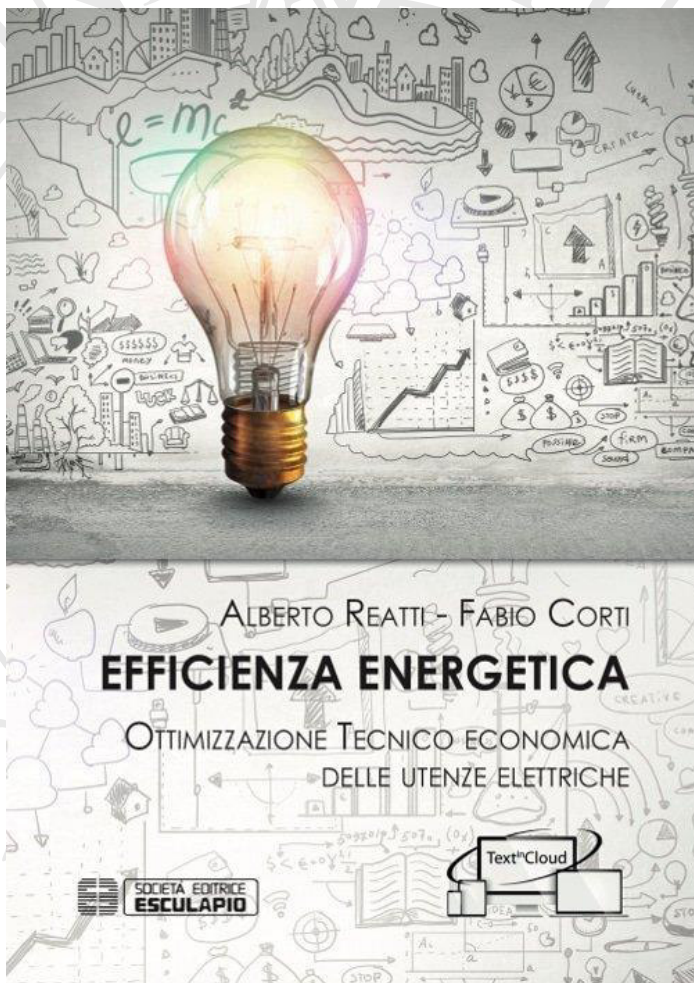


Illuminazione

Prof. Ing. Alberto Reatti



Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

Il flusso luminoso è una misura della “potenza” di una sorgente luminosa. Normalmente la potenza si misura in Watt (W), ma nel caso della luce si usa il lumen (lm). Infatti, si chiama flusso luminoso la quantità

$$\Phi = K \int_{380}^{780} v(\lambda) p(\lambda) d\lambda \quad (\text{lumen} = \text{lm})$$

dove

ϕ = flusso luminoso (lm),

K = coefficiente di proporzionalità (nel SI vale 683 lm/W),

$p(\lambda)$ = potenza spettrale in W,

$v(\lambda)$ = coefficiente di visibilità,

λ = lunghezza d'onda in nm.

Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

$$\Phi = K \int_{380}^{780} v(\lambda) p(\lambda) d\lambda \quad (\text{lumen} = \text{lm}) \quad (1)$$

La lunghezza d'onda di 380 nm corrisponde all'ultravioletto e quella pari a 760 nm corrisponde all'infrarosso; al di fuori di questo intervallo la luce non è più visibile all'occhio umano.

In pratica, per identificare la “potenza” di una lampada si “pesa” la potenza spettrale della sorgente per la funzione di sensibilità spettrale dell'occhio umano e si media su tutte le lunghezze d'onda a cui siamo sensibili.



Grandezze illuminotecniche fondamentali

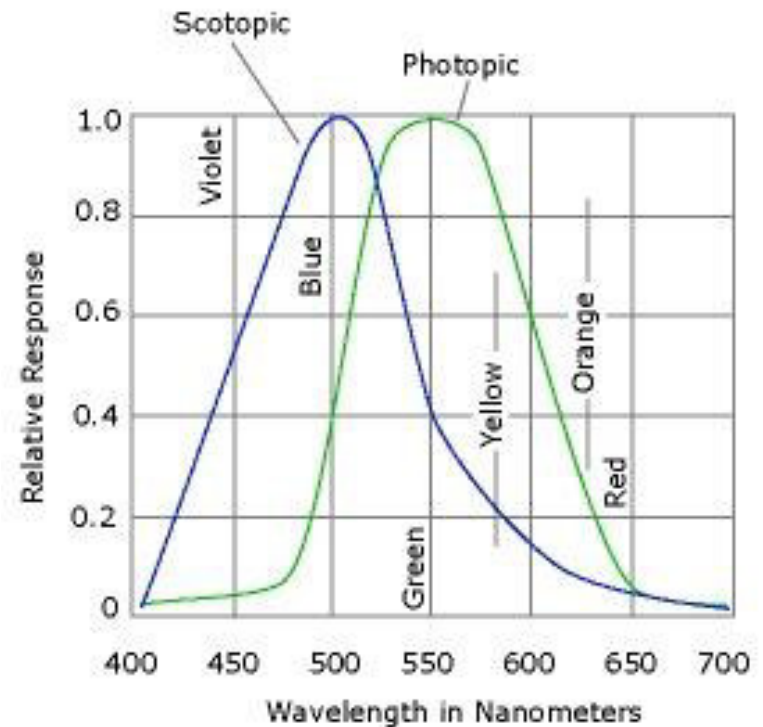
A) Flusso luminoso

$$\Phi = K \int_{380}^{780} v(\lambda) p(\lambda) d\lambda \quad (\text{lumen} = \text{lm}) \quad (1)$$

Poiché il coefficiente di visibilità è pari a 1 quando $\lambda = 555 \text{ nm}$, in presenza di una radiazione con potenza 1 W, emessa a $\lambda = 555 \text{ nm}$, la (1) dà $\phi = 683 \text{ W}$ (visione Fotopica/Diurna).

Occorre definire il flusso luminoso come la potenza delle radiazioni luminose emesse da una sorgente luminosa, moltiplicata per il fattore di visibilità e per il fattore di conversione tra watt e lumen ($1 \text{ W} = 683 \text{ lm}$).

In altre parole, Il flusso luminoso rappresenta una misura di quanto l'occhio umano sia in grado di vedere una radiazione elettromagnetica che lo colpisce.

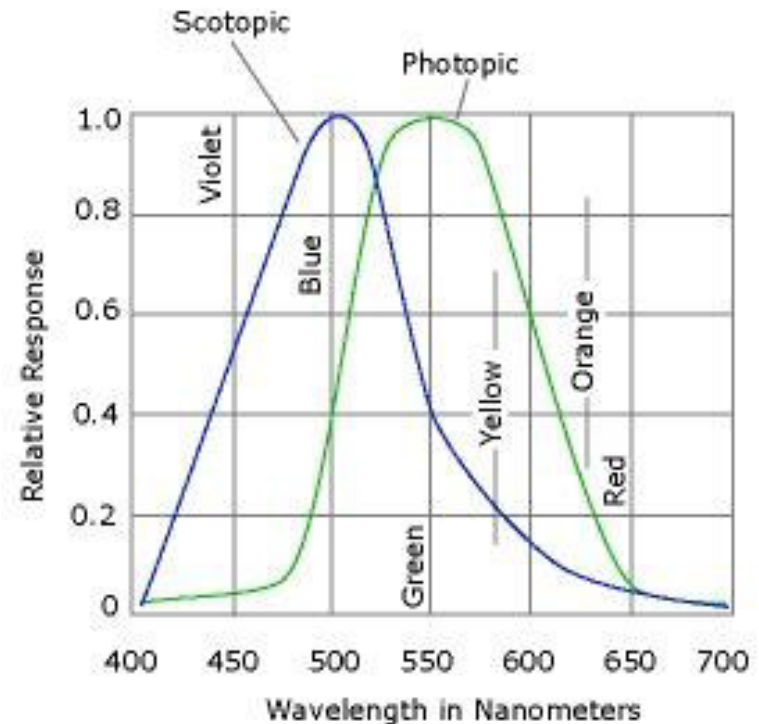


Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

Una sorgente luminosa che genera 10 W di radiazioni elettromagnetiche di lunghezza d'onda pari a 555 nm (luce gialla pura) emette un flusso luminoso di 6830 lm;

Se genera invece 10 W di radiazione verde, il cui fattore di visibilità è circa 0,65 emette un flusso di $6830 \times 0,65 = 4420$ lm.

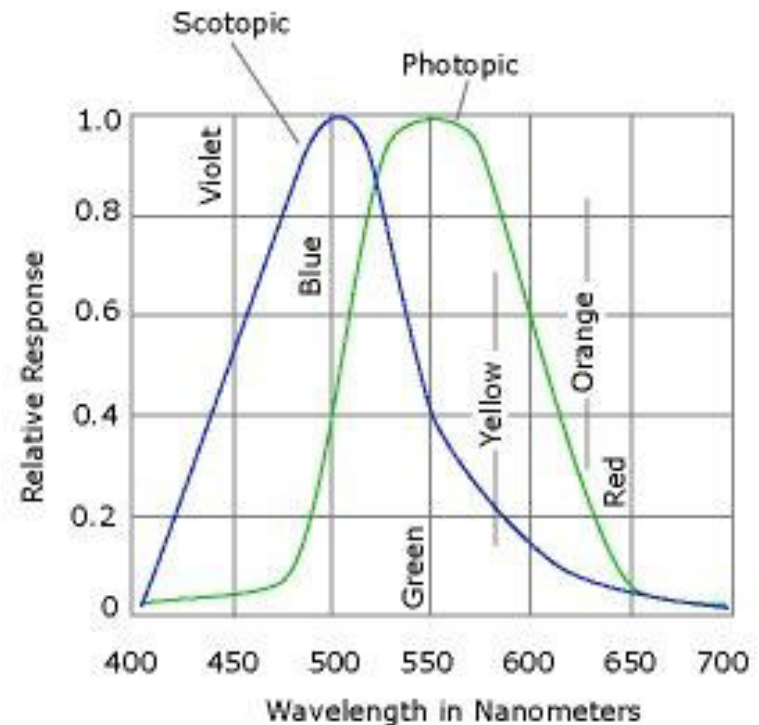


Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

In illuminotecnica non si tiene conto del flusso perso nell'attraversamento dell'aria perché, per tragitti dell'ordine dei metri, è trascurabile.

Per semplicità, in “gergo” si usa definire il flusso luminoso la quantità di luce emessa da una lampada.

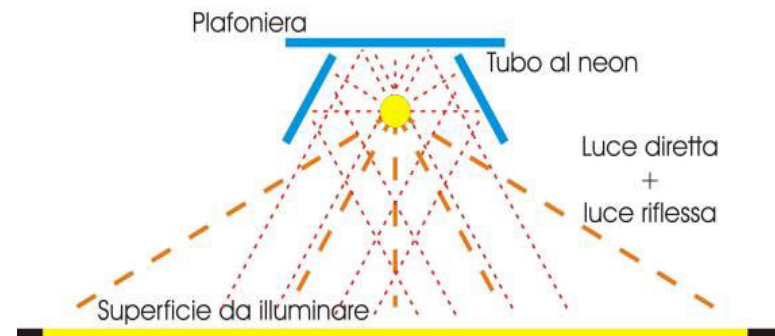
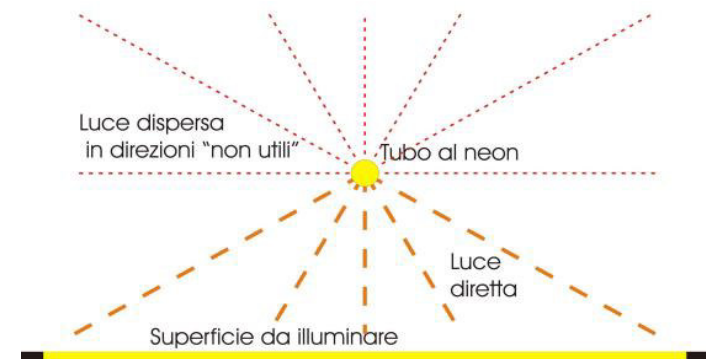


Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

Alcuni concetti importanti ai fini della valutazione tecnica ed economica di un sistema di illuminazione sono schematicamente riportati di seguito.

il flusso emesso da una sorgente luminosa emesso in aria libera è diverso da quello che è emesso da una lampada montata in un corpo illuminante dotato di diffusore, riflettori etc. Quindi, il flusso luminoso emesso da un apparecchio di illuminazione è minore di quello emesso dalle lampade che vi sono montate a causa delle perdite dovute dall'assorbimento del riflettore, dal diffusore o da altri componenti dell'apparecchio;

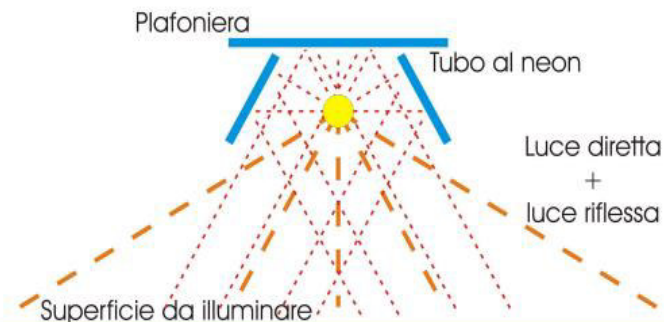


Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

Alcuni concetti importanti ai fini della valutazione tecnica ed economica di un sistema di illuminazione sono schematicamente riportati di seguito.

Si tiene conto della perdita di flusso luminoso causata da ostacoli fisici costituiti dai componenti dell'apparecchio di illuminazione definendo il parametro detto rendimento ottico dell'apparecchio, trattato più avanti nel capitolo, nella sezione dedicata agli apparecchi di illuminazione.

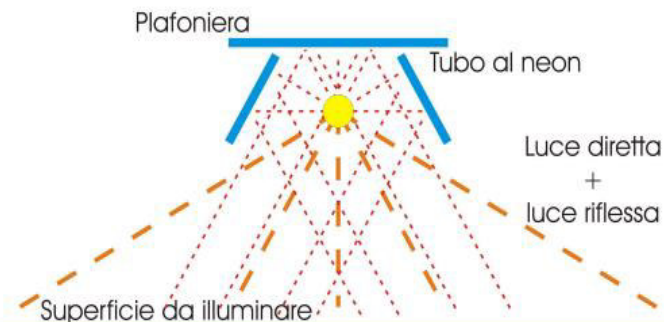


Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

Alcuni concetti importanti ai fini della valutazione tecnica ed economica di un sistema di illuminazione sono schematicamente riportati di seguito.

Ogni **lampada** ha un suo flusso luminoso che cambia in funzione del corpo illuminante in cui è montata: si deve sì tenere conto del flusso luminoso della lampada, ma, ai fini della illuminazione di un'area, **quello che conta è il - flusso emesso da un corpo illuminante**



Grandezze illuminotecniche fondamentali

A) Flusso luminoso

I tubi a LED non subiscono questo aspetto perché anche se l'involucro è a forma di tubo, i LED sono montati su una piastra e, quindi, il flusso luminoso è tutto emesso verso il basso.

Il riflettore della plafoniera non serve nei LED

Stesso discorso vale per le «lampade» e i «Faretti»



Grandezze illuminotecniche fondamentali

B) Rendimento luminoso

$$\eta_{lum} = \frac{\Phi_L}{P_A} \left(\frac{\text{lumen}}{\text{Watt}} = \frac{lm}{W} \right)$$

dove

ϕ_L = flusso luminoso, espresso in lumen,

P_L = potenza attiva assorbita dalla lampada, espressa in Watt

Sorgente che emette ad una singola lunghezza d'onda λ 555 nm assorbendo 1 W, ha un rendimento luminoso di 683 lm/W.

Quindi, 683 lm/W è il massimo rendimento teorico possibile.

qualunque altra onda monocromatica (composta da una sola frequenza) ha efficacia minore perché minore è la sensibilità dell'occhio umano e, quindi, sono inferiori i lumen "raccolti" da questo organo. Se si fa riferimento ad emissioni con spettro esteso, ossia che emettono su una gamma di lunghezze d'onda, la somma dei vari contributi risulta essere sempre minore di 683 lm/W.

Si definisce anche il rendimento ottico riferito all'apparecchio di illuminazione

Grandezze illuminotecniche fondamentali

C) Intensità Luminosa

indica la potenza luminosa dei raggi emessi in una determinata direzione dalla sorgente

$$I = \lim_{\Omega \rightarrow 0} \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ (cd)} \qquad 1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr.}$$

dove

I = intensità luminosa misurata in candele (cd) (Sf. sec. XIII; latino *candēla*, da *candēre*, essere bianco, risplendere)[6] .

ϕ = flusso luminoso espresso in lumen,

Ω = angolo solido l'angolo solido si misura in steradiani (sr)

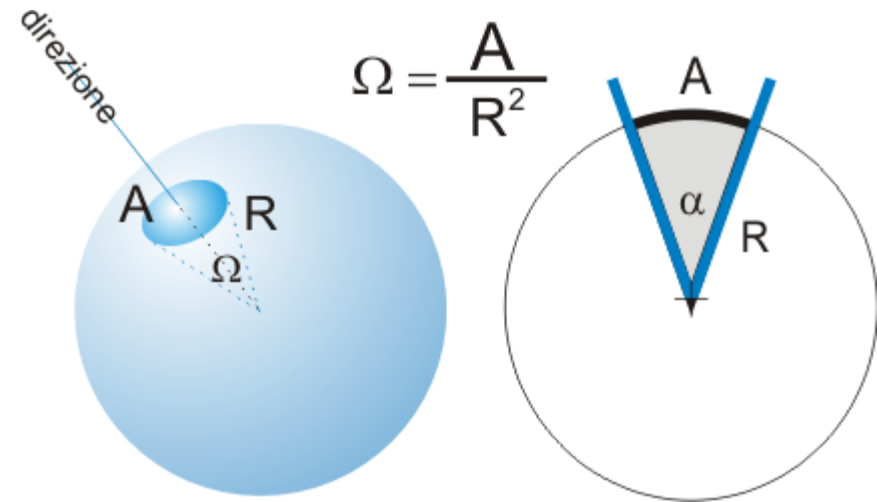
I = definita come il rapporto infinitesimale tra il flusso luminoso e l'angolo nel quale viene emesso

Alla XVI Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure del 1979, si è stabilito che
l'intensità di 1 cd equivale all'intensità di una sorgente che emetta in un angolo solido di 1 sr la radiazione monocromatica di frequenza e di potenza $\Phi=1/683$ W

Grandezze illuminotecniche fondamentali

C) Intensità Luminosa

sorgente sferica che diffonde uniformemente un flusso luminoso di 1500 lm nell'intero angolo solido ($4\pi \text{ sr} = 12,56 \text{ sr}$) si ricava che, per ogni direzione, si ha un'intensità luminosa di $1500:12,56 = 119,42 \text{ cd}$.



Spesso, per una lampada a bulbo si assume che **1 cd = 12,56 lm**



SI

SI

NO

NO



Non sempre appropriato per il led

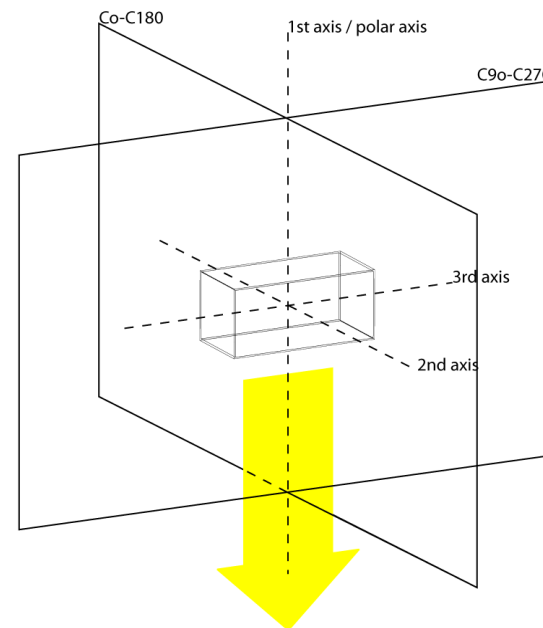
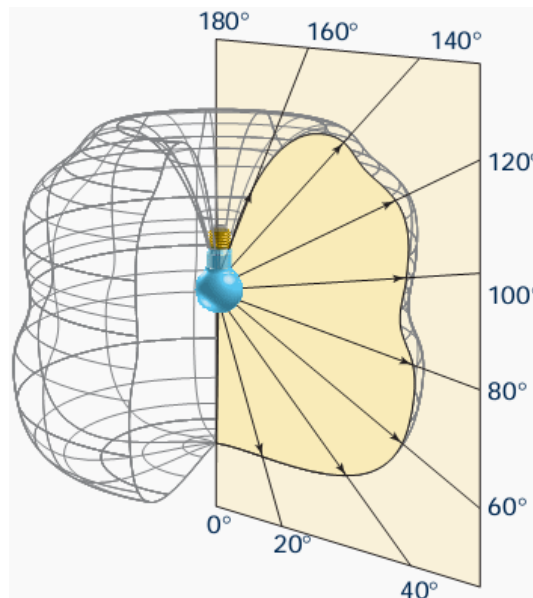
Grandezze illuminotecniche fondamentali

C) Intensità Luminosa

L'intensità luminosa è una indicazione di quanto un fascio luminoso è concentrato,

Grandezza che caratterizza più che le sorgenti di luce, **gli apparecchi di illuminazione**

Serve conoscere l'intensità luminosa emessa da un apparecchio di illuminazione su almeno due piani ortogonali verticali più significativi.

