagnetiche, comprese nell'intervallo del visibile.

L'onda elettromagnetica

lunghezza d'onda



λ	nm	Lunghezza d'onda
f	Hz	Frequenza
c	km/s	Velocità di propagazione

☞ *Lunghezza d'onda*

Le onde elettromagnetiche coprono una vasta gamma di lunghezze d'onda.

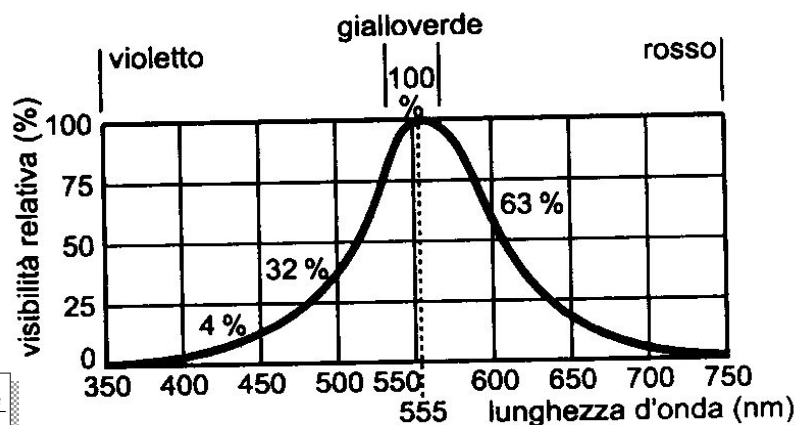
Le radiazioni visibili sono comprese tra 380 nm e 780 nm.

Prima e dopo tali valori siamo nel campo dell'ultravioletto e dell'infrarosso.



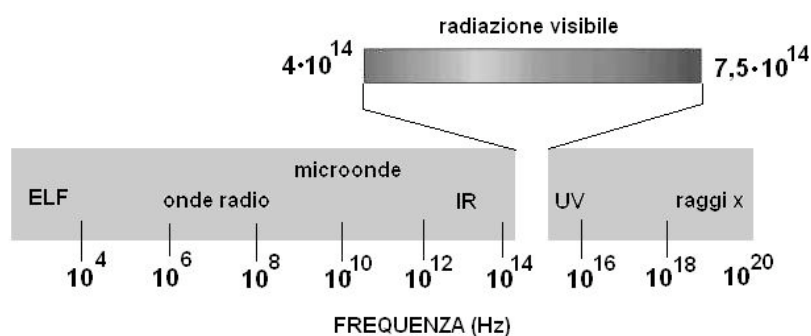
☞ *Curva di sensibilità*

L'occhio umano presenta diversa sensibilità in funzione della lunghezza d'onda.



☞ *Frequenza*

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



☞ *Velocità di propagazione*

Le onde elettromagnetiche si propagano nel vuoto a circa 300.000 km/s.

$$c = f \cdot \lambda$$

Nei mezzi riflettenti la velocità di propagazione della luce diminuisce.

Le principali grandezze fotometriche

La fotometria si occupa solo delle radiazioni luminose visibili.

1. Quantità di luce;
2. Flusso luminoso;
3. Intensità luminosa;
4. Brillanza;
5. Luminanza;
6. Illuminamento;
7. Luminosità o radianza;
8. Indice di resa cromatica;
9. Tonalità.

1. *Quantità di luce*

Energia associata alla radiazione luminosa moltiplicata per la visibilità relativa media dell'occhio umano.

L'unità di misura è il *lumen • ora*.

$$\text{Visibilità relativa} = \frac{E_{\text{percepita}}}{E_{\text{incidente}}}$$

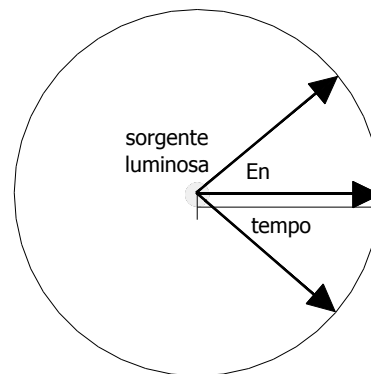
2. Flusso luminoso

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

L'unità di misura è il *lumen*.

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

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



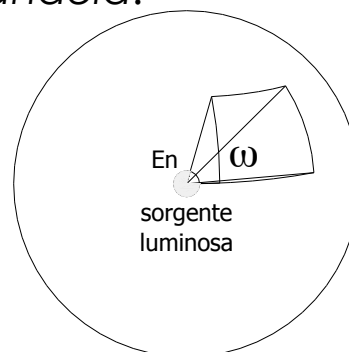
3. Intensità luminosa

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

L'unità di misura è la *candela*.

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

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



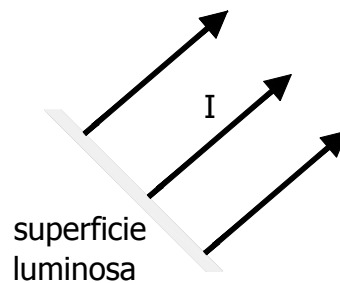
4. Brillanza

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.

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

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



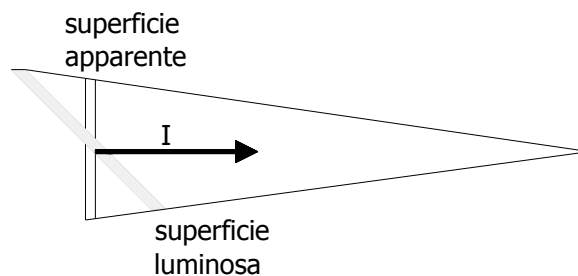
5. Luminanza

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.

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

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



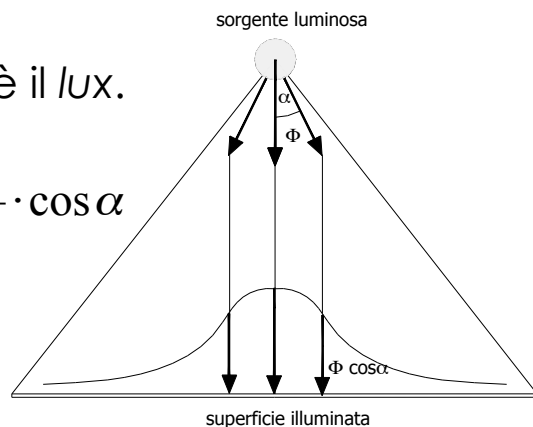
6. Illuminamento

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*.

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

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



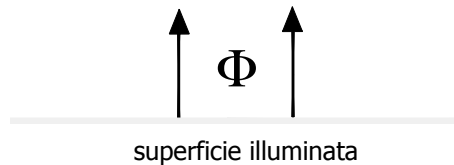
7. Luminosità o radianza

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

L'unità di misura è il *lambert*.