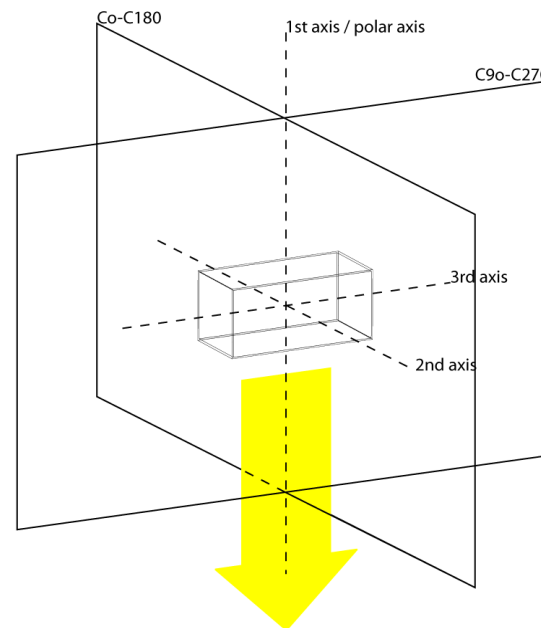
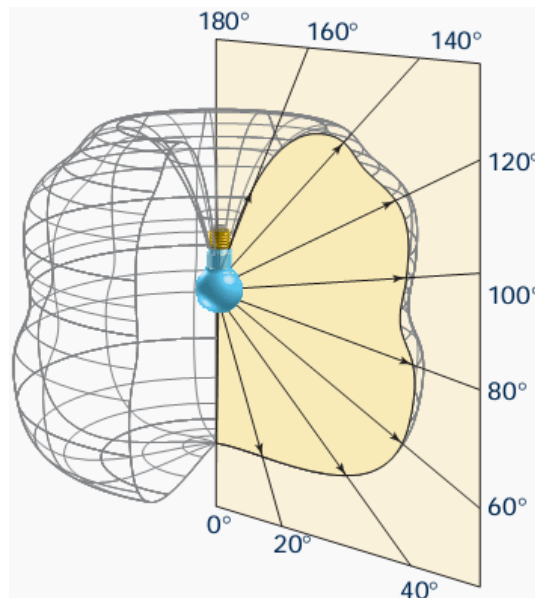


Grandezze illuminotecniche fondamentali

C) Intensità Luminosa

Il diagramma è anche indicato con il nome di **indicatrice fotometrica** così definita:

“Indicatrice fotometrica di un apparecchio di illuminazione è il diagramma polare delle intensità luminose che ha come centro il punto focale (cioè quello nel quale convergono tutti i raggi solitamente coincidenti con il centro della lampada o delle lampade)”.



Grandezze illuminotecniche fondamentali

D) Illuminamento

rapporto tra il flusso incidente su una superficie e la superficie stessa misurata in accordo alla relazione

$$E = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux} \right)$$

dove

E = Illuminamento misurato in lux (lm/m²)

ϕ = flusso luminoso (lm),

S = Superficie da illuminare (m²)

NOTA: 1 lux = 1 lm/1 m². Siccome, 1lm = 1 cd*sr, 1 lux = 1 cd*sr/m².

Grandezze illuminotecniche fondamentali

D) Illuminamento

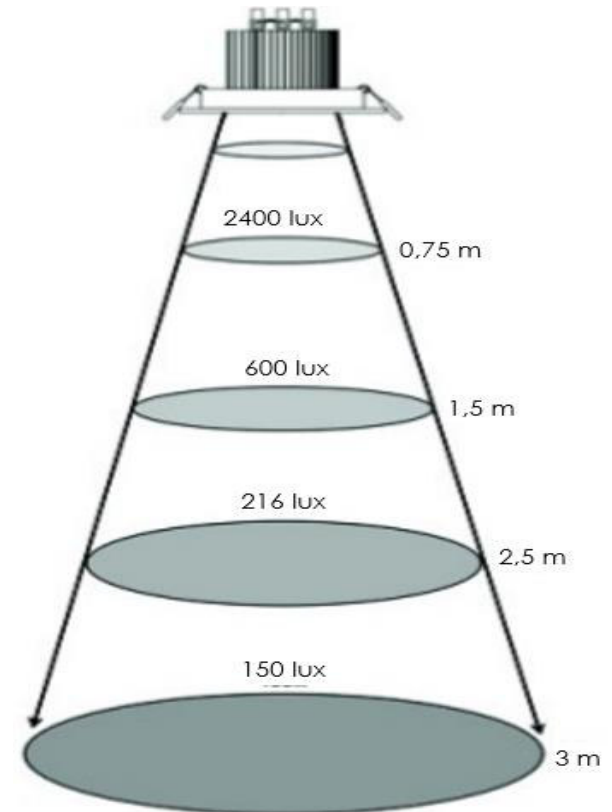
Nella pratica la luce è diffusa da una superficie molto più piccola di quella illuminata, pertanto i raggi normalmente divergono e, quindi, l'illuminamento dipende anche dalla distanza della superficie dalla sorgente secondo la relazione nota come “quadrato del raggio” perché vale

$$E_m = \frac{I}{D^2} \text{ (lux)}$$

dove:

I = intensità luminosa (cd)

D = distanza della superficie dalla sorgente (m)



Ad 1 m dalla sorgente, l'illuminamento è numericamente uguale alla intensità luminosa del raggio incidente, per altre distanze vale la equazione sopra scritta.

Grandezze illuminotecniche fondamentali

D1) Uniformità dell'illuminamento

Se la superficie non è uniformemente illuminata si hanno zone dove l'illuminamento è maggiore e zone in cui l'illuminamento è minore.

Si devono confrontare il flusso minimo della porzione meno illuminata della superficie ed il flusso massimo della zona maggiormente illuminata.

Uniformità dell'illuminamento = tre parametri

$$U_a = \frac{E_m}{E_{\max}}$$

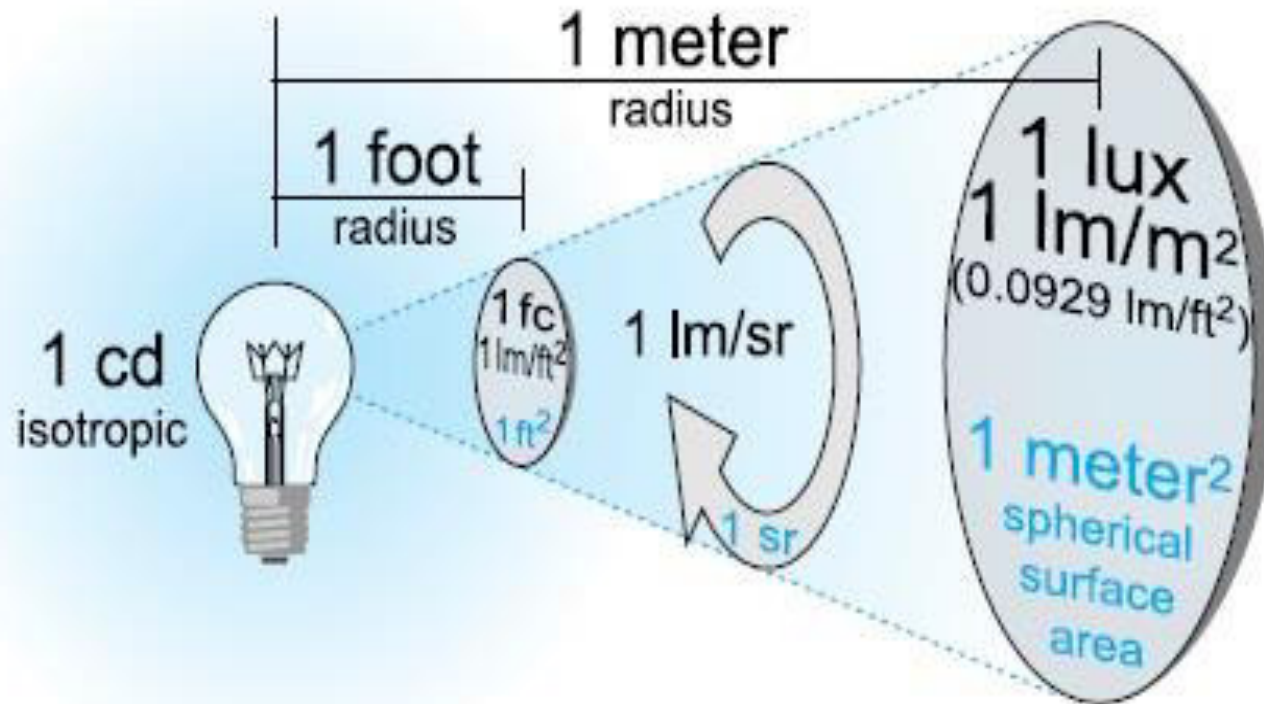
$$U_b = \frac{E_m}{E_{\min}}$$

$$U_c = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$



Grandezze illuminotecniche fondamentali

D) Illuminamento



Grandezze illuminotecniche fondamentali

E) Luminanza

La luminanza di un corpo dal quale l'occhio riceve la luce, è definito come il rapporto tra l'intensità luminosa del fascio luminoso che raggiunge l'occhio e la superficie emittente. A livello "infinitesimale" si ha

$$L = \frac{dI}{dS \cos \vartheta} \left(\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right) = \frac{di}{dA_{app}} \left(\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} = \frac{\text{lm}}{\text{sr} \cdot \text{m}^2} \right)$$

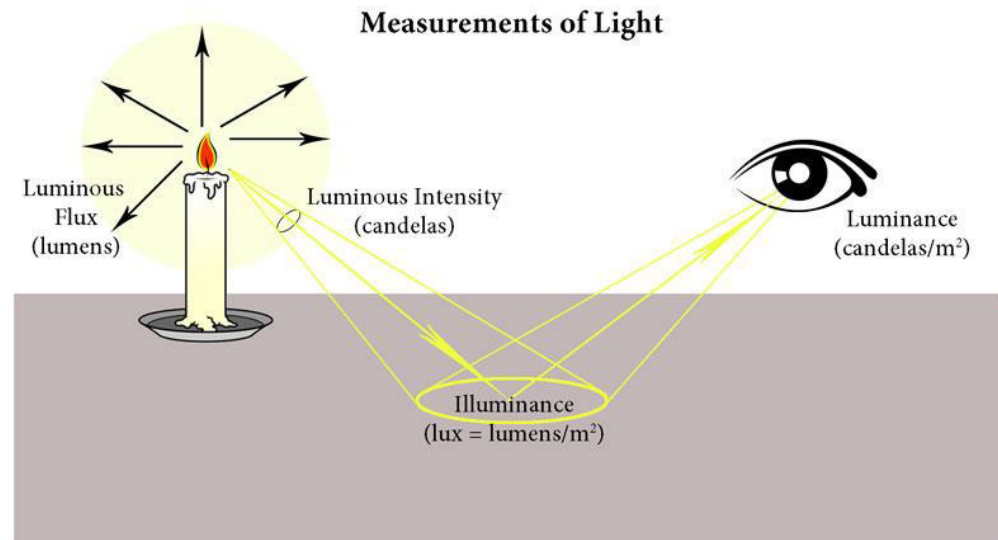
dove

I = Intensità luminosa (cd)

S = Superficie da illuminare (m^2)

Θ = angolo fra la parallela superficie e la direzione dell'osservatore

A_{App} = superficie apparente, ossia, quella vista "ortogonalmente" all'occhio dell'osservatore.



Grandezze illuminotecniche fondamentali

E) Luminanza

La luminanza di un corpo dal quale l'occhio riceve la luce, è definito come il rapporto tra l'intensità luminosa del fascio luminoso che raggiunge l'occhio e la superficie emittente. A livello "infinitesimale" si ha

$$L = \frac{dI}{dS \cos \vartheta} \left(\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right) = \frac{di}{dA_{app}} \left(\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} = \frac{\text{lm}}{\text{sr} \cdot \text{m}^2} \right)$$

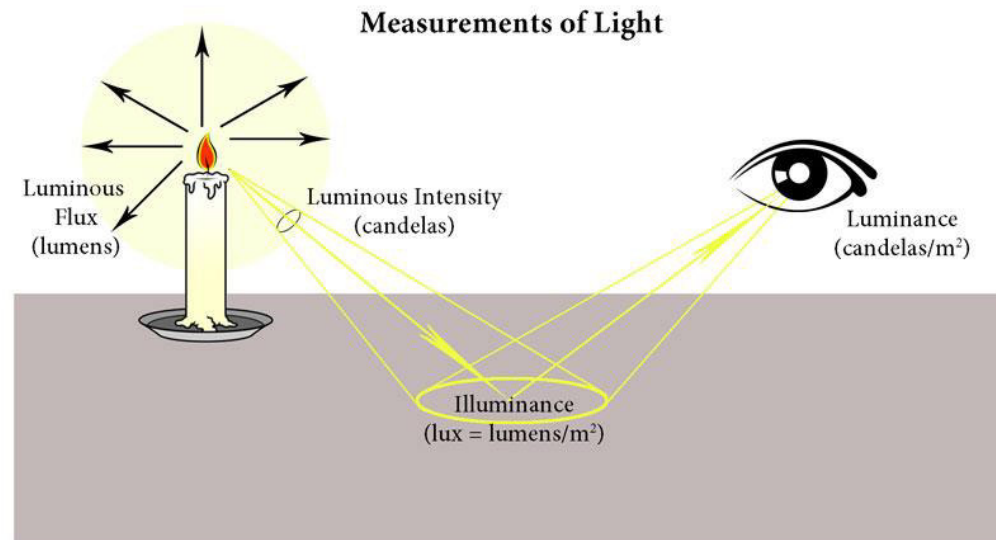
dove

I = Intensità luminosa (cd)

S = Superficie da illuminare (m^2)

ϑ = angolo fra la parallela superficie e la direzione dell'osservatore

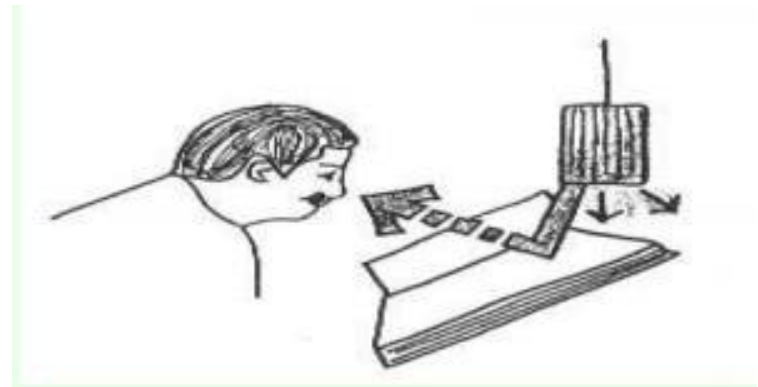
A_{App} = superficie apparente, ossia, quella vista "ortogonalmente" all'occhio dell'osservatore.



Grandezze illuminotecniche fondamentali

E) Luminanza

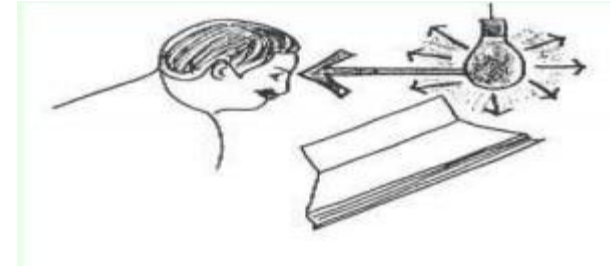
luminanza indiretta: luminanza riferita ad un oggetto illuminato



Grandezze illuminotecniche fondamentali

E) Luminanza

luminanza diretta: luminanza riferita ad una sorgente luminosa (lampada o corpo illuminante):



Esempio: rappresentata dalla situazione riportata in mentre la prima è associata al fenomeno che si può percepire, guidando, nel momento in cui una vettura che viene in senso opposto a quello di chi guida passa sopra ad un dosso: la direzione del fascio luminoso cambia e, mentre per determinati angoli il fascio anabbagliante dell'altro veicolo non è "fastidioso", per altri lo diventa. Nel caso considerato l'intensità luminosa (cd) del fascio emesso dai proiettori anteriori dell'altro veicolo è evidentemente lo stesso, ma cambia l'angolo con cui il fascio è orientato rispetto all'osservatore,

La luminanza diretta sia molto importante perché coinvolge fenomeni di abbagliamento che devono essere limitati.

Il fenomeno dell'abbagliamento è causato dal disadattamento dell'occhio umano quando deve percepire, in rapida successione, visioni con forti contrasti di luminanza.

Vita media di una lampada e decadimento del flusso luminoso

Quasi tutte le lampade subiscono un **decadimento del flusso** nel corso della loro vita; in realtà questo non accade nelle lampade incandescenti che aumentano l'emissione nel tempo, fino a bruciarsi.

Si definiscono:

a) Vita media (misurata in ore h)

si indica come durata media della lampada il numero di ore che trascorre fino a quando il 50% delle lampade di un determinato lotto di lampade cessa di funzionare.

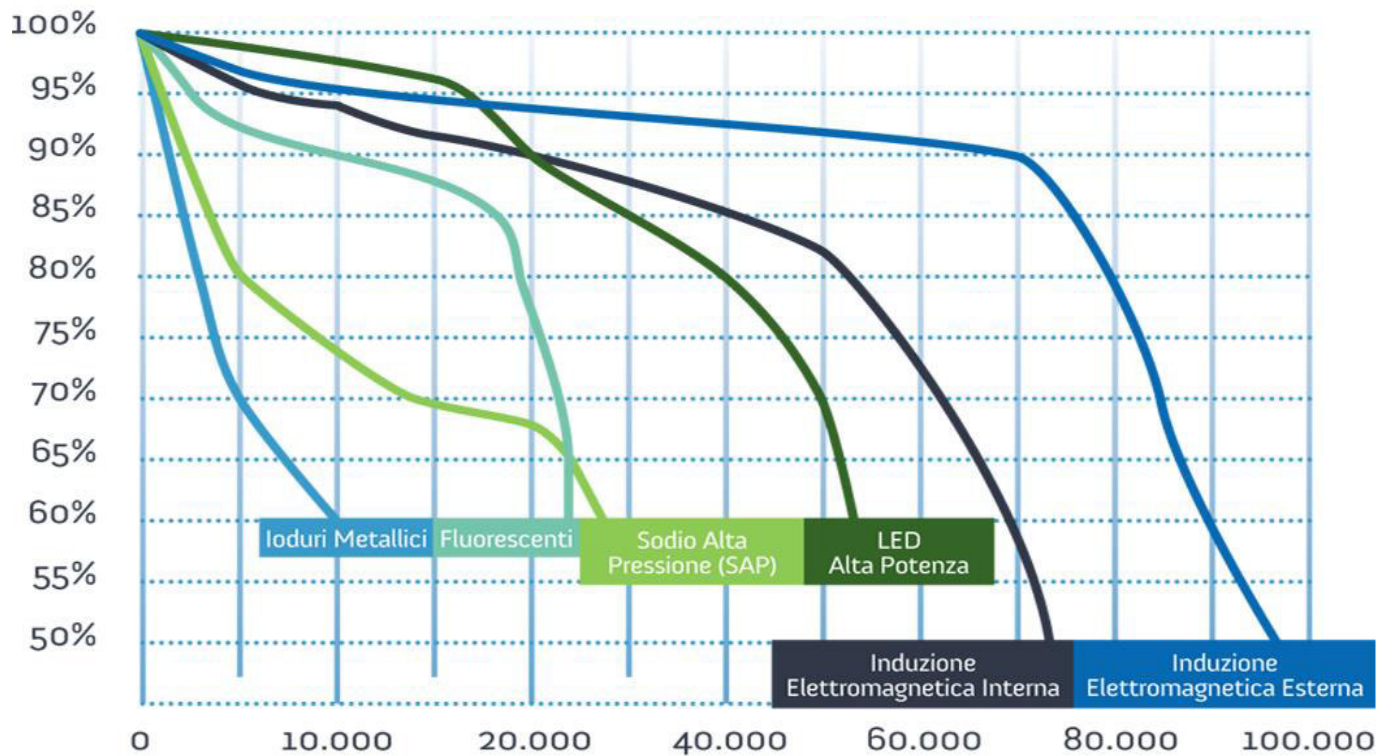
b) Vita media economica (misurata in ore h)

durata media economica della lampada il numero di ore che trascorre prima che il flusso luminoso di un certo numero di lampade, per effetto combinato del decadimento del flusso delle singole lampade o per effetto della rottura delle stesse, si riduca ad un valore inferiore al 70% del valore iniziale.



Vita media di una lampada e decadimento del flusso luminoso

Quasi tutte le lampade subiscono un **decadimento del flusso** nel corso della loro vita; in realtà questo non accade nelle lampade incandescenti che aumentano l'emissione nel tempo, fino a bruciarsi.



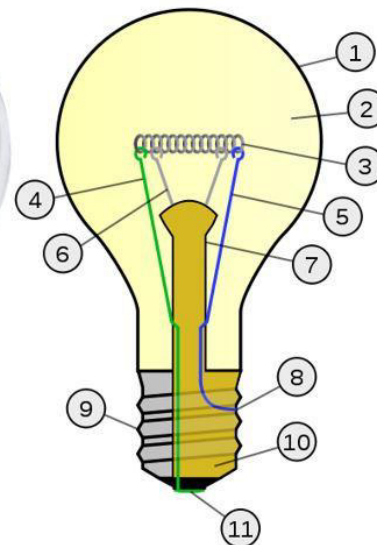
Sorgenti Luminose

Sorgenti ad Incandescenza (non più in vendita)

Una sorgente ad incandescenza è costituita da un filamento metallico, avvolto di solito a spirale, e posto all'interno di un'ampolla di vetro nella quale è praticato il vuoto oppure è immesso un gas, che mescolandosi con il tungsteno evita l'annerimento del bulbo. I

parametri di una lampada ad incandescenza sono:

- a) temperatura di colore circa 2900 K,
- b) indice di resa cromatica è $R_a = 100$;
- c) efficienza luminosa 9 - 20 lm/W;
- d) durata circa 1000 h.



- 1) Bulbo di vetro
- 2) Gas inerte (argon- kripto)
- 3) Filamento di tungsteno
- 4) Filo di andata
- 5) Filo di ritorno
- 6) Supporto del filamento
- 7) Supporto della lampada
- 8) Contatto con la base
- 9) Base a vite
- 10) Isolante
- 11) Contatto sulla base

Sorgenti Luminose

Sorgenti Alogene

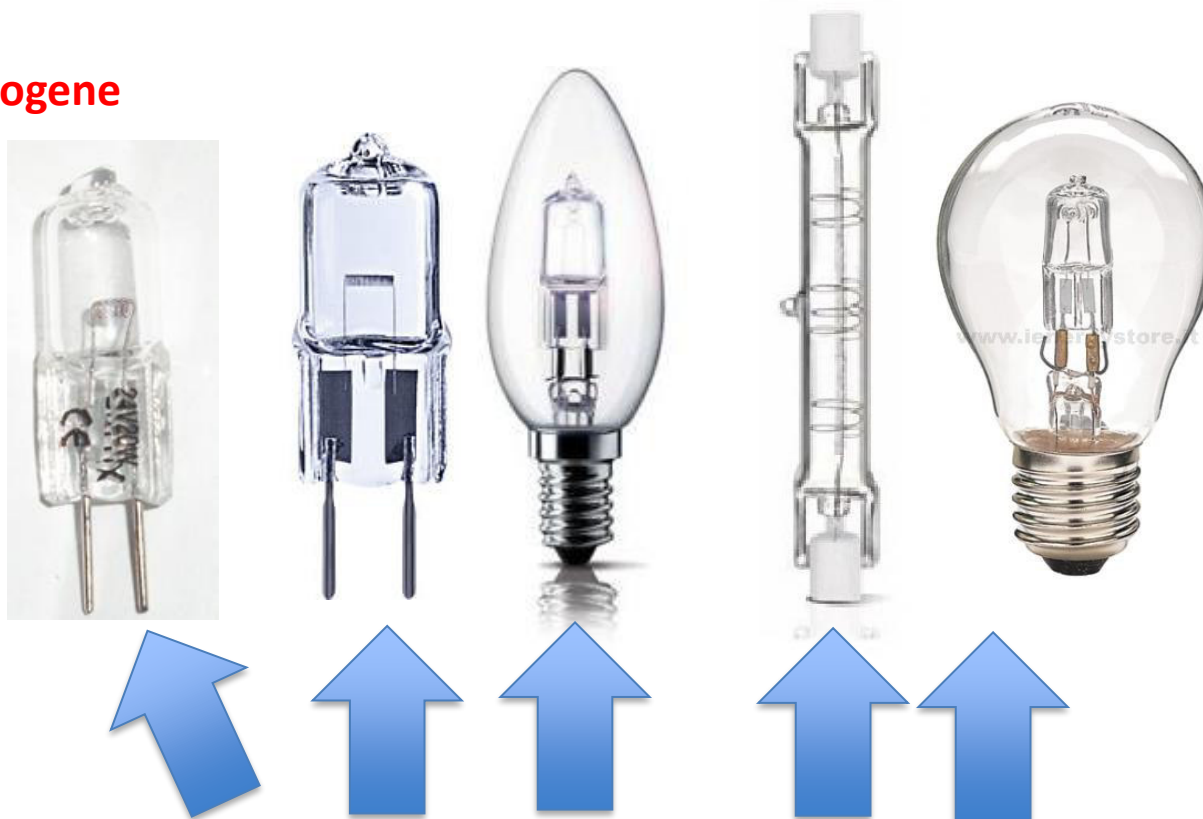
Le particelle di tungsteno, provenienti dal filamento interno, si combinano con gli elementi alogeni presenti nel bulbo generando alogenuri di tungsteno, gas trasparenti che non aderiscono alle pareti della sorgente. Quando si spegne la lampada avviene la dissociazione e il tungsteno ritorna libero depositandosi nuovamente sul filamento, lasciando liberi gli elementi alogeni.

- a) temperatura di colore 2800 - 3100 K,
- b) indice di resa cromatica è $R_a = 100$,
- c) efficienza luminosa 20 - 25 lm/W,
- d) durata 2000-5000 h.



Sorgenti Luminose

Sorgenti Alogene



Potenza nominale (W)	20	50	75	100	100	250	300	500
Tipo di attacco	G4	GY6	E14	E27	R7S-15	E27	R7S-15	R7S-15
Flusso luminoso (lm)	300	900	1000	1400	1400	4500	5100	9500
Efficienza (lm/W)	15	18	13	14	14	18	17	19
Voltage (V)	24	24	230	230	230	230	230	230

Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti

Lampade fluorescenti tubolari

tubo riempito con mercurio e con polveri fluorescenti in grado di convertire l'emissione del mercurio (253 nm) nel campo del visibile. Il materiale fluorescente è caratterizzato da un forte assorbimento degli ultravioletti (dipendente dalle dimensioni delle particelle) e da un'elevata efficienza di trasformazione (dipendente dalla purezza)

- a) temperatura di colore 2700 – 6500 K,
- b) indice di resa cromatica è $R_a = 60-90$;
- c) efficienza luminosa 50 - 90 lm/W;
- d) durata 6000-12'000 h.

NOTA: I tubi fluorescenti richiedono un tempo variabile fra qualche secondo e qualche decina di secondi per raggiungere l'emissione massima, se accesi a freddo.

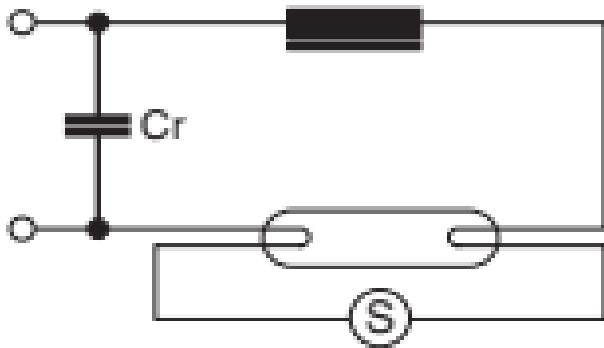


Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti

Lampade fluorescenti tubolari

Per poter provocare la scarica nei gas il tubo fluorescente deve essere alimentato con circuiti appositi di cui quello in Figura è un esempio: serve un componente induttivo che si carica ad una certa corrente fino a quando l'apertura dello starter S non provoca una scarica nel gas. Il condensatore rifasa il carico induttivo costituito dal reattore. La reattanza ha anche il compito di stabilizzare la corrente che alimenta l'arco una volta che si è innescato.



Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti Lampade fluorescenti tubolari

Reattore standard = perdite nel circuito di alimentazione fanno in modo che la lampada assorba dalla rete una potenza maggiore rispetto al valore nominale (circa 1,15 volte maggiore),

Reattore elettronico,

a parità di flusso luminoso, la lampada, alimentata ad alta frequenza, assorbe una potenza inferiore al suo valore nominale (circa 85% del valore nominale).

Altri vantaggi introdotti dal reattore elettronico sono;

- ✓ accensione immediata del tubo
- ✓ assenza dell'effetto stroboscopico tipico dell'alimentazione tradizionale
- ✓ fattore di potenza prossimo all'unità
- ✓ assoluta assenza di rumore (manca il ronzio a 50 Hz tipico degli alimentatori tradizionali)



Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti Lampade fluorescenti tubolari

Le lampade fluorescenti tubolari sono disponibili in tre diametri standard, rispettivamente: 38 mm (T12), 26 mm (T8) e 16 mm (T5).



Attacco G5

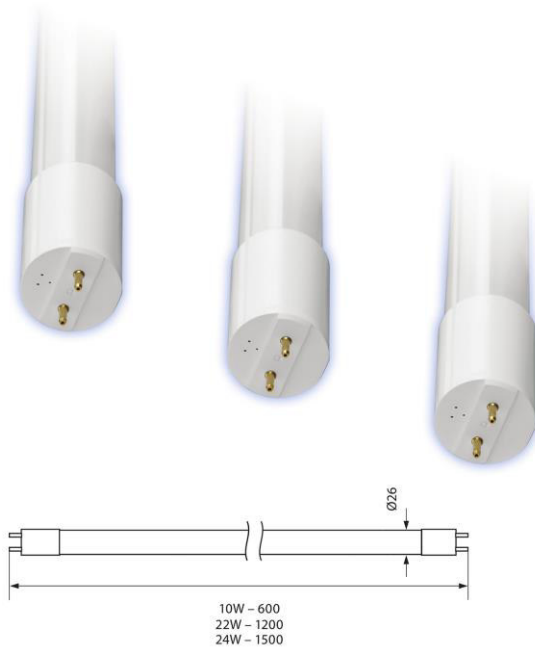


Attacco G13

Potenza nominale (W)	8	15	18	36	58
Tipo di attacco	G5	G13	G13	G13	G13
Flusso luminoso (lm)	350	870	1350	3350	5200
Efficienza (lm/W)	43.7	58	75	93	89.6

Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti Lampade fluorescenti tubolari



Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti **Lampade fluorescenti compatte**

Le lampade fluorescenti compatte sono simili alle lampade tubolari fluorescenti a catodo caldo e sono realizzate piegando a serpentina tubi fluorescenti di diametro inferiori a quello dei tubi lineari.

Nella base della lampada viene incorporato l'alimentatore.

Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti **Lampade fluorescenti compatte**

Esistono in commercio lampade con alimentatore integrato che hanno l'attacco E27 e E14 e risultano in tal modo intercambiabili con le normali lampade a incandescenza. Altri attacchi disponibili sono quelli i G23, 2G11, G24d-1, G24d-2 G24d-3, 2G10, GR8 e GR10 che richiedono reattori esterni.



E14



E27



G23



G24q



G24d

E27



G23



GR10

Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti **Lampade fluorescenti compatte**

Le lampade fluorescenti compatte sono simili alle lampade tubolari fluorescenti a catodo caldo e sono realizzate piegando a serpentina tubi fluorescenti di diametro inferiori a quello dei tubi lineari.

Potenza nominale (W)	5	7	11	15	20	23	25
Tipo di attacco	E14	E14	E14	E27	E27	E27	E27
Flusso luminoso (lm)	200	400	600	900	1200	1500	1500
Efficienza (lm/W)	40	57.1	54.5	60	60	65.2	60

Sorgenti Luminose

Lampade a scarica

Lampade a scarica agli ioduri metallici

Il tubo dove avviene la scarica contiene al proprio interno, oltre al mercurio, ioduri di sodio, di tallio e di indio.

Nelle lampade di recente produzione vengono inserite anche terre rare come il disprosio, l'olmio, il tulio e il cesio, che permettono una migliore distribuzione spettrale ed efficienze luminose più elevate.

Un'evoluzione importante riguarda l'introduzione nelle lampade del **bruciatore ceramico**, che ha notevolmente migliorato le rese cromatiche.



Sorgenti Luminose

Lampade a scarica

Lampade a scarica agli ioduri metallici

- a) temperatura di colore 2700 - 6000 K,
- a) indice di resa cromatica è $R_a = 65-95$;
- b) indici maggiori sono ottenuti nelle lampad con bruciatore ceramico;
- c) efficienza luminosa 80 - 95 lm/W;
- d) durata circa 10'000 h.

NOTA: Le lampade a scarica richiedono un tempo di qualche decina di secondi per raggiungere l'emissione massima, se accesi a freddo.

Inoltre, una volta spente, occorre aspettare qualche minuto prima che possano essere riaccese dal momento che non si riaccendono se prima non si sono raffreddate.



Sorgenti Luminose

Lampade a scarica

Lampade a scarica a vapori di sodio ad alta pressione

Lampade costituite da un tubo di scarica in materiale ceramico trasparente, resistente alle alte temperature e alla aggressività del sodio racchiuso al proprio interno.

La scarica avviene in vapori ad alta temperatura e pressione con una conseguente emissione di luce bianco dorata.

- a) temperatura di colore 2000 - 2500 K;
- b) indice di resa cromatica è $R_a = 20-80$;
- c) efficienza luminosa 80-130 lm/W;
- d) durata circa 15.000-20'000 h.



Sorgenti Luminose

Lampade a scarica

Lampade a scarica a vapori di sodio ad alta pressione

- a) temperatura di colore 2000 - 2500 K;
- b) indice di resa cromatica è $R_a = 20-80$;
- c) efficienza luminosa 80-130 lm/W;
- d) durata circa 15.000-20'000 h.

NOTA: raggiunge il regime di emissione nominale dopo circa 5 minuti.

Deve raffreddarsi prima di potersi riaccendere.

Abbondantemente utilizzata per illuminare esterni e locali industriali in virtù dell'elevata efficienza luminosa.



Sorgenti Luminose

Lampade a scarica

Lampade a scarica a vapori di sodio ad bassa pressione

Si tratta della lampada con la più elevata efficienza luminosa, ma la peggior resa cromatica;

Funziona solo se montata in posizioni predeterminate ed impiega 10-15 minuti per andare a regime.

Queste caratteristiche ne limitano l'impiego quasi unicamente per l'illuminazione stradale o di grandi aree che non necessitano qualità cromatica.

Si tratta di lampade con emissione su di una sola frequenza d'onda prossima al giallo che, pertanto risultano avere le seguenti caratteristiche



Sorgenti Luminose

Lampade a scarica

Lampade a scarica a vapori di sodio ad bassa pressione

Si tratta di lampade con emissione su di una sola frequenza d'onda prossima al giallo che, pertanto risultano avere le seguenti caratteristiche

- a) temperatura di colore 1800 °K,
- b) **indice di resa cromatica è $R_a = 10$**

indici maggiori sono ottenuti nelle lampade con bruciatore ceramico

- a) efficienza luminosa 200 lm/W
- b) durata circa 16'000 h

NOTA

l'alimentatore delle lampade al sodio riduce il rendimento luminoso complessivo di questa sorgente di circa il 30%.



Sorgenti Luminose

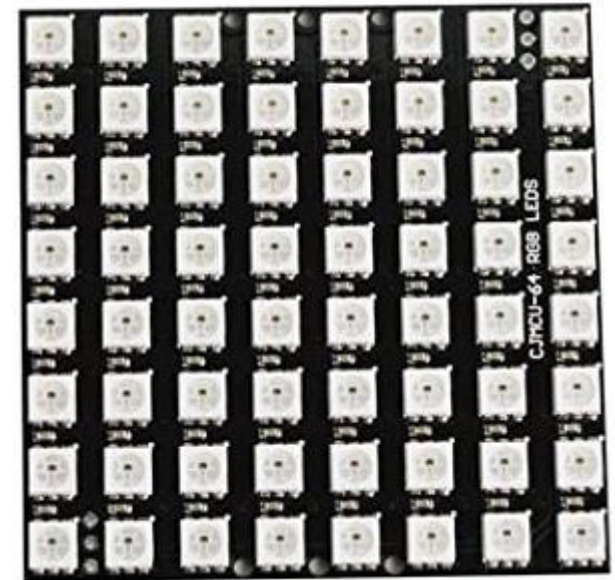
Lampade a LED

L'acronimo LED significa Light Emitting Diode:

ottenute da componenti elettronici allo stato solido in grado di emettere luce.

Essendo un componente allo stato solido, una sorgente a LED funziona unitamente ad un circuito elettronico di alimentazione e controllo.

- a) temperatura di colore 2000 - 7000 K;
- b) indice di resa cromatica è $R_a = 80-95$;
- c) efficienza luminosa 100-150 lm/W;
- d) durata circa 50'000 h.

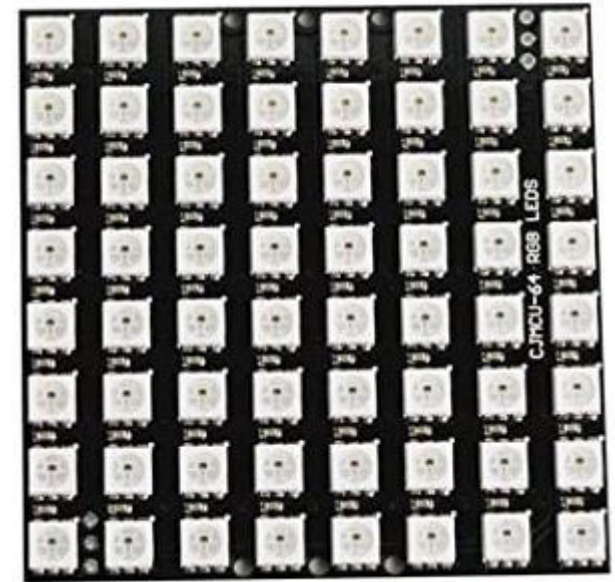


Sorgenti Luminose

Lampade a LED

Altre caratteristiche delle lampade a LED:

- ✓ UV e gli IR sono praticamente assenti: la luce emessa è fredda gli oggetti illuminati non vengono esposti al calore.
- ✓ Illuminazione con LED adatta per oggetti sensibili.
- ✓ LED producono calore in prossimità del circuito dove sono montati e la temperatura di lavoro incide sulla durata della lampada. A temperature minori, sono maggiori sia l'emissione luminosa che la durata: **è necessario dissipare il calore prodotto.**



Sorgenti Luminose

LED



A65 - E27 Bulb

15W VT-2015

4453 3000K Warm White
4454 4000K Day White
4455 6400K White

EAN Code

3800157608091
3800157608107
3800157608114



EQ. Watts:	100W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1500lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		



A65 - E27 Bulb

17W VT-2017

4456 3000K Warm White
4457 4000K Day White
4458 6400K White

EAN Code

3800157608121
3800157608138
3800157608145



EQ. Watts:	125W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1800lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		

Sorgenti Luminose

Confronto

LAMPADA	EFFICIENZA	DURATA
Incandescente	15 lu/W	1.000 ore
Fluorescente	70-100 lu/W	20.000 ore
HPS	80 lu/W	24.000 ore
LED bianco	40 - 100 lu/W	>50.000 – 100.000 ore

Apparecchi d'illuminazione

Gli elementi utilizzati per realizzare impianti di illuminazione, non sono tanto le lampade, ma piuttosto i **corpi illuminanti**, ossia le lampade unitamente agli apparecchi di illuminazione in cui sono inserite.

Gli apparecchi di illuminazione detti anche **armature**, sono dei “contenitori” realizzati in materiale metallico, plastico, resina, e sono ottenuti per stampaggio, fusione o piegatura di lamiera.

Il flusso totale che esce da un apparecchio di illuminazione è sempre inferiore al flusso generato dalle lampade contenute.

Questa perdita di flusso è indicata in percentuale sulla curva fotometrica.

A ad esempio, se si ha 10% di flusso verso l'alto e l'80% verso il basso, il mancante 10% tiene conto della luce dissipata all'interno dell'apparecchio di illuminazione.



Apparecchi d'illuminazione

Le funzioni a cui assolvono gli apparecchi di illuminazione sono [1][2]:

- 1) bloccare eventuali radiazioni nel campo dell'ultra-violetto (vetro albarino nel caso di lampade alogene o a ioduri);
- 2) agevolare e rendere sicure le operazioni di manutenzione (pulizia e sostituzione lampade o altri componenti).
- 3) modificare il flusso luminoso emesso da una lampada per adattarlo alle esigenze dell'ambiente da illuminare.
- 4) fornire una adeguata protezione alla lampada, ai circuiti di accensione delle lampade, ai morsetti, ai contatti elettrici del porta lampade per garantire, soprattutto, la sicurezza elettrica in conformità alle prescrizioni della normativa EN 60598. Le prescrizioni di sicurezza sono quelle comuni alla generalità delle apparecchiature elettriche:



Apparecchi d'illuminazione

Le prescrizioni di sicurezza sono quelle comuni alla generalità delle apparecchiature elettriche:

- **protezione contro contatti diretti e indiretti.**

Da questo punto di vista la protezione dai contatti diretti (contatto con parti che sono normalmente in tensione) e contatti indiretti (contatto con parte del sistema che possono trovarsi ad essere in tensione a seguito di un guasto) si realizza con apparecchi che sono:

Classe I: apparecchi muniti di isolamento funzionale e morsetto per il collegamento al conduttore di protezione (terra);

Classe II: apparecchi dotati di isolamento supplementare (doppio isolamento) atto a garantire il contatto in caso di difettosità dell'isolamento principale) e, per questo, non richiedono il morsetto per il collegamento al conduttore di protezione.

Classe III: apparecchi atti ad essere alimentati a bassissima tensione di sicurezza (ossia a meno di 50 V in alternata e meno di 100 V in continua).



Apparecchi d'illuminazione

- grado di protezione adeguato.

La protezione si intende dalla polvere e dall'acqua ed è definita con una sigla IP seguita da una coppia di numeri come mostrato in Tabella .

In alcuni casi viene indicata anche una terza cifra che descrive le caratteristiche di resistenza meccanica dell'involucro

1a cifra: Grado di protezione contro l'ingresso di oggetti solidi		2a cifra: Grado di protezione contro l'ingresso di liquidi								
		Non protetto	Protetto contro acqua gocciolante	Protetto contro acqua gocciolante con un angolo entro $\pm 15^\circ$	Protetto contro acqua spruzzata con un angolo entro $\pm 60^\circ$	Protetto contro spruzzi d'acqua da qualsiasi direzione	Protetto contro getti d'acqua pompate da qualsiasi direzione	Protetto contro forti getti d'acqua da qualsiasi direzione e acqua di mare	Protetto contro brevi immersioni (fino a 1 mt di profondità)	Protetto contro la prolungata immersione in acqua (oltre 1 mt di profondità)
		IPx0	IPx1	IPx2	IPx3	IPx4	IPx5	IPx6	IPx7	IPx8
Non protetto	IP0x	IP00	IP01	IP02						
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 50 mm Ø (es. una mano)	IP1x	IP10	IP11	IP12	IP13					
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 12 mm Ø (es. un dito)	IP2x	IP20	IP21	IP22	IP23					
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 2,5 mm Ø (es. fili, attrezzi)	IP3x	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 1 mm Ø (es. fili, attrezzi)	IP4x	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	IP45	IP46		
Protezione contro la polvere tale da non interferire con il funzionamento del dispositivo. Depressione atmosferica 200mm colonna d'acqua. Flusso d'aria pari a 80 volte il volume della custodia	IP5x					IP54	IP55	IP56		
Completamente ermetico a polveri e fumi	IP6x					IP64	IP65	IP66	IP67	IP68



Apparecchi d'illuminazione

- grado di protezione adeguato.