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

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



8. *Indice di resa cromatica*

Definisce in che misura la luce emessa da una sorgente consente di apprezzare le sfumature di colore degli oggetti illuminati.

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

9. *Tonalità*

La tonalità della luce è funzione della temperatura della sorgente luminosa.

Si misura in gradi *Kelvin* (K).

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

Alcuni valori di riferimento

FLUSSO LUMINOSO	lm	INTENSITA' LUMINOSA	cd
Lampada incandescente 40 W	400	Proiettore da 1000 lm	80.000
Lampada fluorescente 40 W	2.500	Diffusore da 100 lm	250 ^(90°)
Lampada a vapori Hg 125 W	6.300		
Lampada al sodio 400 W	150.000		
Lampada xenon da 20000 W	500.000		
ILLUMINAMENTO	lx	LUMINANZA	sb
Notte di luna piena	0,25	Luna	0,4
Strade di notte	30	Cielo sereno	0,3-0,5
Uffici	500	tubo fluorescente	0,3-1,3
Vetrine	3.000	Lampada incandescente	< 2
Giornata estiva a cielo coperto	20.000	Lampada vapori Hg	4-25
Giornata estiva soleggiata	100.000	Sole	240.000

Effetti della luce sull'uomo

La luce influisce non solo sul **benessere psicofisico** dell'uomo, ma anche sul **rendimento** e sulla **sicurezza**.

☞ Effetti sulla salute

BENESSERE FISICO

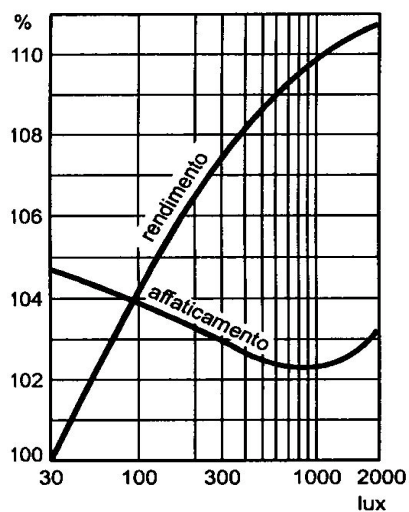
- Irritazione agli occhi;
- Stanchezza;
- Disfunzioni dell'apparato visivo;
- Cecità temporanea (abbagliamento);
- Postura scorretta.

BENESSERE PSICHICO

- Affaticamento mentale;
- Irritabilità;
- Disaffezione al lavoro;
- Depressione;
- Claustrofobia;
- Disturbi del comportamento.

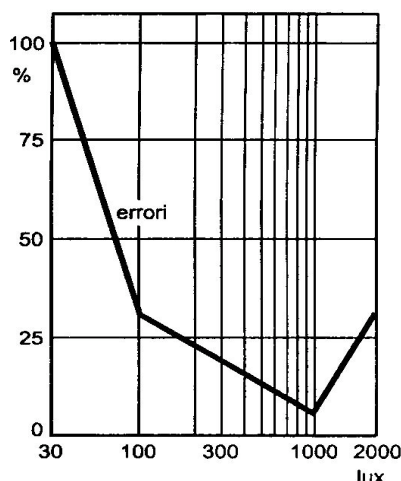
☞ Effetti sul rendimento

Ambienti dove si svolgono attività lavorative non risultano gradevoli se caratterizzati da livelli di illuminamento inferiori a 200 lux o superiori a 2000 lux.



Effetti sulla sicurezza

A bassi livelli di illuminamento ($E < 100$ lux) anche piccole variazioni producono effetti notevoli sulla sul senso di stanchezza e, quindi, sulla probabilità di commettere errori.



Legislazione e normativa

1. **D.P.R. 547/55 artt. 28-29-31** – Illuminazione generale, particolare e sussidiaria;
2. **D.P.R. 303/56 art. 10** – Illuminazione naturale ed artificiale dei luoghi di lavoro;
3. **D.L.vo 626/94 art. 33 comma 8** – Adeguamenti di norme riguardanti l'illuminazione;
4. **Norma UNI EN 12464 del 2004** – Illuminazione di interni con luce artificiale;
5. **ISO 8995 del 1989** - Lighting of indoor work places;
6. **Norme tecniche estere** – Illuminamento interno;
7. **D.M. del 5 luglio 1975** – Illuminazione nei locali destinati ad uso abitativo o attività plurime;
8. **Norma UNI 10540 del 1997** – Principi di ergonomia della visione. Sistemi di lavoro e illuminazione.

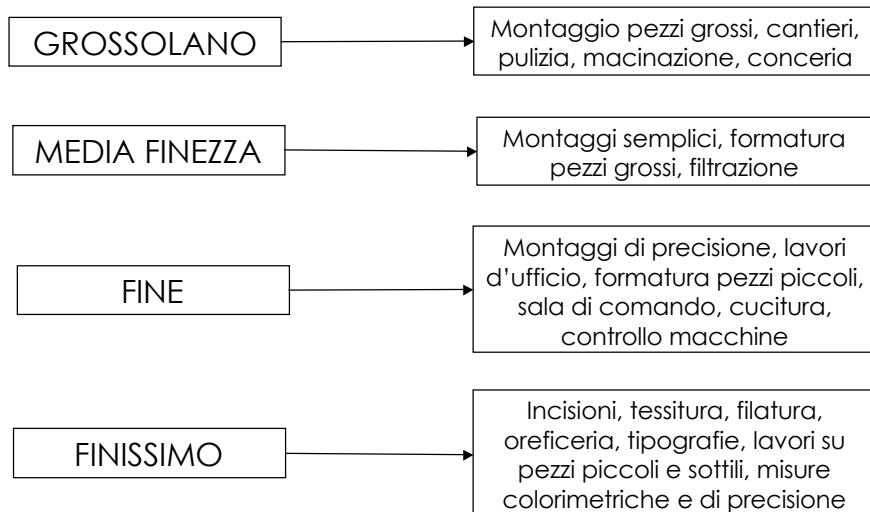
1. D.P.R. 547/55

- Tutti gli ambienti di lavoro devono essere **illuminati** con luce naturale o artificiale **in modo sufficiente**;
- Zone a maggiore rischio d'infortunio devono essere illuminate in modo diretto;
- Deve essere previsto un sistema di **illuminazione d'emergenza**.