1a cifra: Grado di protezione contro l'ingresso di oggetti solidi		2a cifra: Grado di protezione contro l'ingresso di liquidi								
		Non protetto	Protetto contro acqua gocciolante	Protetto contro acqua gocciolante con un angolo entro ±15°	Protetto contro acqua spruzzata con un angolo entro ±60°	Protetto contro spruzzi d'acqua da qualsiasi direzione	Protetto contro getti d'acqua pompati da qualsiasi direzione	Protetto contro forti getti d'acqua da qualsiasi direzione e acqua di mare	Protetto contro brevi immersioni (fino a 1 mt di profondità)	Protetto contro la prolungata immersione in acqua (oltre 1 mt di profondità)
		IPx0	IPx1	IPx2	IPx3	IPx4	IPx5	IPx6	IPx7	IPx8
Non protetto	IP0x	IP00	IP01	IP02						
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 50 mm Ø (es. una mano)	IP1x	IP10	IP11	IP12	IP13					
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 12 mm Ø (es. un dito)	IP2x	IP20	IP21	IP22	IP23					
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 2,5 mm Ø (es. fili, attrezzi)	IP3x	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
Protetto contro l'ingresso di oggetti solidi più grandi di 1 mm Ø (es. fili, attrezzi)	IP4x	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	IP45	IP46		
Protezione contro la polvere tale da non interferire con il funzionamento del dispositivo. Depressione atmosferica 200mm colonna d'acqua. Flusso d'aria pari a 80 volte il volume della custodia	IP5x					IP54	IP55	IP56		
Completamente ermetico a polveri e fumi	IP6x					IP64	IP65	IP66	IP67	IP68

Apparecchi d'illuminazione

- grado di protezione adeguato.

1° cifra Protezione contro i corpi solidi			2° cifra Protezione contro i corpi liquidi			3° cifra * Protezione meccanica	
Grado	Indicazioni	Simbolo	Grado	Indicazioni	Simbolo	Grado	Indicazioni
0	Nessuna protezione		0	Nessuna protezione		0	Nessuna protezione
1	Protetto contro l'ingresso di corpi solidi di dimensioni superiori a 50 mm	-	1	Protetto contro le cadute verticali di gocce di liquidi.	-	1	Resistente all'energia di 0,225 Joules
2	Protetto contro l'ingresso di corpi solidi di dimensioni superiori a 12 mm	-	2	Protetto contro le cadute di gocce di liquidi entro un angolo di 15° dalla verticale.	6	2	Resistente all'energia di 0,375 Joules
3	Protetto contro l'ingresso di corpi solidi di dimensioni superiori a 2,5 mm	-	3	Protetto contro le cadute d'acqua a pioggia entro un angolo di 60° dalla verticale.		3	Resistente all'energia di 0,5 Joules
4	Protetto contro l'ingresso di corpi solidi di dimensioni superiori a 1 mm	-	4	Protetto contro i getti d'acqua provenienti da tutte le direzioni.			
5	Protezione parziale contro l'ingresso della polvere		5	Protetto contro i getti d'acqua con lancia provenienti da tutte le direzioni.		5	Resistente all'energia di 2,00 Joules
6	Protezione totale contro l'ingresso della polvere		6	Protetto contro proiezioni d'acqua simili a onde marine.	-		
			7	Protetto contro l'immersione temporanea in liquidi.	66	7	Resistente all'energia di 6,00 Joules
			8	Protetto contro l'immersione in liquidi per tempo illimitato.	66 (n)		
						9	Resistente 20,00 Joules all'energia

Apparecchi d'illuminazione

Si usa classificare gli apparecchi di illuminazione in tre classi, in funzione delle modalità con cui agiscono sul flusso luminoso emesso dalla sorgente.

1. Diffusori

Diffondono nel modo più uniforme possibile il flusso luminoso sull'angolo solido riducendo la illuminanza dell'apparecchio e, quindi attenuano l'abbagliamento che l'apparecchio può provocare. Sono tipicamente realizzati in:

- vetro smerigliato o opalino. Assorbe circa il 10-20% del flusso emesso dalla lampada;
- in materiale termoplastico. Assorbe circa il 30-40% del flusso emesso dalla lampada.



Apparecchi d'illuminazione

2. Riflettori

I riflettori servono per orientare il flusso luminoso emesso dalla lampada in direzioni desiderate.

Sono realizzati con materiali riflettenti come alluminio brillantato e anodizzato, o lamiera di ferro bianca conformati in modo da ottenere l'emissione desiderata.

Fanno parte di questa categoria gli apparecchi illuminanti detti proiettori.



Apparecchi d'illuminazione

3. Rifrattori

Si tratta di schermi la cui superficie interna è conformata in modo da poter modificare in modo anche significativo la direzionalità dei raggi luminosi emessi dalle sorgenti utilizzate internamente all'apparecchio illuminante.

I corpi a rifrattori sono realizzati per lo più in resina trasparente a costituire coppe trasparenti lenticolari, oppure con lastre lavorate a prismi in vetro.



Apparecchi d'illuminazione

Gli apparecchi si classificano, poi, in tre gruppi a seconda del tipo di illuminazione che sono in grado di produrre:

- A. **per illuminazione diretta**, quando almeno il 90% del flusso è diretto verso il basso
 - B. **per illuminazione diffusa**, quando la luce si ripartisce pressoché uniformemente in tutte le direzioni
 - C. **per illuminazione indiretta**, quando almeno il 90% del flusso è diretto verso l'alto
- Tra le situazioni intermedie si classificano altri due sottogruppi (illuminazione semi diretta con flusso prevalentemente diretto verso il basso nella percentuale compresa tra il 60% e il 90% e illuminazione semi indiretta con il 60-90% di flusso diretto verso l'alto).



Apparecchi d'illuminazione

Schermi

Lo schermo è un dispositivo aggiunto all'apparecchio di illuminazione allo scopo principale di limitare l'abbagliamento dell'utilizzatore.

Lo schermo contribuisce a determinare la direzionalità del flusso luminoso emesso da un apparecchio e, quindi, viene progettato in funzione del tipo di destinazione dell'apparecchio stesso.

Apparecchi d'illuminazione

Schermi – «Dark Light»

schermo per plafoniera a tubi fluorescenti lineari per ottica cosiddetta “dark-light” che è tipicamente utilizzato in locali dove ci sono video terminali



Apparecchi d'illuminazione

Schermi – Lamellari

schermo per plafoniera tubi fluorescenti lineari di tipo lamellare che è più economico e che si utilizza in ambienti dove il fastidio generato da eventuale abbagliamento è meno gravoso rispetto quello necessario all'utilizzo di un computer.



Apparecchi d'illuminazione

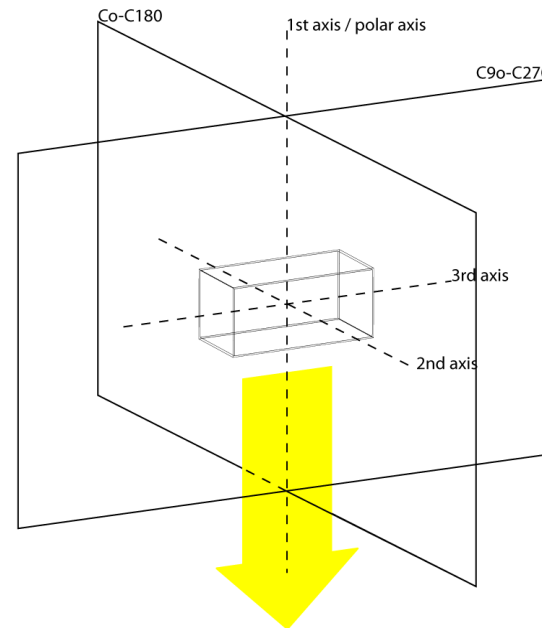
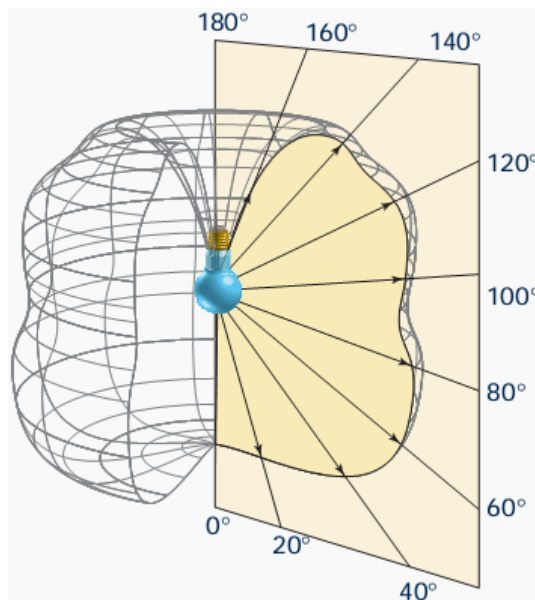
Apparecchi acquisibili con più schermi

Lo stesso apparecchio illuminante, dotato di riflettore nella parte interna superiore, può montare l'uno o l'altro schermo ed essere così adattato a diversi tipi di utilizzo



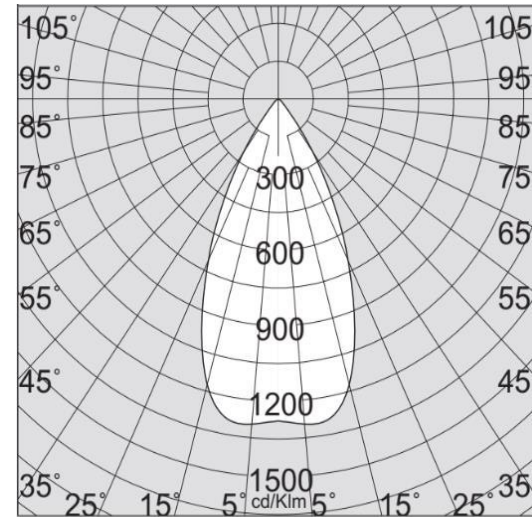
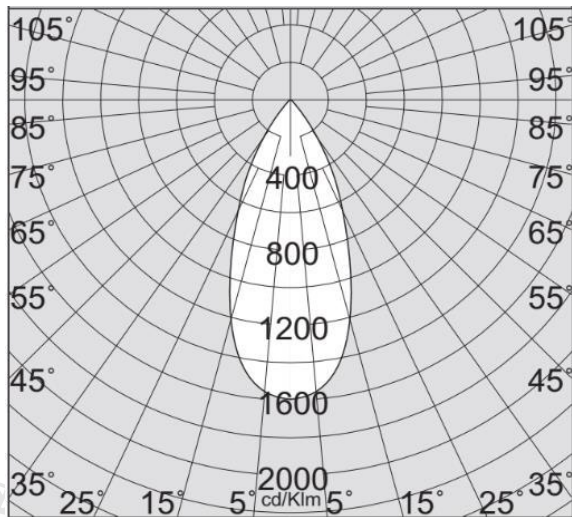
Curve fotometriche

La curva fotometrica è, di fatto, l'impronta digitale dell'apparecchio di illuminazione in quanto definisce le modalità con cui l'apparecchio stesso irradia il flusso luminoso in un ambiente. Si è già detto che le curve fotometriche sono date da diagrammi di tipo polare che appartengono almeno a due piani fra loro ortogonali ed entrambi passanti per l'asse polare verticale centrale dell'apparecchio



Curve fotometriche

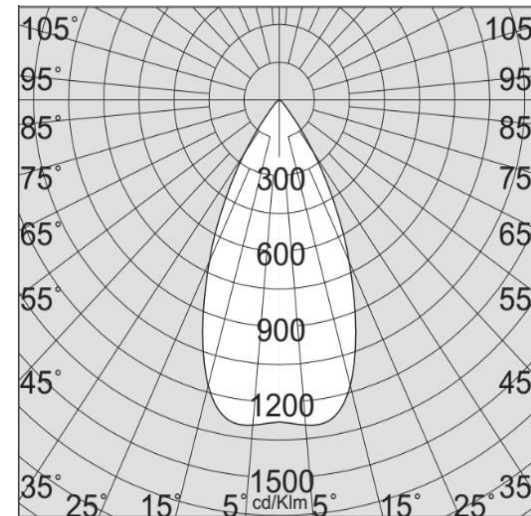
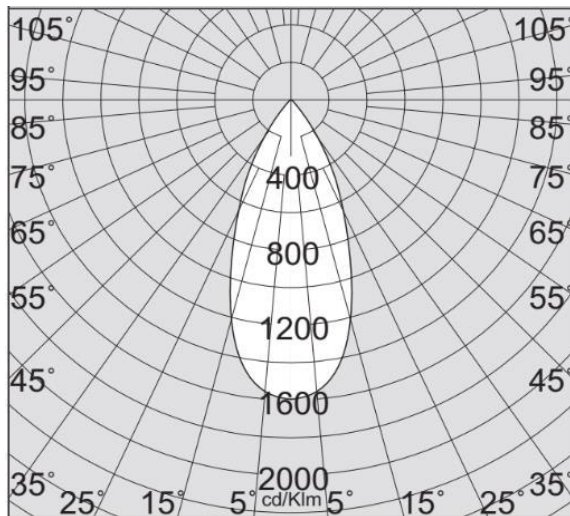
La mostra le curve fotometriche di uno stesso faretto cilindrico, e, quindi, simmetrico con due riflettori diversi e, quindi con un fascio più stretto ed uno più largo, questo consente di caratterizzare l'apparecchio di illuminazione con il diagramma fotometrico di un solo piano azimutale.



Curve fotometriche

Il sistema di cerchi concentrici individua l'intensità luminosa "normalizzata", ossia espressa in cd/klm:

le candele effettive si ottengono moltiplicando il valore del diagramma per i lumen della lampada utilizzata e dividendo per 1000.



Dato che l'intensità luminosa è normalizzata rispetto ai lumen è naturale che per un angolo di emissione di 0°, ossia sull'asse verticale, il diagramma che corrisponde al fascio più stretto raggiunga un valore di intensità maggiore (1660 cd/klm) rispetto a quello che corrisponde ad un fascio più largo (1300 cd/klm).

Curve fotometriche

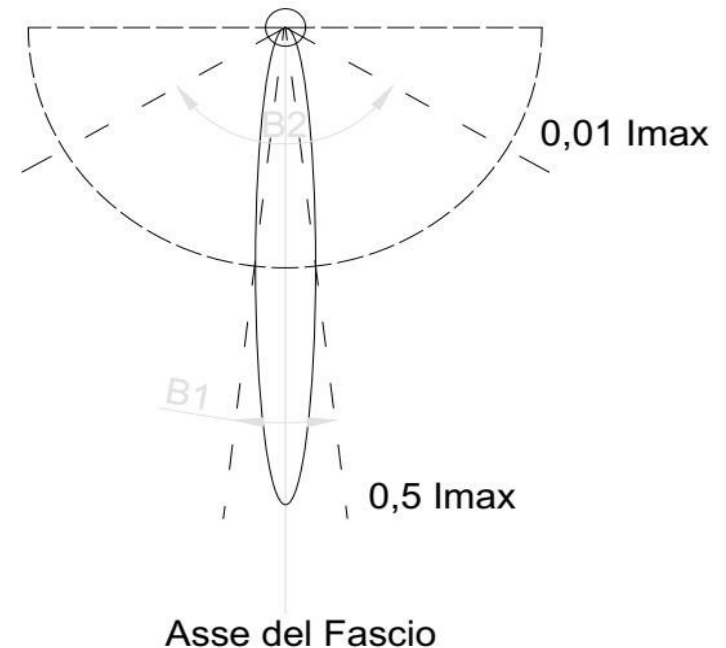
In funzione dell'apertura del fascio luminoso gli apparecchi illuminanti sono così classificati:

$AF < 20^\circ$ fascio stretto

$20^\circ < AF < 40^\circ$ fascio medio

$AF > 40^\circ$ fascio largo

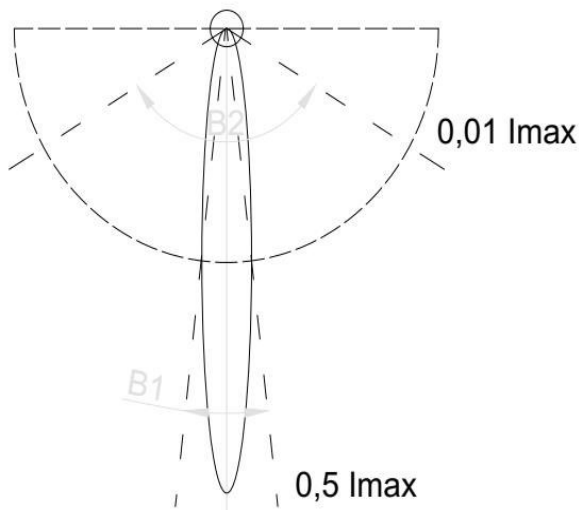
dove l'angolo preso a riferimento per la definizione dell'apertura del fascio è l'angolo B_1 di Figura, ossia l'angolo entro il quale l'intensità luminosa si mantiene superiore al 50% del valore massimo



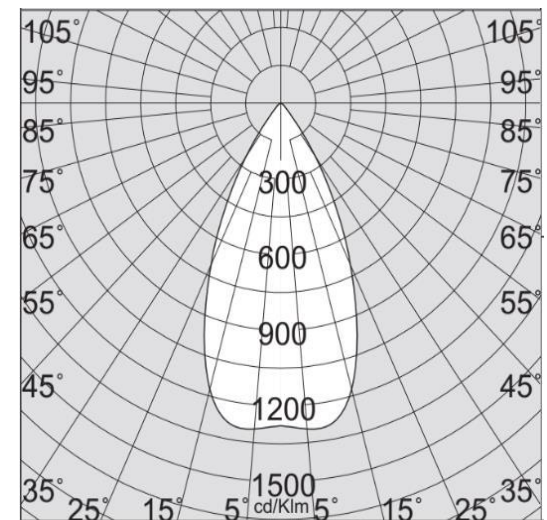
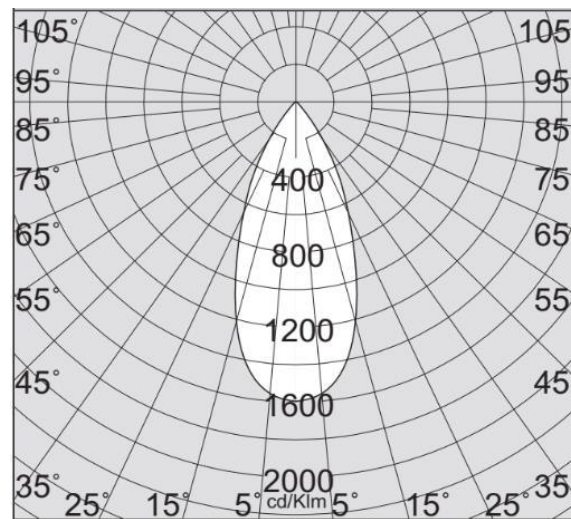
Curve fotometriche

Si deve, tuttavia osservare che i costruttori dichiarano l'angolo apertura facendo riferimento all'angolo B2, ossia quello per il quale l'intensità luminosa si mantiene superiore al 10% del valore massimo.

Ecco così che per il caso di Figura, il costruttore dichiara un angolo di apertura di 45° , per il diagramma di sinistra e, quindi, dichiara un angolo di apertura di 52° per il diagramma a destra.



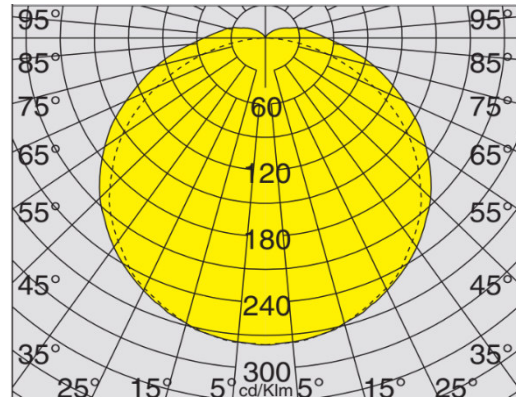
Asse del Fascio



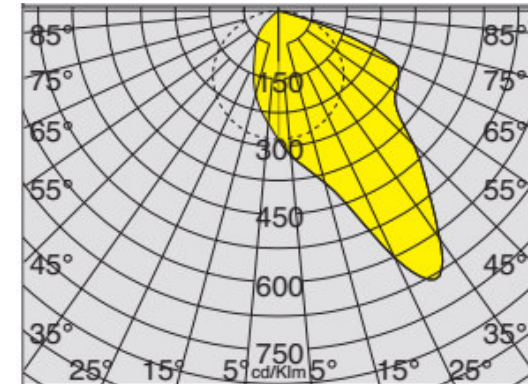
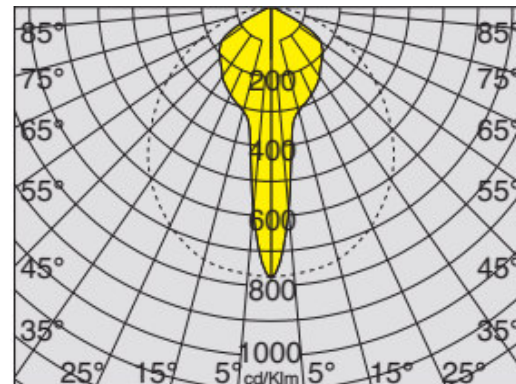
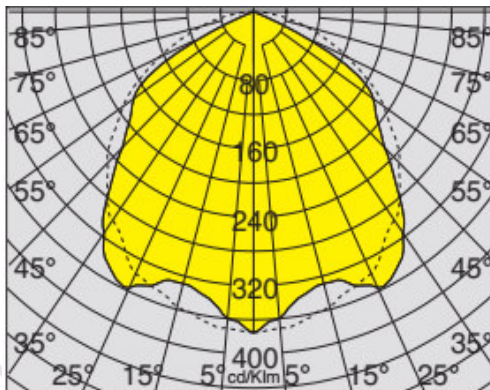
Curve fotometriche

Curve fotometriche di uno stesso apparecchio di illuminazione che utilizza tubi lineari e che può essere accessoriato con riflettori con quattro geometrie diverse.

senza riflettore



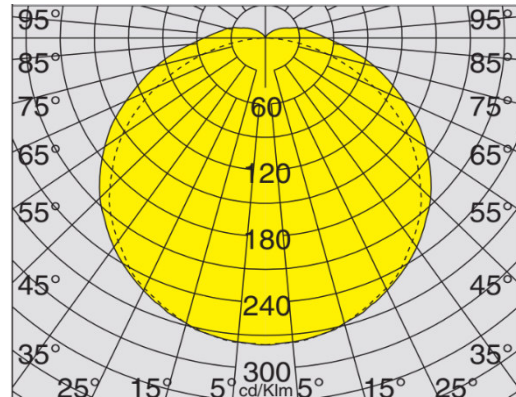
Con riflettori di tipo diverso



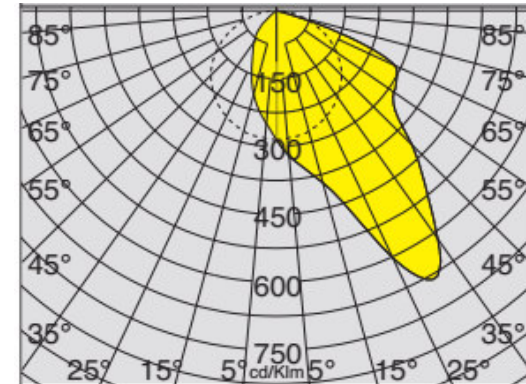
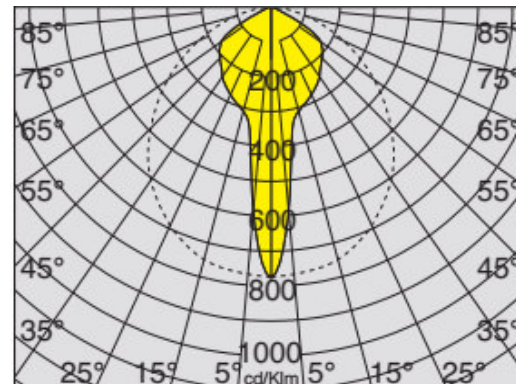
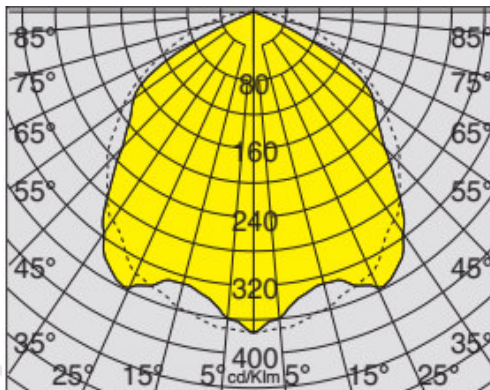
Curve fotometriche

I fasci di emissione più stretta danno luogo a valori di intensità luminosa maggiori.

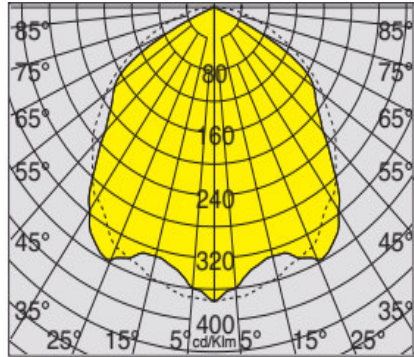
senza riflettore



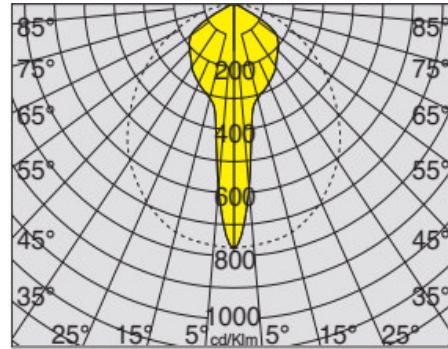
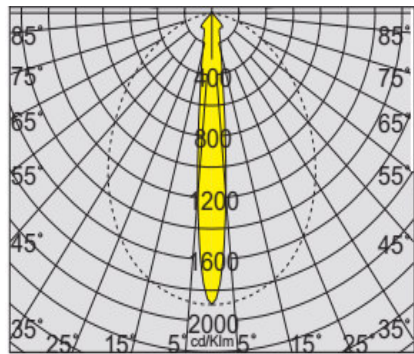
Con riflettori di tipo diverso



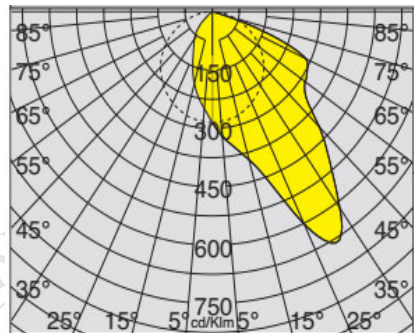
Curve fotometriche



Il primo fascio, con apertura di 75° è adatto ad ottenere illuminazione diffusa di grandi spazi (aree vendita di grandi magazzini).



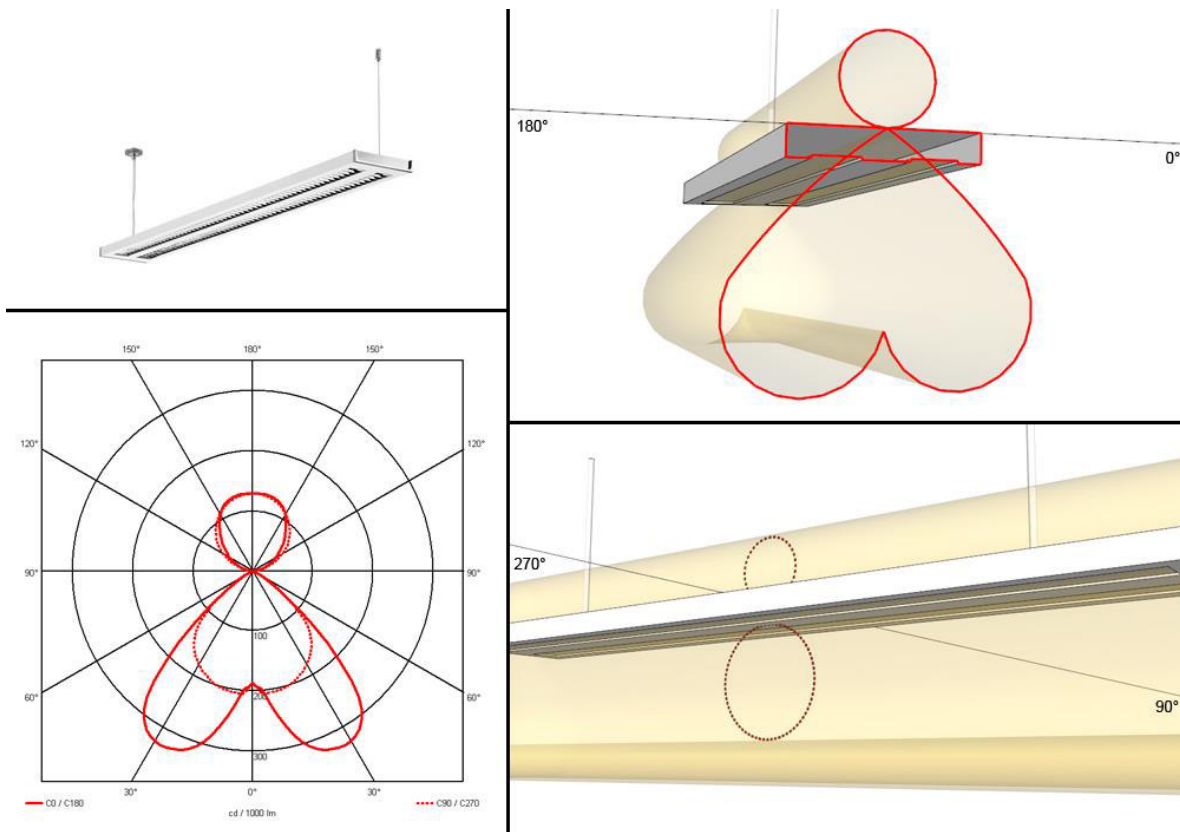
I fasci stretti sono adatti ad ambienti dove si utilizzano computer, dal momento che un fascio stretto implica che l'intensità luminosa sia bassa o nulla per angoli di emissione elevati.



Fascio asimmetrico, è adatto ad illuminare magazzini, dove è importante illuminare il lato verticale dello scaffale dove è esposta la merce.

Curve fotometriche

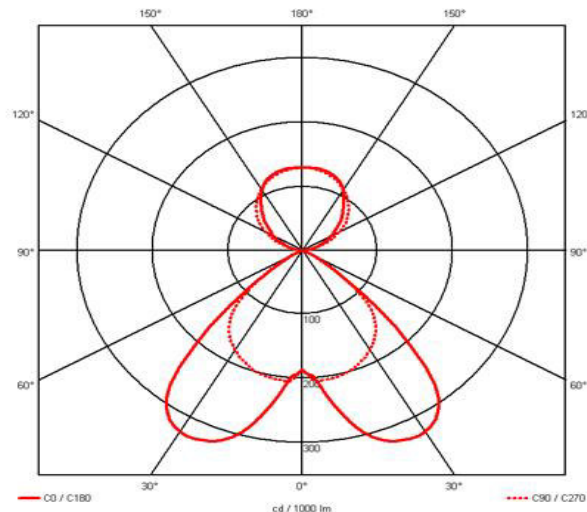
Ci sono apparecchi di illuminazione che emettono luce anche verso l'alto.



Curve fotometriche

In questo caso, detti rispettivamente FA e FB le percentuali di fascio di luce dirette verso l'alto e quella del fascio diretta verso il basso, la classificazione degli apparecchi di illuminazione è la seguente:

- | | | | |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| - | $0\% < FA < 10\%$ | $90\% < FB < 100\%$ | emissione diretta |
| - | $10\% < FA < 40\%$ | $60\% < FB < 90\%$ | emissione semi-diretta |
| - | $40\% < FA < 60\%$ | $40\% < FB < 60\%$ | emissione indiretta-diretta |
| - | $60\% < FA < 90\%$ | $10\% < FB < 40\%$ | emissione semi-indiretta |
| - | $90\% < FA < 100\%$ | $0\% < FB < 10\%$ | emissione indiretta |



Curve fotometriche

tutti gli apparecchi di illuminazione assorbono parte del flusso prodotto da una sorgente luminosa e quindi si può definire per ogni apparecchio un

rendimento ottico:

$$\eta_{OTT} = \frac{\Phi_U}{\Phi_L}$$

Φ_U = flusso luminoso che esce dall'apparecchio

Φ_L = flusso luminoso emesso dalle lampade installate nell'apparecchio.

Il rendimento luminoso dipende dalla caratteristica dei **materiali** utilizzati per realizzare diffusori, riflettori, rifrattori e schermi ma anche **dalle dimensioni delle sorgenti luminose** rispetto agli apparecchi:

con lampade di dimensioni minori l'apparecchio “soffoca meno” il flusso luminoso e, quindi il rendimento ottico risulta più alto.

Il flusso di una sorgente luminosa (lampada), quindi, non è sufficiente per caratterizzare l'apparecchio illuminante in cui essa è montata perché va pesato con il rendimento dell'apparecchio.



Sorgenti Luminose

Sorgenti Fluorescenti **Lampade fluorescenti compatte**

Esistono in commercio lampade con alimentatore integrato che hanno l'attacco E27 e E14 e risultano in tal modo intercambiabili con le normali lampade a incandescenza. Altri attacchi disponibili sono quelli i G23, 2G11, G24d-1, G24d-2 G24d-3, 2G10, GR8 e GR10 che richiedono reattori esterni.



E14



E27



G23



G24q



G24d



GU10



MR16 – GU5,3



MR11



GX53



AR111

Comfort Visivo

E) Luminanza

luminanza diretta

L'UGR Unified Glare Rating, è un fattore di verifica della condizione di abbagliamento debilitante all'interno dell'ambiente analizzato e dipendente da numerose variabili ambientali e quindi non solamente dalle caratteristiche fotometriche e costruttive di un corpo illuminante.

Il parametro UGR è dipendente dunque solo in parte dalle caratteristiche fotometriche dell'apparecchio d'illuminazione.

Va ricordato che, dal punto di vista fotometrico, va posta particolare attenzione al valore di superficie emittente inserito in fotometria, poiché da questa dipende il valore di luminanza e quindi il risultato dell'UGR, strettamente legato alla luminanza del corpo illuminante osservato in ambiente.

Molto spesso capita che aziende d'illuminazione (non sempre in buona fede) mettano in circolazione fotometrie con parametri modificati manualmente o non realistici della superficie emittente. Caso particolare ad esempio per apparecchi di forma non regolare (vedi ad esempio i sistemi ad anello che oggi molti costruttori hanno a catalogo) che in una fotometria LDT standard sono definiti da una superficie emittente circolare piena, molto lontana dalla superficie anulare reale.

Comfort Visivo

F) Indice di resa cromatica

la resa cromatica è la capacità di una lampada di riprodurre in modo naturale i colori degli oggetti illuminati.

Indice di Resa Cromatica **Ra** o Color Rendering Index (**CRI**) indica il modo in cui una sorgente riproduce il colore degli oggetti da essa illuminati

Esempi

Ra (CRI) = 100 indica la perfezione, ossia una resa dei colori al 100% ed è riferito alla luce emessa da una lampadina ad incandescenza, utilizzata come campione di riferimento.

Ra (CRI) = 0 l'imperfezione assoluta resa dei colori nulla e, quindi, visione monocromatica

Comfort Visivo

F) Indice di resa cromatica


In pratica, la resa dei colori è stata normalizzata dalla CIE per gruppi


Ra / CRI	Qualità di Resa	Tipico Utilizzo
100-90	ottima	Ambienti dove è imprescindibile l'apprezzamento dei colori
89-80	buona	Ambienti ordinari di lavoro o soggiorno
79-60	discreta	Ambienti dove il compito visivo non è impegnativo
59-40	sufficiente	Luoghi di transito
39-20	accettabile	Ambienti in cui la presenza è saltuaria
<20	inaccettabile	Non utilizzabili

Comfort Visivo

Requisiti per il comfort visivo:

- un livello adeguato di illuminamento
- una sufficiente uniformità di illuminamento
- una buona distribuzione delle luminanze
- assenza di abbagliamento
- una corretta direzionalità della luce
- una buona resa cromatica delle sorgenti e degli ambienti

Illuminamento
Luminanza  E' necessario definire dei valori assoluti di riferimento, ed anche dei criteri e degli indici di distribuzione e di uniformità.

Resa Cromatica  Buona resa cromatica degli apparecchi di illuminazione



Confort Visivo

L'illuminamento influenza la capacità di un individuo di percepire piccoli dettagli ad una data distanza (acuità visiva) ma anche la velocità di percezione, cioè il tempo richiesto per compiere un compito visivo .

Normativa Italiana in merito al comfort visivo:

- UNI 10380/A1
- UNI 10840

Prevedono dei valori di soglia per l'**illuminamento** e per l'**uniformità di illuminamento sui piani di lavoro e nei locali** in relazione ai compiti visivi previsti



Confort Visivo

Normativa Italiana in merito al comfort visivo:

- UNI 10380/A1
- UNI 10840

Uniformità dell'illuminamento

Tra area oggetto del compito visivo e area immediatamente circostante (0,5 m), per evitare affaticamento visivo ed abbagliamento

<i>Illuminamento medio nella zona del compito $E_{compito} (lx)$</i>	<i>Illuminamento minimo nelle zone circostanti $E (lx)$</i>
>750	500
500	300
300	200
<200	$E_{compito}$

I rapporti tra illuminamento minimo e medio non devono essere comunque inferiori a

- ❖ 0,7 nella zona del compito
- ❖ 0,5 nelle zone immediatamente circostanti il compito

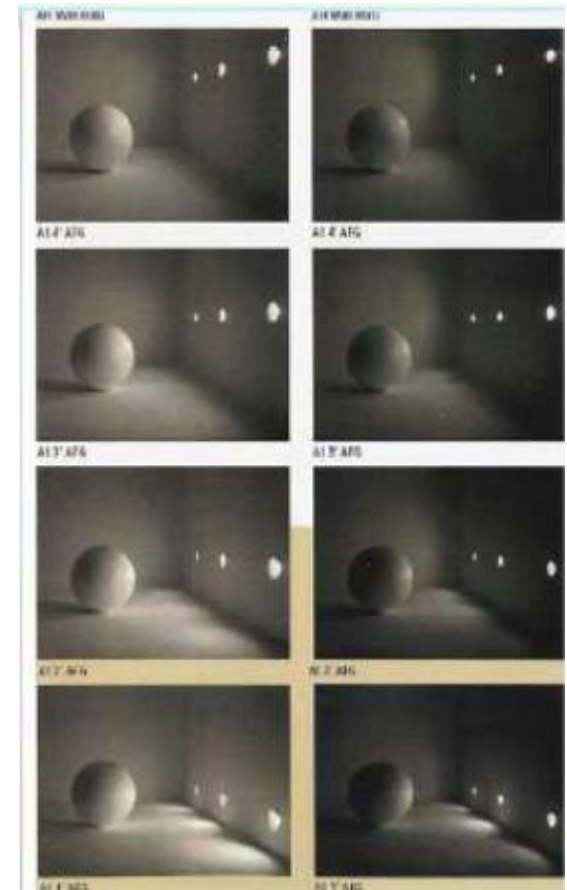
Confort Visivo

Contrasto di luminanza

Contrasto: “rapporto fra la differenza di luminanza dei due oggetti e la minore delle due luminanze”.

L'occhio percepisce la forma degli oggetti se all'interno del campo visivo esiste un adeguato contrasto luminoso fra due oggetti o fra oggetto e sfondo.

$$C = \frac{L_{\text{Oggetto}} - L_{\text{Sfondo}}}{L_{\text{Sfondo}}}$$

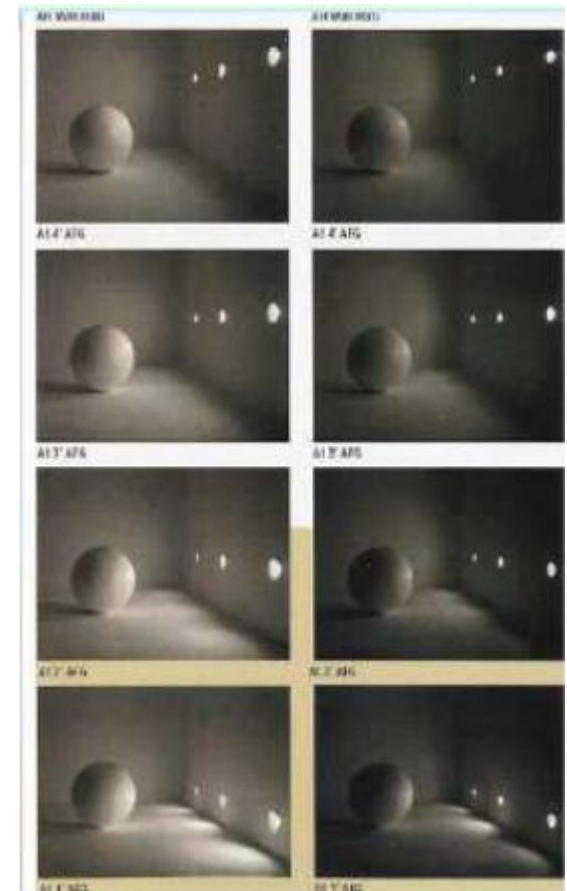


Confort Visivo

Contrasto di luminanza

Un oggetto, per essere percepito correttamente, deve avere una luminanza variabile fra 2 e 3 volte quella dello sfondo e fra 5 e 10 volte quella dell'ambiente.

$$C = \frac{L_{\text{Oggetto}} - L_{\text{Sfondo}}}{L_{\text{Sfondo}}}$$



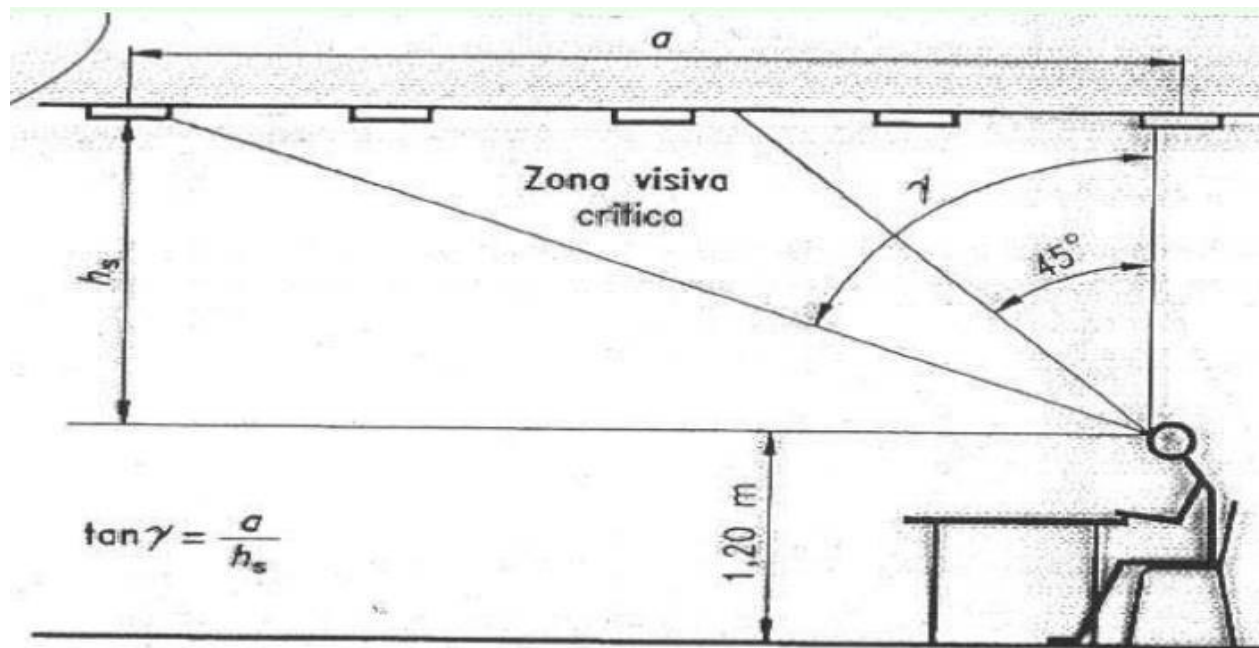
Confort Visivo

Abbagliamento (di nuovo)

Per limitare l'abbagliamento di tipo diretto occorre verificare i valori assoluti di luminanza delle sorgenti luminose (artificiali o naturali).

Zona visiva critica: è quella compresa fra gli angoli verticali di 45° e 85° .