2. D.P.R. 303/56

- I locali di lavoro devono disporre di **sufficiente luce naturale** ed essere dotati di dispositivi che consentano un'**illuminazione artificiale** adeguata a salvaguardare la sicurezza, la salute e il benessere dei lavoratori;
- I sistemi di illuminazione **non devono rappresentare un rischio di infortunio**;
- In caso di guasto dell'illuminazione artificiale, deve essere previsto un sistema di **illuminazione di sicurezza** di sufficiente intensità;
- Le superfici vetrate illuminanti e i mezzi di illuminazione devono essere mantenuti **costantemente in buone condizioni di pulizia ed efficienza**.

D.P.R. 303/56: tipologie di lavorazioni



D.P.R. 303/56: livelli di illuminamento

LOCALE O TIPO DI LAVORAZIONE	LIVELLO MINIMO
Depositi	10
Luoghi di passaggio, corridoi, scale	20
Lavori grossolani	40
Lavori di media finezza (illuminamento generale)	20
Lavori di media finezza (illuminamento localizzato)	100
Lavori fini (illuminamento generale)	40
Lavori fini (illuminamento localizzato)	200
Lavori finissimi (illuminamento generale)	60
Lavori finissimi (illuminamento localizzato)	300

3. D.L.vo 626/94

- Riprende i requisiti introdotti dal art. 10 del D.P.R. 303/56;
- Non introduce valori di **illuminamento** minimi e permette di adeguarsi a più corretti standard europei.

Allo stato attuale, i principali riferimenti utilizzati per valutare l'adeguatezza delle fonti luminose artificiali disponibili sono basati sulle indicazioni fornite da norme tecniche quali le ISO e le UNI.

4. Norma UNI EN 12464

LOCALI	Em (lux)
RISTORANTI, MENSE	
• Corridoi	100
• Reception, cassa	300
• Buffet	300
• Ristorante self service	200
• Ristoranti, sale da pranzo	regolabile
• Cucine	500
• Magazzini e stanze di stoccaggio	100

5. ISO 8995

LOCALE O TIPO DI LAVORAZIONE	D.P.R. 303/56	ISO 8995		
1. Aree esterne di circolazione	-	20	30	50
2. Depositi, locali non usati con continuità	10	100	150	200
3. Luoghi di passaggio, semplice orientamento	20	50	100	150
4. Lavori grossolani, requisiti visivi semplici	40	200	300	500
5. Lavori media finezza, requisiti visivi medi	100	300	500	750
6. Lavori fini, requisiti visivi di precisione	200	500	750	1000
7. Lavori finissimi, requisiti visivi difficili	300	750	1000	1500
8. Requisiti visivi speciali	-	1000	1500	2000
9. Requisiti visivi molto precisi	-	>2000	-	-

La norma UNI 8995 prevede diversi livelli di illuminazione in base a 9 tipologie di riferimento fornendo un intervallo di valori legato a fattori ambientali e/o soggettivi, quali, ad esempio la capacità visiva dell'operatore.

6. Altre norme tecniche estere

LOCALE O TIPO DI LAVORAZIONE	DPR 303	U.K. H. IES	Germania DIN 5035	Francia AES	U.S.A. IES	Belgio A.R. 26/9/66	Internaz. CIE
Depositi	20	150	30-60	150-300	110-220	50	100-200
Lavori grossolani	40	300	120-250	200-300	320	100	200-500
Lavori media finezza	100	500	500	300-500	320-540	200	500-1000
Lavori di precisione	100	750	750	700-1000	1100	300	500-1000
Lavori fini	200	1000	1000-1500	1000-1500	1100-5400	500	1000-2000
Lavori finissimi	300	1500	2000-3000	2000	1600-5400	700	1000-2000
Lavori su pezzi molto piccoli	300	3000	5000-10000	3000	10800	1000	2000-7500

7. D.M. del 5 luglio 1975

Ribadisce l'importanza di un'adeguata illuminazione naturale in ambienti interni e ne specifica i requisiti:

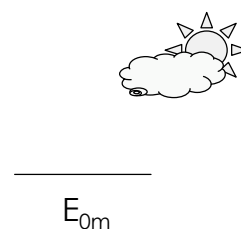
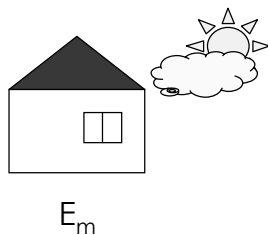
- Ampiezza finestre maggiore di 1/8 della superficie del pavimento;
- Fattore medio di luce diurna (η_m) dipende dalla destinazione d'uso dei locali:

1. Per ambienti destinati ad **uso abitativo** deve essere maggiore del 2%.
2. Per gli spazi destinati ad **attività plurime** i valori ottimali sono compresi tra 0,7 e 6%.
3. Evitare sempre valori inferiori a 0,2%.

Fattore medio di luce diurna

- Serve per valutare l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato, in assenza di radiazione solare diretta.
- E' il rapporto tra l'illuminamento medio dell'ambiente chiuso (E_m) e l'illuminamento (E_{0m}) che si avrebbe, nelle identiche condizioni di tempo e di luogo, su una superficie orizzontale esposta all'aperto in modo da ricevere luce dall'intera volta celeste senza irraggiamento diretto del sole.

$$\eta_m = \frac{E_m}{E_{0m}}$$



Illuminazione naturale

- E' più gradita all'occhio umano perché è meno affaticante di quella artificiale;
- Permette di godere della vista verso l'esterno e favorisce il senso di benessere che ne deriva;
- I cambiamenti di luce giornalieri favoriscono il ritmo delle funzioni fisiologiche e psichiche;
- Si realizza con opportune vetrate o lucernari sul tetto o con finestrate su pareti laterali.

Livelli di illuminamento

ESEMPI	LUX
Giornata estiva soleggiata	100.000
Giornata estiva a cielo coperto	20.000
Notte di luna piena	0,25
Notte serena senza luna	0,01