In tale intervallo, la luminanza media di ciascun apparecchio non deve essere maggiore di un valore limite stabilito in funzione del tipo di apparecchio e del compito visivo



Confort Visivo

Abbagliamento (di nuovo)

I valori limite di luminanza per illuminazione artificiale sono indicati dalla norma UNI 10380

classe A: adatti a compiti visivi molto difficoltosi

classe B: adatti a compiti visivi che richiedono prestazioni visive elevate

(Uffici)

classe C: adatti a compiti visivi che richiedono prestazioni visive normali

classe D: adatti a compiti visivi che richiedono prestazioni visive modeste

classe E: adatti per interni in cui i compiti visivi non sono particolarmente impegnativi e non sono esattamente dislocati

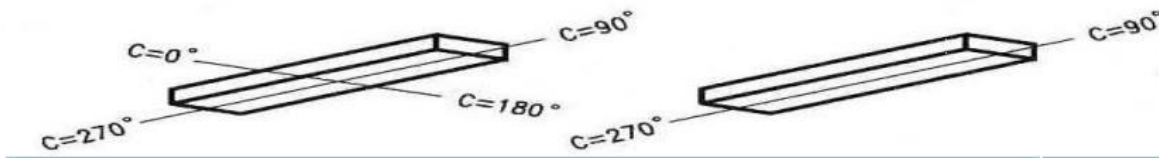
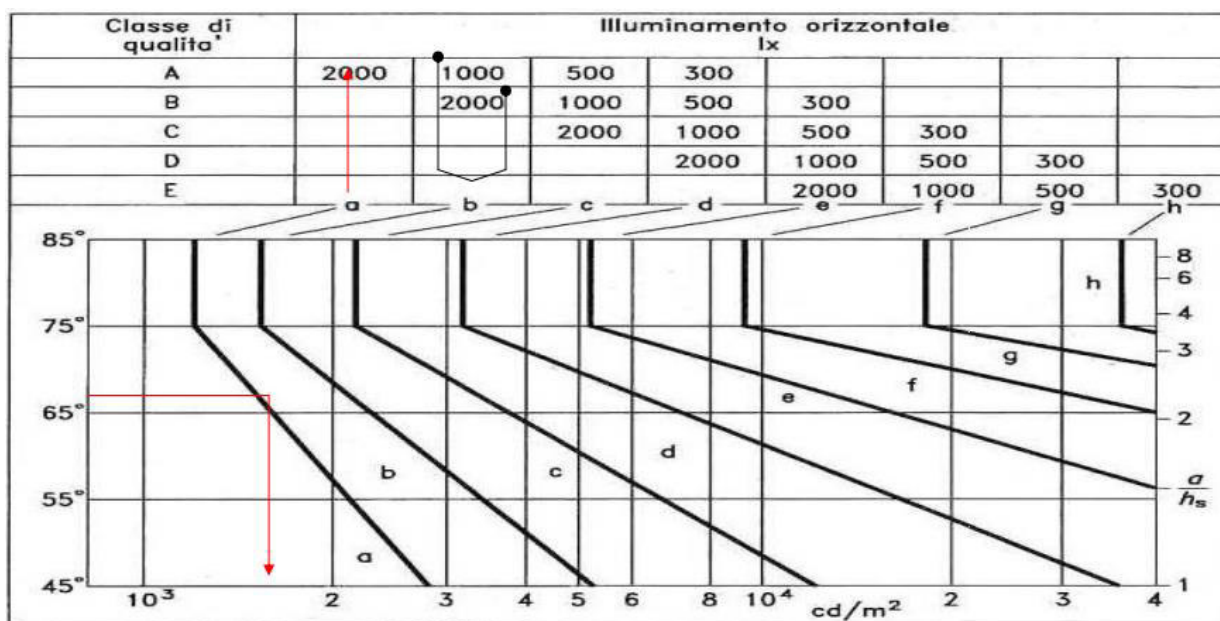
(Abitazioni)



Confort Visivo

Curva limite di luminanza A

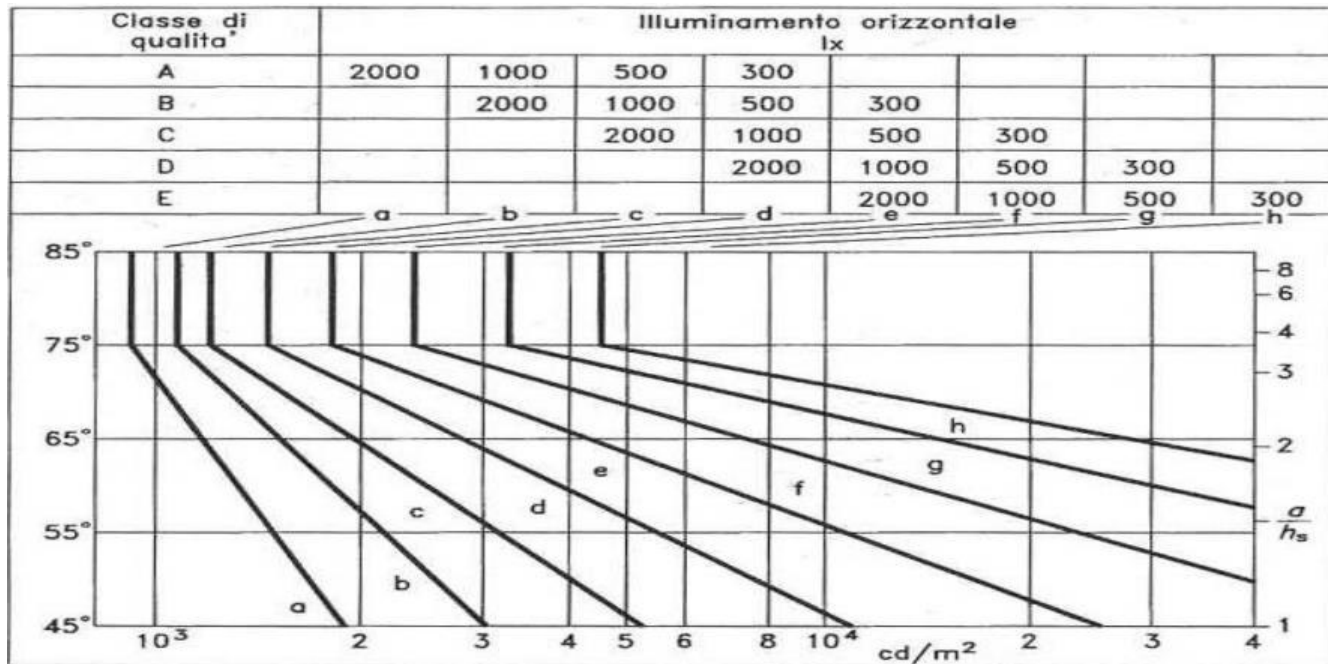
Curva limite di luminanza per apparecchi luminosi senza bordi luminosi e per apparecchi con bordi luminosi disposti parallelamente alla direzione di osservazione



Confort Visivo

Curva limite di luminanza B

Curve limite di luminanza per apparecchi **con bordi laterali luminosi**, o di quelli “lineari” con bordi laterali luminosi paralleli alla direzione di osservazione



Efficientamento impianti di illuminazione

Vantaggi Economici dell'utilizzo tecnologia LED:

- ✓ **maggior rendimento luminoso:** il miglior rapporto lm/W consente di ottenere, a parità di flusso luminoso e a parità di ore di utilizzo un minor fabbisogno di energia e, quindi, una riduzione dei costi legati all'utilizzo dell'energia elettrica;
- ✓ **maggior durata dei moduli** a led (4-5 volte superiore alle altre tecnologie con cui si realizzano sorgenti luminose) e, questo consente una riduzione anche dei costi di manutenzione;
- ✓ **Utilizzo dei sensori di presenza** per spegnere automaticamente le luci quando non servono dal momento che l'accensione del LED è immediata ed il flusso luminoso emesso va rapidamente a regime;
- ✓ **emissione solo nel semispazio frontale:** per cui tutta la luce emessa può raggiungere le superfici da illuminare o le zone dove svolgere il compito visivo. Il rendimento ottico è prossimo al 100% e questo migliora ulteriormente il rendimento complessivo dei sistemi di illuminazione a LED.
- ✓ **flusso assorbito dalle ottiche negli apparecchi LED è molto minore che negli apparecchi tradizionali.** Il controllo di digrammi di intensità luminosa degli apparecchi a LED avviene utilizzando sistemi ottici come lenti o parabole, che però non sono chiamate a recuperare la luce emessa verso l'interno dell'apparecchio dalla sorgente e dunque.

Efficientamento impianti di illuminazione

Vantaggi Funzionali dell'utilizzo tecnologia LED

- ✓ **flusso luminoso facilmente regolabile (I LED sono dimmerabili)** e questo contribuisce ad un ulteriore risparmio energetico oltreché migliorare il confort visivo dell'utilizzatore;
- ✓ **alti indici di resa cromatica**, benché risulti ancora penalizzato il colore rosso;
- ✓ **non emettono UV**, dannosi per la salute, e non emettono (frontalmente) nell'infrarosso, diminuendo il calore irradiato.

Efficientamento impianti di illuminazione

Vantaggi Ambientali dell'utilizzo tecnologia LED

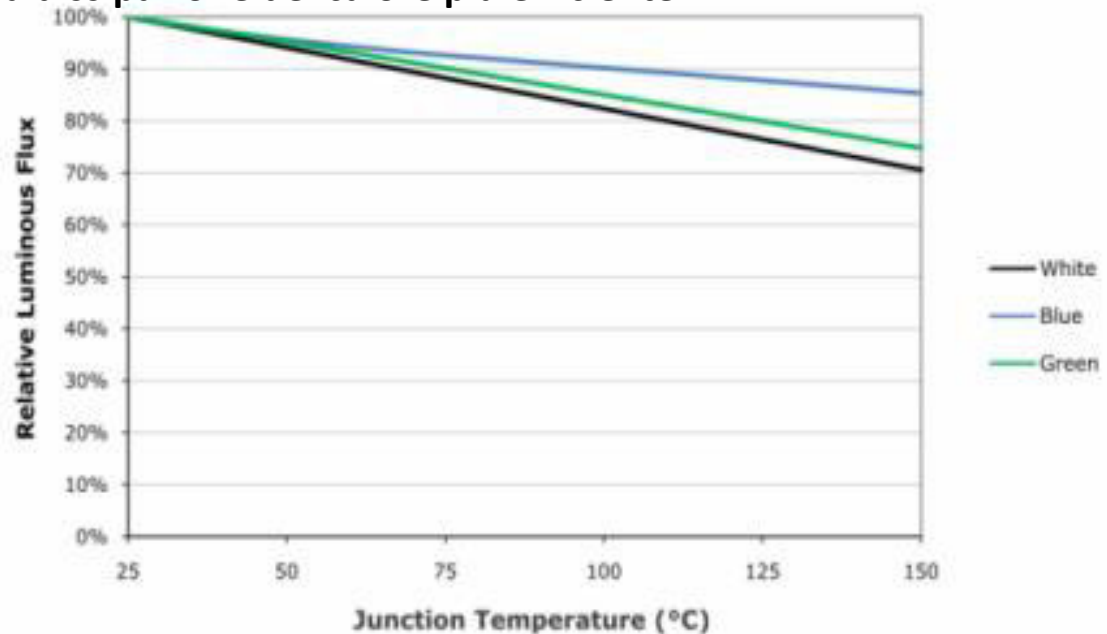
- ✓ **tempi di vita maggiori** riducono il numero di sostituzioni di lampade e, non dovendo smaltire le lampadine, si riduce la produzione di rifiuti;
- ✓ **minor consumo di energia** si ripercuote in modo positivo sui consumi di energia primaria e di materie prime consumate per la produzione dell'energia;
- ✓ **assenza di mercurio e ioduri** che comporta, di nuovo, un minor impatto ambientale ed uno smaltimento più sicuro;
- ✓ **riciclabilità** dei componenti che sono trattati come rifiuti elettronici.



Efficientamento impianti di illuminazione

Precauzioni

- ✓ la vita delle lampade a LED è fortemente ridotta se la lampada lavora a **temperature superiori rispetto a quelle specificate**;
- ✓ il **rendimento luminoso decresce** in modo significativo se la temperatura aumenta;
- ✓ molto importante una **corretta dissipazione** dei moduli all'interno dell'apparecchio;
- ✓ in caso di sostituzione di sorgenti luminose esistenti con sorgenti a LED si deve tenere conto che il modulo a **LED richiede una dissipazione del calore più efficiente**.



Efficientamento impianti di illuminazione

Esempio

Si prenda a riferimento una lampada ai vapori di sodio con rendimento luminoso pari a 160 lm/W.

Si assuma che il rendimento ottico dell'apparecchio di illuminazione sia 0,7 e si consideri che il circuito di alimentazione della lampada abbia un rendimento del 90%.

il rendimento effettivo dell'apparecchio illuminante, a causa della sua ottica è

$$\eta_{OTT} = 160 \cdot 0,7 = 112 \text{ lm/W}$$

A causa delle perdite nell'alimentatore il rendimento si riduce ulteriormente a

$$\eta_{OTTICA+ALIM.} = 112 \cdot 0.9 \approx 101 \text{ lm/W}$$

Nota: in effetti basta fare $0.7 \cdot 0.9 = 0.63$ per rendersi conto di come l'effetto combinato di ottica dell'apparecchio illuminante ed alimentatore riducano significativamente il valore del rendimento effettivo rispetto a quello nominale della lampada

Efficientamento impianti di illuminazione

Esempio

$$\eta_{OTTICA+ALIM.} = 112 \cdot 0.9 \approx 101 \text{ lm/W}$$

Prendendo in considerazione un sistema di illuminazione a LED che, tutto incluso, ha un rendimento pari a 120 lm/W si capisce il vantaggio apportato da questa soluzione:

A parità di flusso luminoso emesso e a parità di ore di accensione, la lampada richiede una energia che, in proporzione, a quella della lampada a vapori di sodio è

$$W_{LED} (\%) = \frac{101}{120} \cdot 100 = 84,17 \%$$

che significa un **risparmio del 15,83 %** dei costi in fattura elettrica a parità di ore di funzionamento.

Ulteriori vantaggi economici devono essere, poi, ricercati fra quelli detti in precedenza.

Relamping o nuovi apparecchi a LED

In un intervento di efficientamento il caso più frequente è quello di imbattersi in impianti di illuminazione esistenti, realizzati con sorgenti luminose basate su tecnologie meno efficienti dei LED, che, tuttavia, sono ancora funzionanti.

Volendo utilizzare i LED si presentano due possibilità.

1) **RELAMPING**

Sostituzione delle sorgenti luminose (lampade, tubi, bulbi etc.) con sorgenti luminose a LED di dimensioni analoghe e con stessi attacchi (vedi Appendice A), quindi con sorgenti a LED meccanicamente ed elettricamente compatibili con le vecchie.

2) **RETROFIT**

Sostituzione degli interi apparecchi di illuminazione esistenti con nuovi apparecchi LED

Spesso i produttori forniscono soluzioni che facilitano il cambio degli apparecchi, come speciali staffe di aggancio che rendono i nuovi apparecchi anche meccanicamente compatibili con i vecchi, oppure sistemi semplificati per elettrificare i nuovi apparecchi.

Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING

Con il relamping si corre il rischio che alcuni interventi vadano a toccare la struttura dell'apparecchiatura certificata, e, pertanto dovrebbero essere effettuati esclusivamente dal costruttore.

Questo è un punto controverso, in quanto sugli impianti si incontrano molto spesso casi di modifiche apportate “sul campo” alle apparecchiature che, nella migliore delle ipotesi sono state certificate dall'installatore che ha eseguito l'intervento.

Ad esempio, in caso di relamping, la sostituzione è molto agevole per lampade a bulbo alimentate alla tensione di rete senza alimentatori (lampade ad incandescenza e alogene a 230 V) con attacchi E27, E14, R7S, GU10 etc. I

n questo caso è sufficiente ed immediata la sostituzione della lampada e, tipicamente non ci sono interventi aggiuntivi ulteriori.



Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING Alogene bassissima tensione

In caso di lampade alogene funzionanti a 24 V (solitamente con attacco “bispina” G4 o G10) teoricamente la situazione è analoga a quella precedentemente descritta, ma, in pratica, se il trasformatore che abbassa la tensione da 230 V a 24 V è elettronico, le equivalenti lampade a LED possono funzionare in modo anomalo.

Spesso il problema si risolve sostituendo il trasformatore elettronico con uno ferromagnetico: oltre alle lampade si deve cambiare il trasformatore con uno meno efficiente.

Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING Fluorescenti / Lampade a Scarica

fluorescenti compatte con la parte elettronica contenuta nella base della sorgente (questo si verifica con lampade con attacchi E27 ed E14) la situazione è analoga a quella descritta sopra per le lampade ad incandescenza e alogene.

Tuttavia, se le lampade fluorescenti compatte hanno la **parte elettronica di alimentazione non inclusa** (questo è il caso, ad esempio, di lampade con attacco tipo G24 o G23) l'installazione della lampada a LED richiede che il cablaggio dell'apparecchio di illuminazione sia modificato.

Lo stesso avviene nel caso di **tubi fluorescenti lineari**: indipendentemente dal fatto che essi siano di tipo T8 o T5 etc. il cablaggio dell'apparecchio di illuminazione deve essere modificato per consentire il funzionamento della nuova lampada a LED.

Infine, la stessa situazione si verifica quando si ha a che fare con lampade a scarica che, in origine richiedono un sistema di alimentazione che, invece, con la lampada a LED non serve.

Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING vs RETROFIT

Si deve poi tenere conto che in caso di relamping, il risparmio che si consegue è dovuto alla riduzione della potenza assorbita e all'aumento di vita media delle nuove lampadine, mentre il resto dell'impianto e, in particolare gli apparecchi di illuminazione restano sostanzialmente gli stessi ed il loro stato di invecchiamento può limitare l'efficacia economica dell'investimento sostenuto per cambiare le sole lampade.

Nel caso di retrofit, invece, si azzerà l'anzianità di servizio dell'impianto.

Aspetto molto spesso trascurato nel relamping è il fatto che **l'ottica dell'apparecchio di illuminazione** resta la stessa, ma era stata studiata per un tipo di lampada con diagrammi polari di radiazione sostanzialmente diversi rispetto a quelli della lampada a LED che si va ad utilizzare.

Questo rischia di compromettere parte del risparmio perché l'efficienza dell'ottica dell'apparecchio penalizza anche la lampada a LED ma, soprattutto, si rischia di compromettere in modo importante il progetto illuminotecnico non tanto in termini di illuminamento medio ma, piuttosto in termini di uniformità dell'illuminamento.



Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING vs RETROFIT

Un altro aspetto da prendere in considerazione, e che non è facile stimare, è il **comportamento termico** della nuova sorgente a LED che deve essere compatibile con l'apparecchio di illuminazione nel quale viene installata: l'apparecchio illuminante deve essere in grado di dissipare in modo adeguato il calore prodotta dal LED per evitare che esso vada a funzionare a temperature troppo elevate.

L'intervento di retrofit, cioè la sostituzione degli apparecchi vecchi con dei nuovi, senza modificare l'impianto, porta senz'altro ad un risparmio energetico, e, inoltre, consente l'impiego di **apparecchi con fasci più adatti all'applicazione**, se necessario permette di migliorare la resa dei colori e, infine, può consentire anche **l'adeguamento normativo dell'impianto**.

La maggiore sicurezza può essere ripagata dal risparmio di gestione che si ottiene con la installazione di apparecchi di illuminazione più efficienti sia da un punto di vista elettrico che dal punto di vista ottico.



Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING vs RETROFIT

Dal punto di vista della ricaduta sulle **linee elettriche** e delle condizioni di funzionamento termico dei quadri elettrici, il **relamping è sempre “benefico”** perché le lampade a LED sostitutive consumano complessivamente meno di quelle presenti in origine: l'impianto elettrico, dopo il relamping lavora con correnti minori rispetto a prima, dato che la potenza assorbita dalle lampade a LED è certamente inferiore a quella per cui le linee e gli interruttori sul quadro erano stati dimensionati.

Le **stesse considerazioni valgono nel caso del retrofit**: il cambio degli apparecchi vecchi con nuovi più efficienti può contribuire a ridurre l'impegno complessivo di potenza a parità di illuminamento ottenuto: al migliore rendimento luminoso della lampada (rapporto lm/W più elevato) si aggiunge un miglior rendimento ottico derivante dal fatto che il nuovo apparecchio e la sua ottica sono studiati in origine dal costruttore per la nuova sorgente a LED.



Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING vs RETROFIT

La minor potenza richiesta dagli impianti a LED lascia abbondanti margini per integrare l'impianto di illuminazione **inserendo un maggiore numero di corpi illuminanti**, nel caso in cui, per motivi funzionali o normativi, si decida o sia necessario aumentare il livello di illuminamento o migliorare la sua uniformità.

Un **beneficio comune** ai due interventi qui presi in considerazione è il risparmio economico derivante dall'allungamento degli intervalli fra un intervento di manutenzione e l'altro, dal momento che la vita media delle lampade a LED è molto lunga (50.000 ore corrispondono a 10 anni per un impianto in cui la lampada funziona 5000 ore l'anno) e, quindi, quando la lampada raggiunge il suo fine vita è, probabilmente conveniente, cambiare l'intero corpo illuminato, se nel frattempo, non è cambiata la destinazione d'uso del locale, l'attività non è cessata eccetera

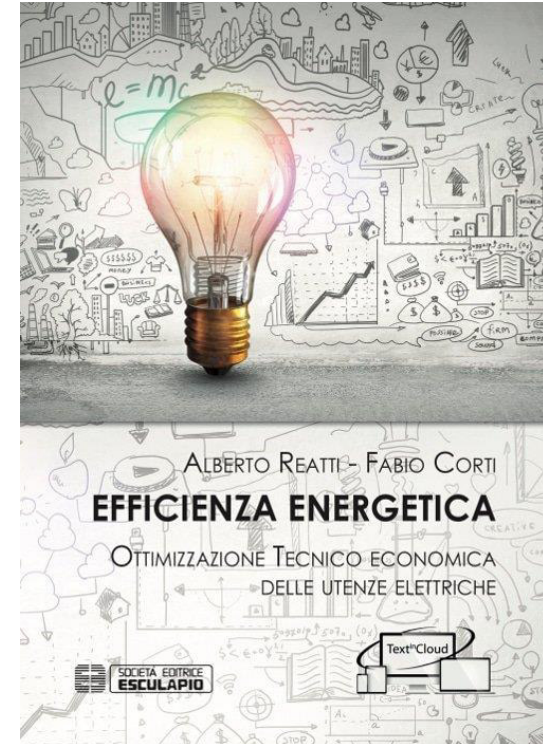
Ovviamente, la buona pratica richiede che si consideri comunque un minimo di attività di sorveglianza sugli impianti, anche in presenza di illuminazione a LED, per verificare lo stato degli apparecchi e per provvedere alla loro pulizia, il tutto al fine di mantenere in efficienza l'impianto e **garantire la sua sicurezza di esercizio**.