Tipologia di illuminazione

1. Illuminazione laterale
2. Illuminazione zenitale
3. Illuminazione mista

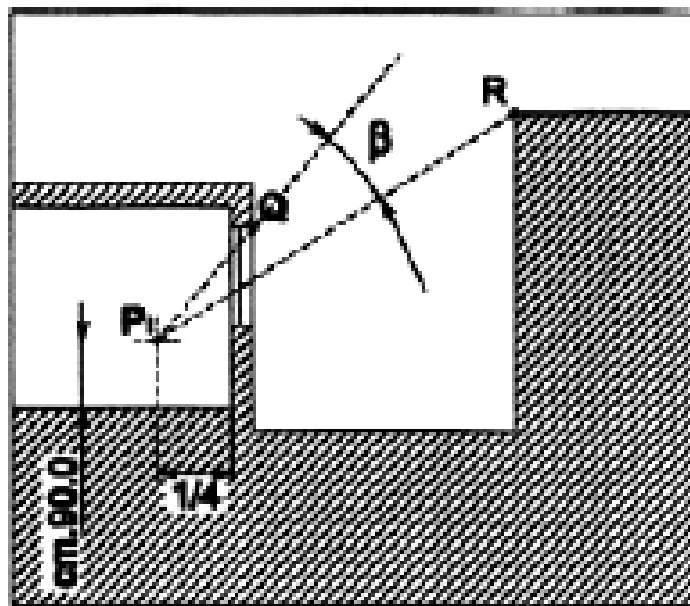
1. Illuminazione laterale

- **Illuminazione unilaterale** – L'efficienza illuminante dipende da superficie vetrata, forma geometrica dell'apertura e posizione più o meno alta dell'apertura rispetto al pavimento.
- **Illuminazione bilaterale** – Si realizza la stessa distribuzione illuminante con una minore superficie vetrata.
- **Illuminazione multilaterale** – Si migliora solo debolmente la luminosità all'interno del locale rispetto all'illuminazione bilaterale. Aumenta i problemi dovuti all'abbagliamento, aggrava le dispersioni termiche e aumenta i problemi dovuti all'inquinamento acustico.

☞ Finestre

- **Ampiezza delle superfici vetrate:**
 - in rapporto con la superficie del pavimento da 1:4 fino a 1:8 (in caso di assenza di edifici dirimpetto o di piani alti).
 - evitare superfici inferiori a 2 m²;
- **Posizionamento:** mai in basso;
- **Angolo di apertura di Förster** >5°

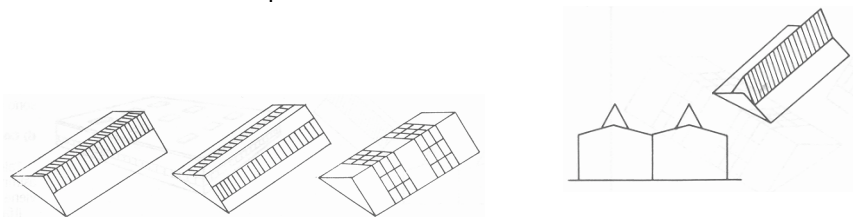
Misura dell'angolo di Förster



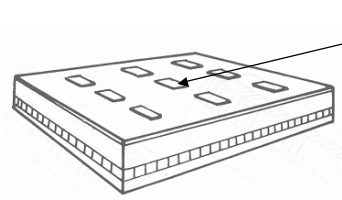
Illuminazione zenitale

- Le aperture illuminanti sono poste sul tetto.
- Ideale per ambienti di grandi dimensioni e monopiano.
- Evitare la penetrazione diretta dei raggi solari.
- Maggiore illuminazione perpendicolarmente alla superficie vetrata.

Coperture con fasce vetrate

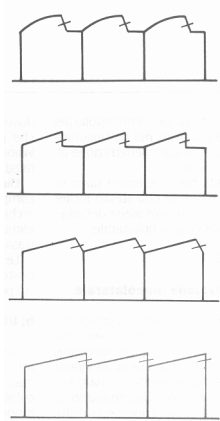


Coperture a pozzi



Sono sagomati superiormente a cupola o a punta piramidale e sono emergenti rispetto al piano di copertura

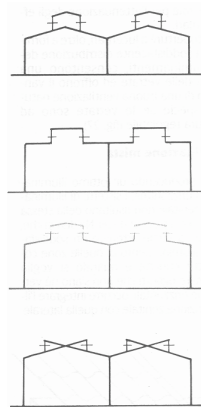
Coperture a sheds



Le aperture sono rivolte a nord per evitare la penetrazione diretta dei raggi solari.

Aperture regolabili consentono la ventilazione naturale dei locali

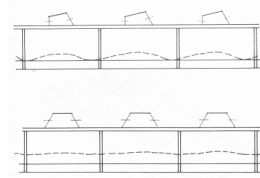
Coperture a lucernari



Le aperture sono perpendicolari all'asse E-O.

Aperture regolabili consentono la ventilazione naturale dei locali

Lucernari asimmetrici



Lucernari apribili



Illuminazione mista

- Si elimina l'inconveniente delle ombre per la provenienza della luce da più direzioni.

Illuminazione artificiale

1. Sorgenti luminose artificiali;
2. Apparecchi di distribuzione;
3. Requisiti di un corretto sistema di illuminazione;
4. Misura del livello di illuminamento;
5. Calcolo illuminotecnico.

1. Sorgenti luminose artificiali

LAMPADE AD
INCANDESCENZA



LAMPADE A
SCARICA ELETTRICA
IN GAS E VAPORI

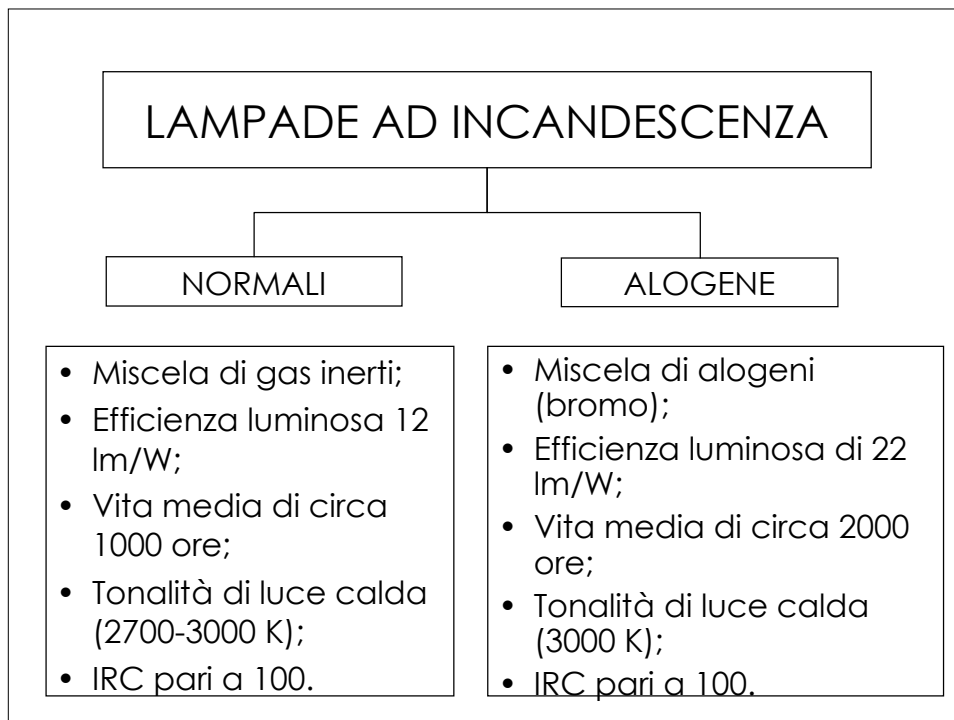


Caratteristiche

- Flusso luminoso (lumen);
- Potenza assorbita (Watt);
- Efficienza luminosa (lumen/Watt);
- Indice di resa cromatica;
- Tonalità (Kelvin);
- Vita media (ore).

A. Lampade ad incandescenza

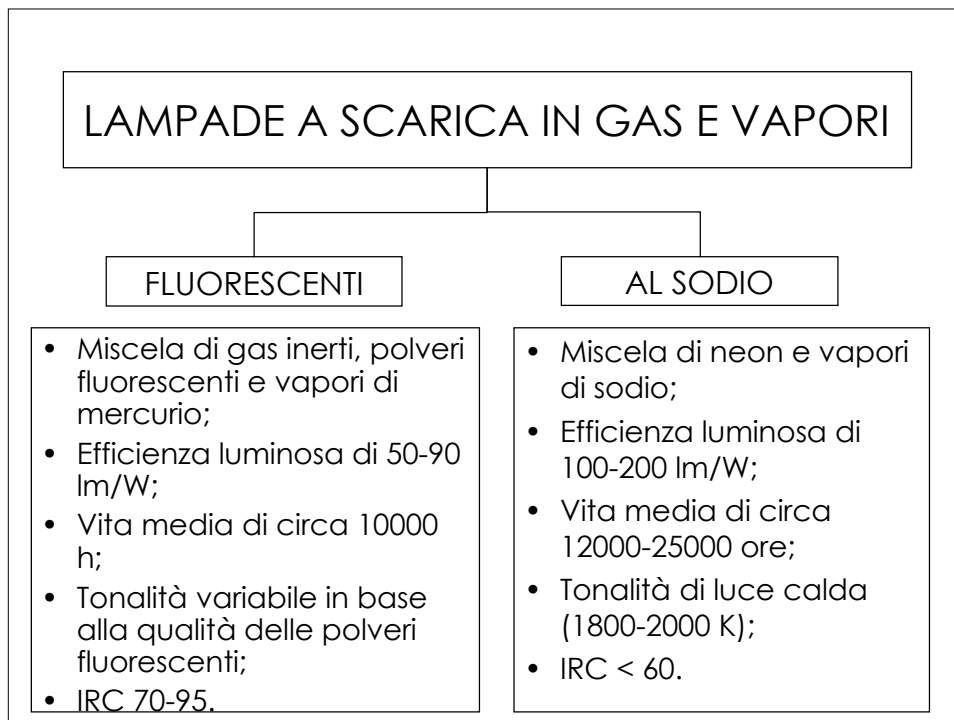
Sono costituite da un bulbo di vetro, riempito di gas inerte, all'interno del quale si trova un filamento di tungsteno che emette una certa quantità di luce, poiché diventa incandescente per il passaggio di corrente elettrica (effetto Joule).



B. Lampade a scarica in gas e vapori

Sono costituite da un tubo di vetro con 2 elettrodi sigillati alle estremità e immersi in una miscela di gas inerte (neon, argon, elio, azoto...) e vapori metallici (mercurio).

Quando ai 2 elettrodi viene applicata una differenza di potenziale si genera una scarica cui è associata l'emissione di radiazioni luminose visibili.



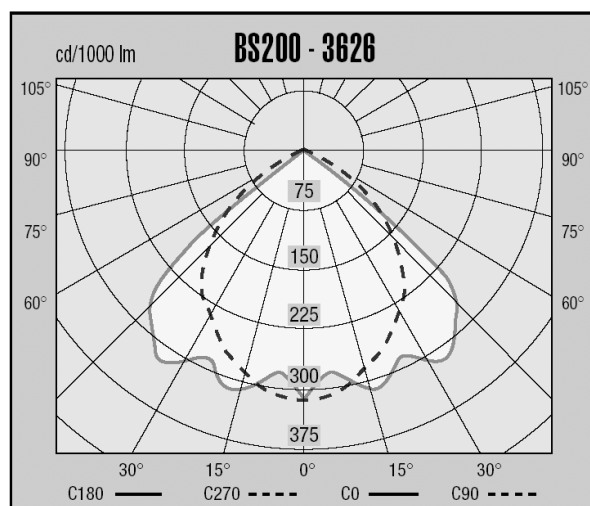
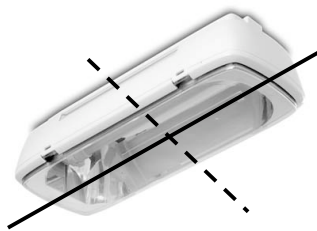
2. Apparecchi di illuminazione

- Hanno il compito di proteggere:
 - meccanicamente;
 - termicamente;
 - elettricamente;
 le sorgenti luminose;
- Riducono il flusso luminoso della sorgente (efficienza degli apparecchi: 65-85%);
- Modificano il flusso concentrandolo in aree determinate o attenuando l'eccessiva luminanza.

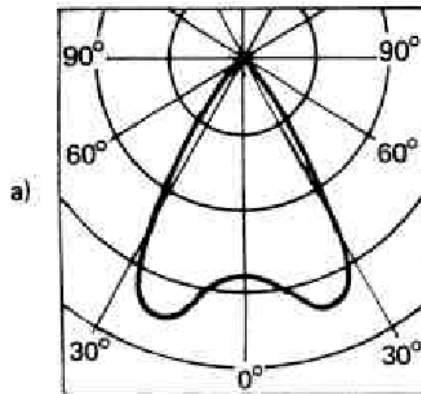
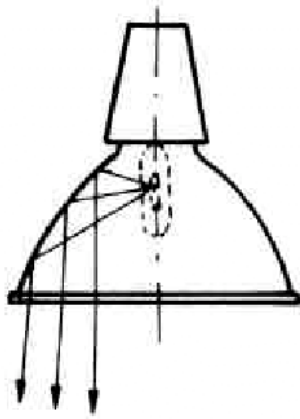
Curva fotometrica

- Ogni apparecchio di illuminazione è caratterizzato da una particolare distribuzione del flusso luminoso.
- La curva fotometrica rappresenta i valori d'intensità luminosa lungo varie direzioni.