Relamping o nuovi apparecchi a LED

1) RELAMPING vs RETROFIT

In Appendice B del testo è riportato il metodo del flusso totale che è utile al fine di determinare quale sia il flusso dei nuovi apparecchi per garantire la prestazione che si vuole ottenere.

Questo metodo è senz'altro semplice ed è accurato per installazioni con disposizione regolare degli apparecchi, tutti alla stessa altezza. In ogni caso, è sempre bene utilizzare software di progettazione illuminotecnica.



Valutazione della convenienza dell'installazione di LED

I vantaggi economici dovuti alla minore energia assorbita ed ai minori costi di manutenzione costituiscono un flusso di cassa utile ai fini della valorizzazione economica di un intervento di relamping o di retrofit

Il flusso di cassa si ricava (a parità di flusso luminoso) partendo da:

$$P_L(W) = \frac{\Phi_L}{\eta_{lum}}$$

Per un corpo illuminato, in cui sono montate N_L lampade uguali, tenuto conto dell'efficienza ottica, si ha

$$P_{C_ILL}(W) = N_L \frac{\Phi_L}{\eta_{lum}} = N_L \frac{1}{\eta_{OTT}} \frac{1}{\eta_{lum}} \Phi_U = N_L \frac{1}{\eta_{L_TOT}} \Phi_U$$

Valutazione della convenienza dell'installazione di LED

Risparmio di energia

$$\Delta E_{\text{assorbita}} \text{ (kWh)} = h \cdot \Delta P_{C_ILL} = h \cdot (P_1 - P_2) = h \cdot \left(\frac{\Phi_{UTOT}}{\eta_{OTT_1} \cdot \eta_{lum_1}} - \frac{\Phi_{UTOT}}{\eta_{OTT_2} \cdot \eta_{lum_2}} \right)$$

Dove:

$$\eta_{L_TOT_1} = \eta_{lum_1} \cdot \eta_{OTT_1}$$

Rendimento dell'apparecchio vecchio (minore):

$$\eta_{L_TOT_2} = \eta_{lum_2} \cdot \eta_{OTT_2}$$

Rendimento dell'apparecchio nuovo (maggiore):

$$N_L \Phi_U$$

Flusso luminoso totale delle N_L lampade dell'apparecchio

$$h$$

Ore annue di funzionamento dell'apparecchio (ore in cui sta acceso)

$$C_{kWh\text{e}}$$

Costo unitario del KWh elettrico

Valutazione della convenienza dell'installazione di LED

Flusso di cassa (1 apparecchio)

$$FC_{1A} (\text{€}) = h \cdot c_{kWhe} \cdot \Delta P_{C_ILL} = h \cdot c_{kWhe} \cdot \Phi_{UTOT} \left(\frac{1}{\eta_{OTT_1} \cdot \eta_{lum_1}} - \frac{1}{\eta_{OTT_2} \cdot \eta_{lum_2}} \right)$$

Dove:

$$\eta_{L_TOT_1} = \eta_{lum_1} \cdot \eta_{OTT_1}$$

Rendimento dell'apparecchio vecchio (minore):

$$\eta_{L_TOT_2} = \eta_{lum_2} \cdot \eta_{OTT_2}$$

Rendimento dell'apparecchio nuovo (maggiore):

$$\Phi_{UTOT}$$

Flusso luminoso totale delle dell'apparecchio

$$h$$

Ore annue di funzionamento dell'apparecchio (ore in cui sta acceso)

$$c_{kWhe}$$

Costo unitario del KWh elettrico

Valutazione della convenienza dell'installazione di LED

Flusso di cassa

Se in un impianto abbiamo apparecchi di illuminazione uguali la (18) si estende a

$$FC_{1A} (\text{€}) = N_A \cdot h \cdot c_{kWh} \cdot \Delta P_{C_ILL} = N_A \cdot h \cdot c_{kWh} \cdot \Phi_{UTOT} \left(\frac{1}{\eta_{OTT_1} \cdot \eta_{lum_1}} - \frac{1}{\eta_{OTT_2} \cdot \eta_{lum_2}} \right)$$

Dove:

N_A

Numero di apparecchi modificati

Se si vuole valutare il flusso di cassa generato dal risparmio di energia elettrica per un impianto costituito da apparecchi di illuminazione **diversi**, il flusso di cassa complessivo è dato dalla somma di K termini come sopra dove K il numero di tipologie di apparecchi di illuminazione presenti nell'impianto.



Attualizzazione dell'Investimento

Rendimento (Valutazione Preliminare)

Le espressioni sopra dette definiscono il risparmio che una determinata iniziativa (la sostituzione delle lampade) permette di conseguire annualmente.

Per ottenere tali benefici si deve metter in atto un investimento che rappresenta un costo che da detrarre ai benefici.

Detto:

R = risultato dell'operazione

$$R = \sum_{j=1}^N FC_j - I_{Iniziale}$$

$I_{Iniziale}$ Investimento iniziale per attuare l'iniziativa

FC_j Flussi di cassa annuali (per noi il risparmio annuo)

N Anni sui cui si valuta l'iniziativa

Se tale operazione dopo un certo numero di anni non dà risultato positivo l'investimento sostenuto non è ripagato dai benefici.

Viceversa, se dopo un certo numero non elevato di anni il valore del risultato è positivo, l'investimento è giustificato dai risultati che permette di ottenere

Attualizzazione dell'Investimento

Rendimento (Valutazione Preliminare)

R = risultato dell'operazione

$$R = \sum_{j=1}^N FC_j - I_{Iniziale}$$

Sicuramente si parte da un valore di R negativo (i benefici si vedono nel tempo, ma l'investimento va sostenuto subito) e si potrebbe affermare che il numero di anni che occorre perché la somma dei benefici azzeri R sia il tempo di ritorno dell'investimento (o payback time).

Il **PROBLEMA di questo approccio** è legato al fatto che il beneficio conseguito dopo il primo anno vale quanto quello conseguito dopo un certo numero di anni e questo, si sa, non essere corretto.



Attualizzazione dell'Investimento

Attualizzazione

Si rende necessario correggere l'espressione in esame aggiungendo un coefficiente correttivo, un peso che differenzi le entrate dei vari anni che è il coefficiente di attualizzazione

$$C_A = \frac{1}{(1+i)^n}$$

i = interesse

n = numero dell'anno di riferimento



Attualizzazione dell'Investimento

Attualizzazione

$$C_A = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Esempio

se $i = 0,05$ (5%) ed $n=10$

$C_A = 0,621$.

Sapendo di potere disporre di 10000€ fra 10 anni, volendo cedere a terzi questa “opportunità” oggi, assunto un interesse del 5%, l’importo di questo potenziale, vale, oggi 6210 €.

Se $n=5$,

$C_A = 0,784$.

Una opportunità di 10000 € che si attua dopo 5 anni permette una valorizzazione a 7840 €.

Più l’opportunità si avvicina nel tempo e più tende a valere 1.

Sulla base di questo esempio, i flussi di cassa detti essere pesati: quelli più vicini sono pesati con un coefficiente prossimo all’unità mentre quelli più lontani sono pesati con coefficienti via via decrescenti.

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale

Più l'opportunità si avvicina nel tempo e più tende a valere 1.

Sulla base di questo esempio, i flussi di cassa detti essere pesati: quelli più vicini sono pesati con un coefficiente prossimo all'unità mentre quelli più lontani sono pesati con coefficienti via via decrescenti.

$$VA = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j$$



Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

esempio,

flussi di cassa per 5 anni di valore:

$$FC_j = \begin{cases} 10000 & \text{anno 1} \\ 8000 & \text{anno 2} \\ 12000 & \text{anno 3} \\ 14000 & \text{anno 4} \\ 9000 & \text{anno 5} \end{cases}$$

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{\text{iniziale}} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{\text{iniziale}}$$

esempio,

flussi di cassa per 5 anni di valore:

$$FC_j = \begin{cases} 10000 & \text{anno 1} \\ 8000 & \text{anno 2} \\ 12000 & \text{anno 3} \\ 14000 & \text{anno 4} \\ 9000 & \text{anno 5} \end{cases}$$

La sommatoria “senza pesi”, ossia a costo nullo del capitale, degli importi porterebbe a dire che dopo 5 anni, il flusso di cassa cumulato è pari a 53000 €

SE a costo del capitale pari all'8% ($i=0,08$)

$$CA_j = \begin{cases} 0,926 & \text{anno 1} \\ 0,857 & \text{anno 2} \\ 0,794 & \text{anno 3} \\ 0,735 & \text{anno 4} \\ 0,681 & \text{anno 5} \end{cases}$$

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

esempio,

$$FC_j = \begin{cases} 10000 & \text{anno 1} \\ 8000 & \text{anno 2} \\ 12000 & \text{anno 3} \\ 14000 & \text{anno 4} \\ 9000 & \text{anno 5} \end{cases}$$

Se attualizzato diventa

$$FCA_j = \begin{cases} 10000 \cdot 0,926 = 9259 & \text{anno 1} \\ 8000 \cdot 0,857 = 6858 & \text{anno 2} \\ 12000 \cdot 0,794 = 9526 & \text{anno 3} \\ 14000 \cdot 0,735 = 10290 & \text{anno 4} \\ 9000 \cdot 0,681 = 6125 & \text{anno 5} \end{cases}$$

la cui somma vale 42059 €

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{\text{iniziale}} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{\text{iniziale}}$$

esempio,

$$FCA_j = \begin{cases} 10000 \cdot 0,926 = 9259 & \text{anno 1} \\ 8000 \cdot 0,857 = 6858 & \text{anno 2} \\ 12000 \cdot 0,794 = 9526 & \text{anno 3} \\ 14000 \cdot 0,735 = 10290 & \text{anno 4} \\ 9000 \cdot 0,681 = 6'125 & \text{anno 5} \end{cases}$$

L'investimento iniziale che consente di ottenere i flussi di cassa sopra detti ammonta a 22000 €

$$VAN_j = \begin{cases} -12'740.74 & \text{anno 1} \\ -5'882.03 & \text{anno 2} \\ 3'643.96 & \text{anno 3} \\ 13'934.37 & \text{anno 4} \\ 20'059.62 & \text{anno 5} \end{cases}$$

Se o Quando il VAN è maggiore di zero vuole dire che l'investimento è conveniente, si deve, poi valutare in funzione dei parametri aziendali "quanto" lo è in termini di flusso di cassa generato.

Se il VAN è negativo i flussi di cassa non ripagano l'investimento.

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

Differenza Investimento	22000.00				
Interesse	0.08				
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5
Risparmio (FC_j)	10000.00	8000.00	12000.00	14000.00	9000.00
FC Cumulato	10000.00	18000.00	30000.00	44000.00	53000.00
CA_j	0.926	0.857	0.794	0.735	0.681
FCA_j Attualizzato	9'259	6'859	9'526	10'290	6'125
FC Cumulato Attualizzato	9259.26	16117.97	25643.96	35934.37	42059.62
VAN	-12740.74	-5882.03	3643.96	13934.37	20059.62

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{\text{iniziale}} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{\text{iniziale}}$$

Può essere utilizzata anche per confrontare due tipi di investimento.

Si supponga di prendere in considerazione due tipologie di tecnologia (in riferimento a questo capitolo, due diverse tecnologie di lampade) e siano

- C_{EN_1} = costo annuo dell'energia per alimentare il tipo 1 di lampade, meno efficiente;
- I_{IN_1} = investimento iniziale per installare il tipo 1 di lampade, meno efficiente;
- C_{EN_2} = costo annuo dell'energia per alimentare il tipo 2 di lampade, più efficiente;
- I_{IN_2} = investimento iniziale per installare il tipo 2 di lampade, meno efficiente.

Se il tipo 2 è più efficiente del tipo 1, il flusso di cassa è dato da

$$FC_j = \Delta C_{EN} = C_{EN_1} - C_{EN_2}$$



Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

$$FC_j = \Delta C_{EN} = C_{EN_1} - C_{EN_2}$$

Nel calcolo del VAN si deve considerare la differenza dell'investimento (presumibilmente la tecnologia più efficiente richiede un investimento maggiore rispetto a quella con cui è confrontata):

$$VAN = \left[\sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} \Delta C_{ENj} \right] - \Delta I_{IN} = \left[\sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} (C_{EN_1j} - C_{EN_2j}) \right] - (I_{IN_2} - I_{IN_1})$$



Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

Una delle voci che è meno facile stimare è l'interesse.

Si tratta di un parametro non reperibile in letteratura, ma fa riferimento al committente in funzione di una serie di fattori quali:

- disponibilità o meno di capitale per affrontare l'investimento,
- necessità di rivolgersi ad istituti di credito;
- sia disponibilità di capitale immobilizzato per effettuare l'investimento che richiede di procedere ad un disinvestimento.

In genere i dati relativi all'esplosione finanziaria sono informazioni note al direttore finanziario che ha lo stato delle esposizioni aggiornato.

Se per affrontare l'investimento di efficientamento si fa ricorso ad un prestito dedicato, senza andare a toccare l'esposizione pregressa (noleggio operativo) il valore di «*i*» è quello del costo del denaro preso in prestito.



Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{\text{iniziale}} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{\text{iniziale}}$$

Se l'investimento realizzato con capitale proprio si devono valutare i rendimenti di detti capitali e, di nuovo, questi dati sono noti alla direzione finanziaria dell'azienda.

In questo caso il tasso prescelto è quello dell'investimento in essere e che si decide di “smontare” per liberare il capitale necessario all'investimento.

Dal momento che si rinuncia ad una remunerazione in favore di un'alternativa che promette una remunerazione migliore, in questi casi, si parla di “costo opportunità” piuttosto che di “costo del capitale”.

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

Come tasso di attualizzazione è possibile utilizzare:

Il calcolo del **WACC** (Weighted Average Cost of Capital)

il costo medio ponderato del capitale permette a un'impresa o a un investitore di stabilire il costo del capitale analizzandone tutte le componenti e quindi permette di discriminare tra un rendimento atteso accettabile o meno di un investimento.

Il WACC è infatti un elemento integrale e fondante del metodo DCF (Discounted Cash Flow), uno dei più impiegati per la valutazione del valore di un'impresa.

Per uno specifico investimento di una determinata azienda è un calcolo oneroso che comporta notevoli conoscenze economiche.

Attualizzazione dell'Investimento

Valore Attuale Netto (VAN) – Net Present Value NPV

$$VAN = VA - I_{\text{iniziale}} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{\text{iniziale}}$$

Come tasso di attualizzazione è possibile utilizzare:

Il **CAPM (Capital Asset Pricing Model)** è un modello matematico della teoria di portafoglio (H. Markowitz) pubblicato da William Sharpe nel 1964, che determina una relazione tra il rendimento di un titolo e la sua rischiosità, misurata tramite un unico fattore di rischio, detto beta.

In tale mondo, investendo in un titolo, si possono incontrare due tipi di rischi: rischio diversificabile (tipo di rischio che può essere eliminato investendo in un portafoglio di attività finanziarie); rischio sistemico (tipo di rischio implicito nell'investimento di una specifica attività finanziaria, è denominato anche rischio di mercato, e non è eliminabile attraverso la diversificazione).



Attualizzazione dell'Investimento

CAPM

Il modello CAPM permette di trovare il rendimento atteso di titolo come la somma tra il tasso risk-free e un premio di rischio che esprima il rischio non diversificabile o di mercato. Il premio dipenderà molto da un coefficiente beta che misura la reattività del rendimento di un titolo ai movimenti del mercato.

Tanto maggiore è il coefficiente beta, tanto maggiore sarà il rendimento atteso dell'attività n, perchè possiede un maggior grado di rischio non diversificabile.

Un investitore esigerà quindi un rendimento atteso più elevato per detenere un'attività finanziaria più rischiosa.

Per i nostri scopi può essere utile utilizzare il metodo CAPM e in particolare la formula che tiene conto quindi del tasso per investimenti privi di rischio e anche del rischio di mercato:

$$re = rf + \beta \cdot (rm - rf)$$

re = rendimento atteso dell'attività

rf = tasso di rischio

Beta = misura del rischio sistematico di un'azione

$rm - rf$ = premio di rischio del mercato

Attualizzazione dell'Investimento

CAPM $re = rf + \beta \cdot (rm - rf)$

Anche se gli investimenti da noi proposti non riguardano propriamente la produzione, ma riguardano efficientamenti energetici volti al risparmio sui costi delle fonti di energia, **si può assumere che i flussi di cassa reali (futuri) di tali investimenti saranno uguali a quelli attesi (calcolati).**

Gli investimenti non possono cioè essere assunti come privi di rischio e non si può utilizzare come tasso di attualizzazione solo il Tasso di Interesse senza Rischio, o tasso Risk Free, il quale è un tasso di interesse relativo a investimenti in attività finanziarie considerate prive di rischio.

Questo tasso, attualmente di circa lo 0% nei paesi Europei, viene utilizzato se l'investimento è certo, ossia se ci aspetta che i flussi di cassa reali saranno uguali a quelli attesi.

Esempio: gli investimenti senza rischio vengono identificati con i titoli di Stato a breve termine, in particolare con i Buoni Ordinari del Tesoro (BOT) in Italia.

Dato che si tratta di titoli governativi è estremamente improbabile che lo Stato non adempia alle sue obbligazioni pecuniarie (a meno del default dello Stato stesso), ed il rischio di investimento viene generalmente considerato pari a zero per i titoli del Tesoro (in particolare a breve termine).

Attualizzazione dell'Investimento

CAPM $re = rf + \beta \cdot (rm - rf)$

Nel nostro caso è opportuno tenere conto **del rischio sistematico di mercato** perché ogni investimento della azienda comporta il rischio di tale settore (es. se le aziende per cui lavora dovessero essere in crisi la nostra azienda non avrebbe profitti in generale e flussi di cassa previsti per gli investimenti proposti non sarebbero simili a quelli attesi).



Attualizzazione dell'Investimento

CAPM $re = rf + \beta \cdot (rm - rf)$

Esempio di calcolo

- a) rf = tasso privo di rischio = è preso come rendimento medio ponderato annuale dei BOT 12 mesi italiano nel 2018: **0,145%**.
- b) $rm - rf$ = Premio di rischio del mercato = (riferimento dell'esempio: settore alta moda) **7%**
- c) Il beta è una misura della volatilità di un'azione data dal rapporto della volatilità del mercato o, in altre parole, rappresenta la correlazione fra il rendimento di un titolo e il rendimento del mercato. Il calcolo consiste nel dividere la covarianza del rendimento dell'azione col rendimento del mercato per la varianza del rendimento del mercato. In questo caso 0.99

$$re = rf + \beta \cdot (rm - rf) = 0,00145 + 0.99 \cdot 0,07 \approx 0.07$$



Attualizzazione dell'Investimento

TIR Tasso Interno di rendimento – IRR Internal Rate of Return

Il TIR è il tasso di interesse che annulla il VAN.

Valore di «i» che si ricava dalla ponendo il VAN uguale a zero:

$$0 = VA - I_{Iniziale} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{(1+i)^j} FC_j - I_{Iniziale}$$

Sono redditizi investimenti il cui tasso di interesse è superiore al tasso di interesse reale

Esempio Risparmio

Si prenda in considerazione l'impianto di illuminazione di un ristorante costituito da:

- 200 lampade alogene da 100 W con attacco E27 montate in lampadari a soffitto per illuminare la sala da pranzo
- 50 lampade a fluorescenza compatte, da 15 W con attacco E27 montate in applique a muro per illuminare i locali attigui alla sala.

Il ristorante è aperto solo la sera, 6 giorni a settimana tutto l'anno.

Ipotizziamo un orario di accensione delle luci dalle 18 alla 1 di notte (non si distingue fra estate inverno perché si assume che le luci siano accese anche in presenza di luce esterna)
le lampade sono accese 5 ore al giorno,
30 ore a settimana, e, quindi, **1560 h/anno**.

Esempio

1560 h/anno.

200 lampade alogene da 0,100 kW sala da pranzo

50 lampade a fluorescenza compatte, da 0,015 W locali attigui alla sala.

L'energia annuale assorbita da queste lampade è data da

$$W_{el_2} \text{ (kWh)} = h(N_{ALO}P_{ALO} + N_{FLUO}P_{FLUO}) = 1560 \cdot (200 \cdot 0,1 + 50 \cdot 0,015) = 1560 \cdot 20,750 = 32370 \text{ kWh}$$

supponendo che il costo annuo dell'energia in carico al ristorante sia di **0,22 €/kWh**, il costo in fattura elettrica corrispondente a tale consumo è pari a

$$C_{el_1} = 32370 \cdot 0,22 = 7121,4 \text{ €} = 6864 + 257,4 \text{ €}$$

Nella seconda parte della somma si sono separati i costi dovuti alle lampade alogena da quelli determinati dai tubi fluorescenti.

Esempio

I rendimenti luminosi delle tipologie di lampada da considerare sono

Tipo Lampada	Attacco	Potenza (W)	Rendimento luminoso (lm/W)	Flusso (lm)
Alogena	E27	100	14	1400
Fluorescente	E27	15	60	900

Non c'è necessità di modificare cablaggi degli apparecchi illuminanti e, quindi, si opta per un relamping con lampade a LED a bulbo.



A65 - E27 Bulb

15W VT-2015

4453 3000K Warm White
4454 4000K Day White
4455 6400K White

EAN Code

3800157608091
3800157608107
3800157608114



EQ. Watts:	100W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1500lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		



A65 - E27 Bulb

17W VT-2017

4456 3000K Warm White
4457 4000K Day White
4458 6400K White

EAN Code

3800157608121
3800157608138
3800157608145



EQ. Watts:	125W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1800lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		

Esempio

I rendimenti luminosi delle tipologie di lampada da considerare sono

Tipo Lampada	Attacco	Potenza (W)	Rendimento luminoso (lm/W)	Flusso (lm)
Alogena	E27	100	14	1400
Fluorescente	E27	15	60	900

Non c'è necessità di modificare cablaggi degli apparecchi illuminanti e, quindi, si opta per un relamping con lampade a LED a bulbo.