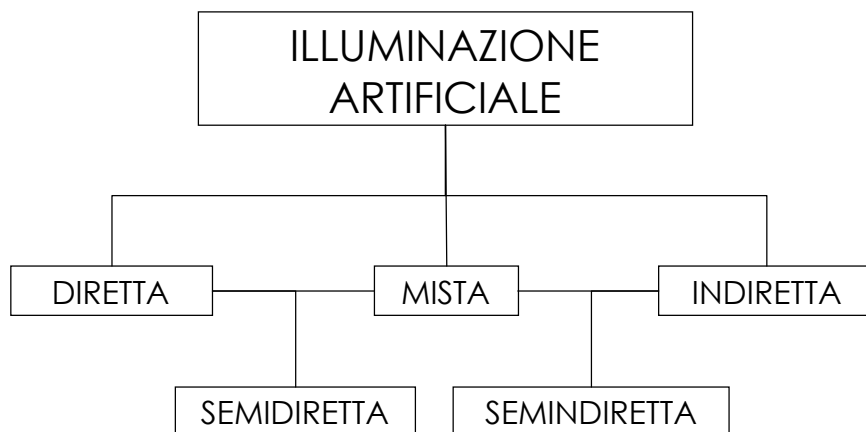
Esempi di curve fotometriche - 1



Esempi di curve fotometriche - 2



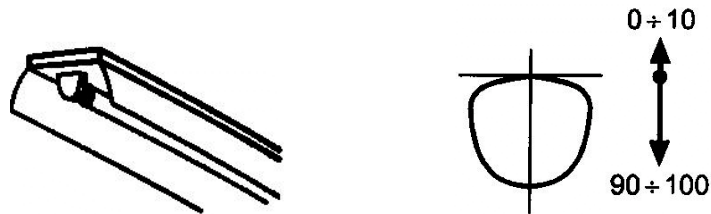
Modalità di distribuzione



☞ *Distribuzione diretta*

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

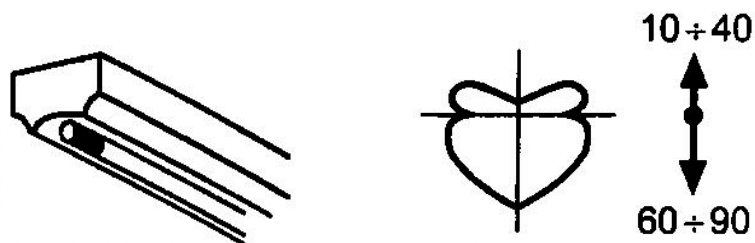
Se l'apparecchio non è posizionato ad un'altezza insufficiente crea disuniformità di illuminamento e abbagliamento.



☞ *Distribuzione semidiretta*

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

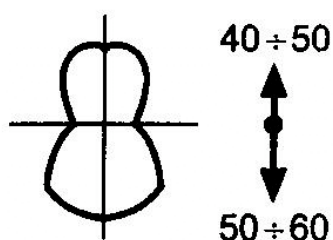
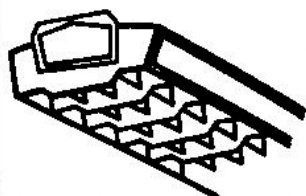
Attenua le ombre e rende più confortevole la visione.



☞ *Distribuzione mista*

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

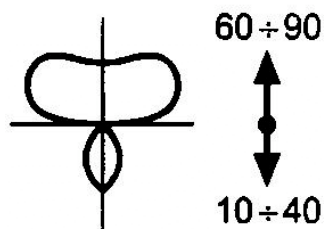
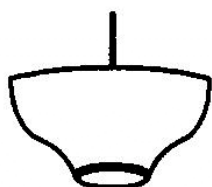
Crea uniformità di illuminamento e assenza di ombre e abbagliamento.



☞ *Distribuzione semindiretta*

Il flusso luminoso è indirizzato verso il soffitto con distribuzione molto allargata.

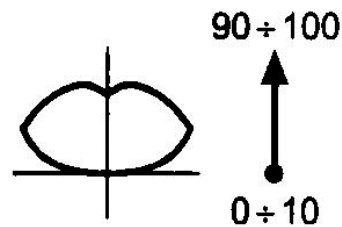
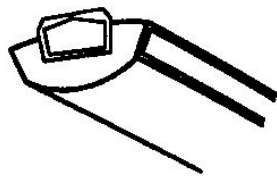
L'illuminamento è uniforme e non si hanno fenomeni di abbagliamento.



☞ *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.

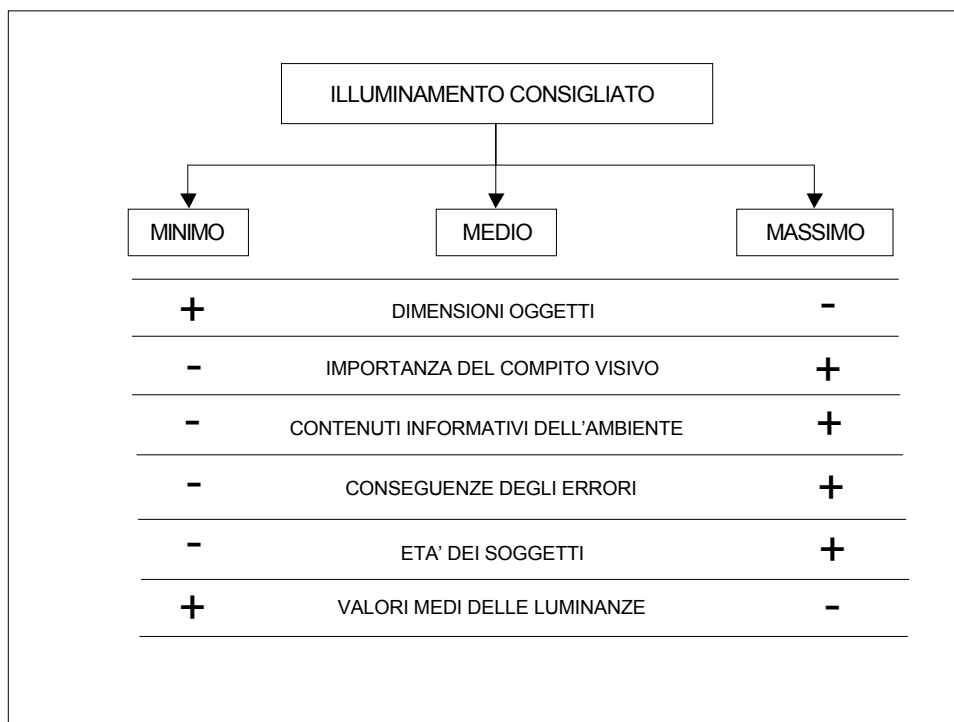


3. Requisiti di un corretto sistema di illuminazione

- Deve assicurare un idoneo livello di **illuminamento**;
- **Non** deve provocare **abbagliamento**;
- Deve essere **uniforme** garantendo però una giusta **proporzione tra luce e ombra**;
- Deve essere **privo di oscillazioni** ed effetti stroboscopici;
- Deve avere una composizione spettrale il più possibile **simile alla luce naturale**.

Livello di illuminamento

- Dipende dalla destinazione d'uso dell'ambiente;
- Deve consentire all'occhio di percepire con rapidità, sicurezza e senza fatica i particolari che interessano;
- Valori di riferimento: norme ISO e UNI.



Abbagliamento

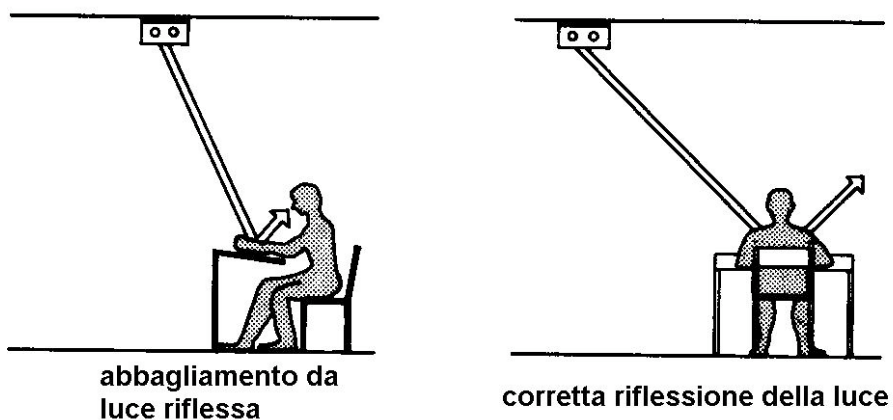
L'**abbagliamento** è un disturbo oculare che provoca la diminuzione della capacità visiva quando nel campo visivo si trovano sorgenti luminose (*abbagliamento diretto*) o oggetti illuminati (*abbagliamento da luce riflessa*) la cui **luminanza** (I/S_{app}) presenti:

1. valore troppo elevato (ENPI n. 41-23/1964);
2. eccessivo contrasto con la luminanza dell'ambiente circostante (UNI 10380/1999).

Controllo dell'abbagliamento

- Dimensione del locale;
- Altezza del sistema illuminante;
- Dimensione, disposizione e schermatura degli apparecchi illuminanti;
- Luminanza degli apparecchi (diagramma di luminanza limite);
- Indici di riflessione r delle superfici.

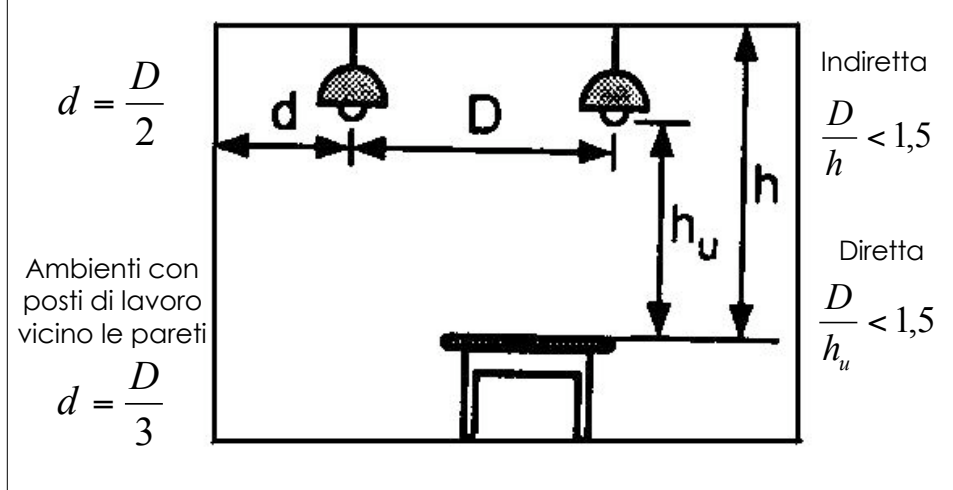
Abbagliamento da luce riflessa



Uniformità di illuminamento

- Minimizza il rischio di abbagliamento e assicura un buon livello di comfort visivo;
- In base all'art.10 del D.P.R. 303/56 è consigliabile mantenere un rapporto di 1:5 fra gli illuminamenti di superfici vicine;
- Mentre per una stessa zona il rapporto tra l'illuminamento minimo e massimo deve essere maggiore di 0,7.

Parametri per illuminamento uniforme



☞ *Effetto stroboscopico*

- L'effetto stroboscopico si verifica nelle lampade fluorescenti.
- Per limitare questo fenomeno è preferibile utilizzare lampade alimentate ad alta frequenza (400-500 Hz).

Indice di resa cromatica

- Influenza la fedele riproduzione dei colori degli oggetti.
- Deve essere scelto in base alla destinazione d'uso dell'ambiente da illuminare.

Scelta dell'IRC in base alla destinazione d'uso

LOCALI	IRC
Abitazioni	85
Aree generali di edifici	70-85
Alberghi, ristoranti, mense	85-90
Aree di esposizione, teatri, cinema, biblioteche, chiese, aeroporti, stazioni ferroviarie	85
Scuole	80-85
Industrie	70
Industrie con elevate esigenze di identificazione	85-90

IRC dei principali tipi di lampade

LAMPADE	IRC
Ad incandescenza	100
A vapori di mercurio	
• bassa pressione	70-95
• alta pressione	< 90
A vapore di sodio	
• alta pressione	< 60
• bassa pressione	> 20

Tonalità

- Dipende dalla temperatura di emissione della sorgente luminosa.
- La scelta della tonalità della luce dipende dall'attività svolta nell'ambiente.

*Scelta della tonalità
in base alla destinazione d'uso*

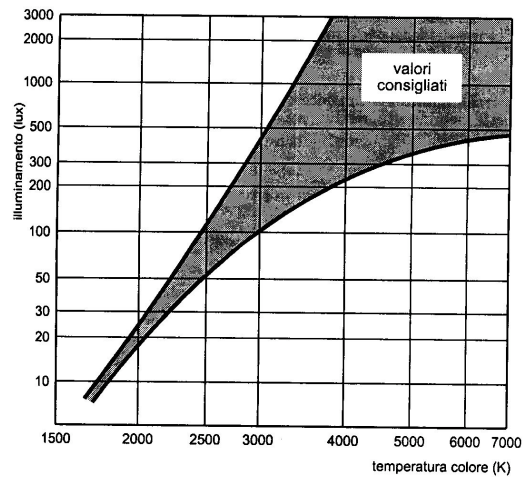
LOCALI	TONALITA'
Abitazioni	3000
Aree generali di edifici	4000-4500
Alberghi, ristoranti, mense	3000-4000
Aree di esposizione, teatri, cinema, biblioteche, chiese, aeroporti, stazioni ferroviarie	4000
Scuole	3000-4000
Industrie	4000-4500
Industrie con elevate esigenze di identificazione	5000-6500

Tonalità dei principali tipi di lampada

LAMPADE	TONALITA'
Ad incandescenza	2000-3000
A vapori di mercurio	
• bassa pressione	2700-6500
• alta pressione	3500-4600
A vapore di sodio	
• alta pressione	1900-2100
• bassa pressione	1800

Livello di illuminamento consigliato in base alla tonalità

Lampade ad alta temperatura di colore richiedono elevati livelli di illuminamento

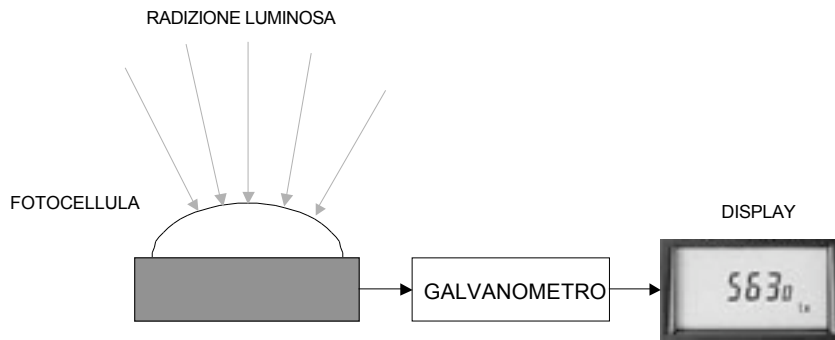


4. Misura del livello di illuminamento

Il luxmetro è lo strumento utilizzato per misurare il livello di illuminamento E.



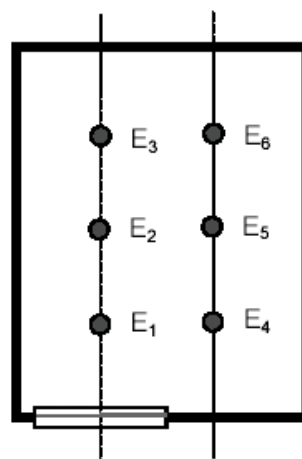
Luxmetro



Metodologia

- Misura di E_m ad 1 m dal pavimento.
- Fotocellula parallela alla superficie da misurare.

$$E_m = \frac{\sum^n E_n}{n}$$



Illuminamento medio di un ambiente

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.

Fattore di utilizzazione U

- Modalità di distribuzione della luce (diretta, semidiretta, mista, semindiretta, indiretta);
- Indice di riflessione di soffitto pareti e pavimento (r);
- Indice del locale k (dipende dalle dimensioni del locale).

Indice di riflessione r

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

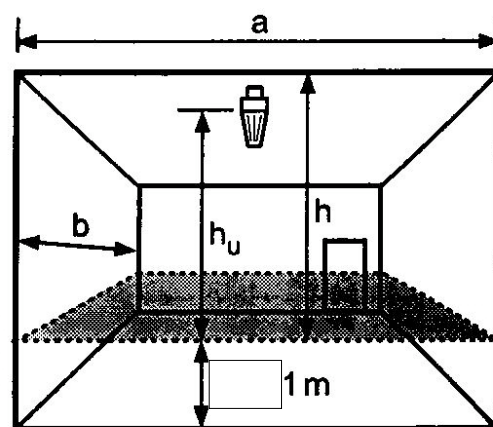
Indice del locale k

ILLUMINAZIONE DIRETTA E MISTA

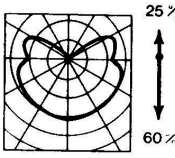
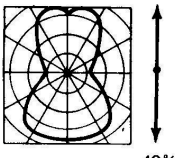
$$k = \frac{a \cdot b}{h_u \cdot (a + b)}$$

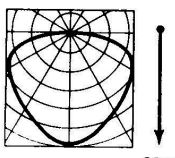
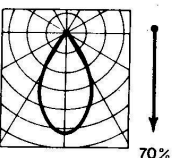
ILLUMINAZIONE INDIRETTA

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



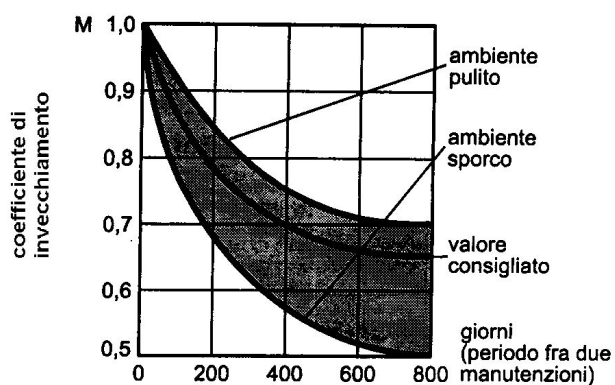
Calcolo del fattore di utilizzazione u

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			

Coefficiente di invecchiamento M

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



Numero di apparecchi luminosi

Dopo aver calcolato il flusso luminoso totale possiamo determinare il numero di apparecchi luminosi che occorrono per illuminare il locale, conoscendo il loro flusso luminoso unitario.

$$n = \frac{\Phi_t}{\Phi_l}$$

Esempi di flusso luminoso

TIPO DI LAMPADE	Φ_l
Lampada per bicicletta 2 W	18
Lampada ad incandescenza da 100 W	1300
Lampada fluorescente tubolare da 18 W	1000
Lampada fluorescente tubolare da 36 W	2350
Lampada fluorescente tubolare da 58 W	3750
Lampada fluorescente compatta da 25 W	1200
Lampada ad alogenuri da 70 W	5200
Lampada a vapori di mercurio ad alta pressione da 125 W	6300
Bulbo fluorescente da 400 W	23000
Lampada ad alogenuri metallici da 2000 W	190000
Lampada xenon arco lungo da 20000 W	500000

Progetto di illuminazione

L'efficacia di un progetto di un sistema di illuminazione è il risultato di due differenti analisi:

- **quantitativa** (determinazione del numero di sorgenti luminose);
- **qualitativa** (scelta del tipo di luce più adatto a svolgere una determinata attività e sua distribuzione nello spazio).

I principali fattori da considerare sono:

- *livello d'illuminamento* (quantità di luce necessaria in base al compito visivo e al locale);
- *tipo d'illuminazione* (diretta, indiretta, mista...);
- *apparecchio illuminante* (curve fotometriche, rendimento...);
- *tipo di sorgente luminosa* (temperatura colore, indice di resa cromatica, efficienza luminosa);
- *condizioni di comfort visivo* (equilibrio delle luminanze, controllo dell'abbagliamento, equilibrio dei contrasti e delle ombre, atmosfera luminosa).