I dati delle lampade ci portano e determinare un rendimento luminoso di 100 lm/W per la prima e di 106 lm/W per la seconda.



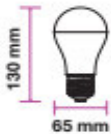
A65 - E27 Bulb

15W VT-2015

4453 3000K Warm White
4454 4000K Day White
4455 6400K White

EAN Code

3800157608091
3800157608107
3800157608114



EQ. Watts:	100W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1500lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		



A65 - E27 Bulb

17W VT-2017

4456 3000K Warm White
4457 4000K Day White
4458 6400K White

EAN Code

3800157608121
3800157608138
3800157608145



EQ. Watts:	125W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1800lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		

Esempio

I rendimenti luminosi delle tipologie di lampada da considerare sono

Tipo Lampada	Attacco	Potenza (W)	Rendimento luminoso (lm/W)	Flusso (lm)
Alogena	E27	100	14	1400
Fluorescente	E27	15	60	900

Si assume che in questo caso l'efficienza ottica degli apparecchi non cambi e non consideriamo gli effetti sul risultato finale della illuminazione della diversa curva fotometrica della lampada a LED che ha intensità luminosa quasi tutta orientata nel semipiano che comprende il bulbo opalino.



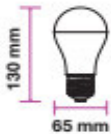
A65 - E27 Bulb

15W VT-2015

4453 3000K Warm White
4454 4000K Day White
4455 6400K White

EAN Code

3800157608091
3800157608107
3800157608114



EQ. Watts:	100W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1500lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		



A65 - E27 Bulb

17W VT-2017

4456 3000K Warm White
4457 4000K Day White
4458 6400K White

EAN Code

3800157608121
3800157608138
3800157608145



EQ. Watts:	125W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1800lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		

Esempio

I rendimenti luminosi delle tipologie di lampada da considerare sono

Tipo Lampada	Attacco	Potenza (W)	Rendimento luminoso (lm/W)	Flusso (lm)
Alogena	E27	100	14	1400
Fluorescente	E27	15	60	900

Facendo riferimento alla lampada a LED meno efficiente delle due considerate, e, quindi assumendo un rendimento luminoso di **100 lm/W**, tenuto conto che il flusso luminoso di una lampada alogena è 1400 lm

La lampada alogena può essere sostituita da una a LED da 15 W



A65 - E27 Bulb

15W VT-2015

4453 3000K Warm White
4454 4000K Day White
4455 6400K White

EAN Code

3800157608091
3800157608107
3800157608114



EQ. Watts:	100W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1500lm	Base:	E27
Commercial type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		



A65 - E27 Bulb

17W VT-2017

4456 3000K Warm White
4457 4000K Day White
4458 6400K White

EAN Code

3800157608121
3800157608138
3800157608145



EQ. Watts:	125W	PF:	>0.5
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1800lm	Base:	E27
Commercial Type:	A65	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	65mm x 130mm
CRI:	>80		

Esempio

I rendimenti luminosi delle tipologie di lampada da considerare sono

Tipo Lampada	Attacco	Potenza (W)	Rendimento luminoso (lm/W)	Flusso (lm)
Alogena	E27	100	14	1400
Fluorescente	E27	15	60	900

il flusso luminoso di una lampada
fluorescente 900 lm.

La lampada fluorescente può essere
sostituita da una a LED da 9 W.

Perché quella da 12W?



A60 - E27 Bulb

10W VT-1853

4209 3000K Warm White
4226 4000K Day White
4227 6400K White

EAN Code

3800230623591
3800230626271
3800230626288



EQ. Watts:	60W	PF:	> 0.5
Voltage/Frequency:	AC: 220-240V, 50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	806lm	Base:	E27
Commercial type:	A60	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	60mm x 112mm

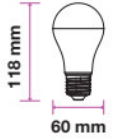
A60 - E27 Bulb

12W VT-1864

4228 3000K Warm White
4229 4000K Day White
4230 6400K White

EAN Code

3800230626295
3800230626301
3800230626318



EQ. Watts:	75W	PF:	> 0.7
Voltage/Frequency:	AC: 220-240V, 50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1055lm	Base:	E27
Commercial Type:	A60	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	60mm x 118mm
CRI:	> 80		



Esempio

I rendimenti luminosi delle tipologie di lampada da considerare sono

Tipo Lampada	Attacco	Potenza (W)	Rendimento luminoso (lm/W)	Flusso (lm)
Alogena	E27	100	14	1400
Fluorescente	E27	15	60	900

La lampada da 10 W emette un flusso che, in percentuale di quella fluorescente originale è

$$\Delta\Phi_{LED} \% = \frac{\Phi_{LED}}{\Phi_{FLUO}} \cdot 100 = 89,55\%$$



A60 - E27 Bulb

10W VT-1853

EAN Code

4209 3000K Warm White
4226 4000K Day White
4227 6400K White

3800230623591
3800230626271
3800230626288



EQ. Watts:	60W	PF:	> 0.5
Voltage/Frequency:	AC: 220-240V, 50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	806lm	Base:	E27
Commercial type:	A60	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	60mm x 112mm

Non volendo penalizzare l'illuminamento del locale, anche tenuto conto del decadimento del flusso luminoso della lampada fluorescente, si opta per la lampada da 12 W anche se il risparmio che essa permette di conseguire più limitato.



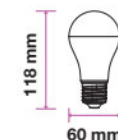
A60 - E27 Bulb

12W VT-1864

EAN Code

4228 3000K Warm White
4229 4000K Day White
4230 6400K White

3800230626295
3800230626301
3800230626318



EQ. Watts:	75W	PF:	> 0.7
Voltage/Frequency:	AC: 220-240V, 50Hz	Beam Angle:	200°
Luminous Flux:	1055lm	Base:	E27
Commercial Type:	A60	Body Type:	Thermal Plastic
LED Type:	SMD	Dimension:	60mm x 118mm
CRI:	> 80		

Esempio



A65 - E27 Bulb

15W VT-2015 EAN Cc
4453 3000K Warm White 3800157
4454 4000K Day White 3800157
4455 6400K White 3800157

EQ. Watts:	100W
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz
Luminous Flux:	1500lm
Commercial Type:	A65
LED Type:	SMD
CRI:	>80



A60 - E27 Bulb

12W VT-1864 EAN Cc
4228 3000K Warm White 3800230
4229 4000K Day White 3800230
4230 6400K White 3800230

EQ. Watts:	75W
Voltage/Frequency:	AC: 220-240V,50Hz
Luminous Flux:	1055lm
Commercial Type:	A60
LED Type:	SMD
CRI:	> 80

la nuova spesa in fattura diventa

$$C_{el_2} = 0,22 \cdot 1560 \cdot (200 \cdot 0,015 + 50 \cdot 0,012) = 1029,6 + 205,92 = 1235,52 \text{ €}$$

Risparmio (ovvero il nostro FC)

$$Risp = FC = C_{el_1} - C_{el_2} = 7121,4 - 1235,52 = 5885,88 \text{ €}$$

$$R_{ALO} = FC_{ALO} = 6864 - 1029,6 = 5834,4 \text{ €}$$

$$R_{FLUO} = FC_{FLUO} = 257,4 - 205,92 = 51,48 \text{ €}$$

Esempio



A65 - E27 Bulb

15W VT-2015 EAN Cc
4453 3000K Warm White 3800157
4454 4000K Day White 3800157
4455 6400K White 3800157

EQ. Watts:	100W
Voltage/Frequency:	AC:220-240V,50Hz
Luminous Flux:	1500lm
Commercial Type:	A65
LED Type:	SMD
CRI:	>80



A60 - E27 Bulb

12W VT-1864 EAN Cc
4228 3000K Warm White 3800230
4229 4000K Day White 3800230
4230 6400K White 3800230

EQ. Watts:	75W
Voltage/Frequency:	AC: 220-240V,50Hz
Luminous Flux:	1055lm
Commercial Type:	A60
LED Type:	SMD
CRI:	> 80

la nuova spesa in fattura diventa

$$C_{el_2} = 0,22 \cdot 1560 \cdot (200 \cdot 0,015 + 50 \cdot 0,013) = 1029,6 + 223,08 = 1252,68 \text{ €}$$

Risparmio (ovvero il nostro FC)

$$Risp = FC = C_{el_1} - C_{el_2} = 7121,4 - 1252,68 = 5868,72$$

$$R_{ALO} = FC_{ALO} = 6864 - 1029,6 = 5834,4$$

$$R_{FLUO} = FC_{FLUO} = 257,4 - 23,08 = 234,32$$

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

un impianto di illuminazione dell'area vendita di un centro commerciale, accensione luce dalle 8 alle 22 in cui sono da installare 80 apparecchi di illuminazione

due soluzioni:

- a) Sistema a LED con apparecchi costituito da apparecchi di illuminazione che montano due tubi da 1500 mm, 22 W, vita media 50.000 ore, 3000 lm per ciascun tubo (6000 lm totali), rendimento ottico praticamente unitario dal momento che tutto il flusso è diretto verso la parte inferiore del tubo.
- b) Sistema a tubi fluorescenti costituito da apparecchi di illuminazione che montano 2 tubi fluorescenti 1200 mm, 36 W, vita media della sorgente utilizzata 20.000 ore, flusso della lampada 3350 lm (6700 lm totali), ripartizione del flusso del corpo illuminante: superiore 25%, inferiore 63.4%, totale 88.5%.

Nel caso dei tubi fluorescenti si deve utilizzare un riflettore per recuperare il flusso verso l'alto che non è utile per il tipo di attività considerata. Supponendo che il riflettore abbia un rendimento del 80%, il flusso diretto verso l'alto che viene recuperato verso il basso è pari a $0,25 \cdot 0,75 = 0,18,75$, ossia (approssimando per eccesso) 18,8%, sommando questa porzione di flusso a quello che l'apparecchio emette verso il basso si ottiene un rendimento ottico pari a 82,2%.

Questo significa che il flusso utile degli apparecchi fluorescenti, che montano una sorgente in grado di emettere 6000 lm, diventa 5507 lm, che è inferiore a quella della sorgente a LED.

Si ipotizza che il corpo illuminato per la lampada a tubi fluorescenti utilizzi un reattore elettronico funzionante ad alta frequenza e, quindi, la potenza assorbita dalla rete per fare emettere al tubo fluorescente il flusso di chiarato (2250 lm) può essere inferiore alla potenza della lampada di circa un 20%.

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

un impianto di illuminazione dell'area vendita di un centro commerciale, accensione luce dalle 8 alle 22 in cui sono da installare 80 apparecchi di illuminazione

due soluzioni:

- a) Sistema a LED con apparecchi costituito da apparecchi di illuminazione che montano due tubi da 1500 mm, 22 W, vita media 50.000 ore, 3000 lm per ciascun tubo (6000 lm totali), rendimento ottico praticamente unitario dal momento che tutto il flusso è diretto verso la parte inferiore del tubo.
- b) Sistema a tubi fluorescenti costituito da apparecchi di illuminazione che montano 2 tubi fluorescenti 1200 mm, 36 W, vita media della sorgente utilizzata 20.000 ore, flusso della lampada 3350 lm (6700 lm totali), ripartizione del flusso del corpo illuminante: superiore 25%, inferiore 63.4%, totale 88.5%.

L'apparecchio di illuminazione per lampade fluorescenti assorbe dalla rete $36 \times 2 \times 0,85 = 61,2 \text{ W}$.
La potenza assorbita dal sistema di illuminazione a tubi fluorescenti pari a $61,2 \times 80 = 4,896 \text{ kW}$.

Nel caso dei LED possiamo assumere come tutto utile il flusso emesso dai tubi, inoltre, la potenza del tubo a LED comprende quella dell'elettronica montata internamente necessaria al pilotaggio dei LED. Quindi la potenza assorbita dall'impianto a LED è pari a $44 \times 80 = 3,520 \text{ kW}$

Se il centro commerciale è aperto 6 giorni su 7 con accensione 8 – 22, si parla di 14 h/giorno, 84 h/settimana e, quindi, **4369 h/anno**.

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

L'apparecchio di illuminazione per lampade fluorescenti assorbe dalla rete $36 \times 2 \times 0,85 = 61,2 \text{ W}$.

La potenza assorbita dal sistema di illuminazione a tubi fluorescenti pari a $61,2 \times 80 = 4,896 \text{ kW}$.

Nel caso dei LED possiamo assumere come tutto utile il flusso emesso dai tubi, inoltre, la potenza del tubo a LED comprende quella dell'elettronica montata internamente necessaria al pilotaggio dei LED.

Quindi la potenza assorbita dall'impianto a LED è pari a $44 \times 80 = 3,520 \text{ kW}$

Se il centro commerciale è aperto 6 giorni su 7 con accensione 8 – 22, si parla di 14 h/giorno, 84 h/settimana e, quindi, **4369 h/anno**.

Ipotizzando un costo unitario dell'energia elettrica pari a 0,2 €/kWh si ottengono i costi energetici delle due soluzioni

$$C_{FLUO} = 0,2 \cdot 4369 \cdot 4,896 = 4278,12 \text{ €/anno}$$

$$C_{LED} = 0,2 \cdot 4369 \cdot 3,52 = 3075,78 \text{ €/anno}$$

$$FC = 4278,12 - 3075,78 = 1202,34 \approx 1200$$

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

Durata Lampade

$$D_{FLUO} = \frac{20000}{4369} = 4,5 \approx 5$$

$$D_{LED} = \frac{50000}{4369} = 11,44 \approx 11$$

Se stimiamo di proiettare a 10 anni la durata del progetto si deve tenere conto di sue sostituzioni di lampade fluorescenti.

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

Investimento

Analisi Prezzi

		Apparecchio LED	Apparecchio FLUO	Lampada LED	Lampada FLUO
Costo Materiale		98.00	42.00	4.00	2.00
Tempo installazione	0.3 ore				
Costo h mano d'opera 1	35.00	10.50	10.50	8.75	8.75
Costo h mano d'opera 2	27.00	8.10	8.10	6.75	6.75
Fornitura e Posa		116.60	60.60	19.50	17.50
Spese generali	0.15	17.49	9.09	2.93	2.63
Totale costo		134.09	69.69	22.43	20.13
Utile	0.20	26.82	13.94	4.49	4.03
Totale		160.91	83.63	26.91	24.15
Imprevisti 5%	0.05	8.0454	4.1814	1.3455	1.2075
Prezzo Vendita		168.95	87.81	28.26	25.36

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

PEF 1

Piano Economico Finanziario con prezzi da analisi

Investimento LED	80	168.95	13'516.27							
Investimento Fluo	80	87.81	7'024.75							
Differenza Investimento	80	81.14	6'491.52							
Interesse	0.03									
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Risparmio FLUO 1560	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FC	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60
FC Cumulato	1'200.00	2'400.00	3'600.00	4'800.00	8'028.60	9'228.60	10'428.60	11'628.60	12'828.60	16'057.20
FA	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74
FC Attualizzato	1'165.05	1'131.12	1'098.17	1'066.18	2'785.02	1'004.98	975.71	947.29	919.70	2'402.38
FC Cumulato Attualizzato	1'165.05	2'296.16	3'394.33	4'460.52	7'245.54	8'250.52	9'226.23	10'173.52	11'093.22	13'495.60
VAN	-5'326.47	-4'195.36	-3'097.19	-2'031.00	754.02	1'759.00	2'734.71	3'682.00	4'601.70	7'004.08

Il prezzo del cambio lampada è stato stimato tenendo conto che si tratta di una operazione onerosa, che, vista l'altezza di installazione degli apparecchi, richiede l'impiego di scale o trabattelli. Ogni cambio lampada, richiede un impegno economico significativo che deve tenere conto del costo del tempo necessario per l'intervento e per la sua preparazione: sono consigliati cicli di manutenzione programmata, in modo da minimizzare tempi e costi, anche considerando che dopo un certo tempo di accensione le lampade non garantiscono più i livelli di emissione sufficienti all'illuminazione, anche se non sono bruciate.

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

PEF 1

Lo sviluppo del piano economico finanziario che confronta l'investimento relativo all'installazione di corpi illuminanti a LED con corpi illuminanti fluorescenti relativi ai due interventi è riportato nella tabella "Piano Economico Finanziario con prezzi da analisi", dove si utilizzano i prezzi della tabella "Analisi Prezzi" e si ricava un **VAN che diventa positivo al sesto anno** in corrispondenza del mancato costo per la sostituzione delle lampade fluorescenti. Poi prosegue con il suo andamento a derivata positiva e, al decimo anno il valore dell'operazione è circa pari alla differenza dell'investimento.

Piano Economico Finanziario con prezzi da analisi

Investimento LED	80	168.95	13'516.27							
Investimento Fluo	80	87.81	7'024.75							
Differenza Investimento	80	81.14	6'491.52							
Interesse	0.03									
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Risparmio FLUO 1560	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FC	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60
FC Cumulato	1'200.00	2'400.00	3'600.00	4'800.00	8'028.60	9'228.60	10'428.60	11'628.60	12'828.60	16'057.20
FA	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74
FC Attualizzato	1'165.05	1'131.12	1'098.17	1'066.18	2'785.02	1'004.98	975.71	947.29	919.70	2'402.38
FC Cumulato Attualizzato	1'165.05	2'296.16	3'394.33	4'460.52	7'245.54	8'250.52	9'226.23	10'173.52	11'093.22	13'495.60
VAN	-5'326.47	-4'195.36	-3'097.19	-2'031.00	754.02	1'759.00	2'734.71	3'682.00	4'601.70	7'004.08

Data la **scarsa differenza di costi in fattura**, la sostenibilità dell'operazione, nell'esempio considerato, si basa molto sulla **maggiore durata delle lampade a LED** e quindi, è sostenibile se le lampade, ad esempio, funzionano alla temperatura nominale e non in condizioni di surriscaldamento.

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

PEF 2 - “Piano Economico Finanziario con prezzi LED = 2.92 Prezzo Fluorescente”

Dimostra come questo sia il rapporto di prezzo per il quale il VAN si azzerava al decimo anno, a significare che un prezzo dei LED pari al 292% di quello delle lampade fluorescenti è la soglia di convenienza dell'acquisto di LED rispetto a quello di apparecchiature fluorescenti

Piano Economico Finanziario con prezzi LED = 2.92 Prezzo Fluorescente

Investimento LED	80	256.40	20'512.28							
Investimento Fluo	80	87.81	7'024.75							
Differenza Investimento	80	168.59	13'487.52							
Interesse	0.03									
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Risparmio FLUO 1560	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FC	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60
FC Cumulato	1'200.00	2'400.00	3'600.00	4'800.00	8'028.60	9'228.60	10'428.60	11'628.60	12'828.60	16'057.20
FA	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74
FC Attualizzato	1'165.05	1'131.12	1'098.17	1'066.18	2'785.02	1'004.98	975.71	947.29	919.70	2'402.38
FC Cumulato Attualizzato	1'165.05	2'296.16	3'394.33	4'460.52	7'245.54	8'250.52	9'226.23	10'173.52	11'093.22	13'495.60
VAN	-12'322.48	-11'191.36	-10'093.19	-9'027.01	-6'241.99	-5'237.01	-4'261.30	-3'314.01	-2'394.30	8.08

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

PEF 2 - “Piano Economico Finanziario con prezzi LED = 2.92 Prezzo Fluorescente”

Piano Economico Finanziario con prezzi LED = 2.92 Prezzo Fluorescente

Investimento LED	80	256.40	20'512.28							
Investimento Fluo	80	87.81	7'024.75							
Differenza Investimento	80	168.59	13'487.52							
Interesse	0.03									
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Risparmio FLUO 1560	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FC	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60	1'200.00	1'200.00	1'200.00	1'200.00	3'228.60
FC Cumulato	1'200.00	2'400.00	3'600.00	4'800.00	8'028.60	9'228.60	10'428.60	11'628.60	12'828.60	16'057.20
FA	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74
FC Attualizzato	1'165.05	1'131.12	1'098.17	1'066.18	2'785.02	1'004.98	975.71	947.29	919.70	2'402.38
FC Cumulato Attualizzato	1'165.05	2'296.16	3'394.33	4'460.52	7'245.54	8'250.52	9'226.23	10'173.52	11'093.22	13'495.60
VAN	-12'322.48	-11'191.36	-10'093.19	-9'027.01	-6'241.99	-5'237.01	-4'261.30	-3'314.01	-2'394.30	8.08

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

PEF 3 - “Piano Economico Finanziario con costi doppi in fattura elettrica”

Piano Economico Finanziario con costi doppi in fattura elettrica

Investimento LED	80	168.95	13'516.27							
Investimento Fluo	80	87.81	7'024.75							
Differenza Investimento	80	81.14	6'491.52							
Interesse	0.03									
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Risparmio FLUO 1560	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FC	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	4'428.60	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	4'428.60
FC Cumulato	2'400.00	4'800.00	7'200.00	9'600.00	14'028.60	16'428.60	18'828.60	21'228.60	23'628.60	28'057.20
FA	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74
FC Attualizzato	2'330.10	2'262.23	2'196.34	2'132.37	3'820.15	2'009.96	1'951.42	1'894.58	1'839.40	3'295.29
FC Cumulato Attualizzato	2'330.10	4'592.33	6'788.67	8'921.04	12'741.19	14'751.15	16'702.57	18'597.15	20'436.55	23'731.84
VAN	-4'161.42	-1'899.19	297.15	2'429.52	6'249.67	8'259.63	10'211.05	12'105.63	13'945.03	17'240.32

Esempio PEF (Piano Economico Finanziario)

PEF 3 - “Piano Economico Finanziario con costi doppi in fattura elettrica”

Infine, nella terza tabella “Piano Economico Finanziario con costi doppi in fattura elettrica”, sono ripetute le considerazioni della prima tabella ipotizzando un costo di 0,4 €/kWh per l’energia. Il maggior costo dell’energia fa in modo che il VAN diventi positivo già dal terzo anno e che, dopo cinque anni, raggiunga un valore circa uguale alla differenza fra l’investimento fra LED e fluorescenti.

Piano Economico Finanziario con costi doppi in fattura elettrica

Investimento LED	80	168.95	13'516.27							
Investimento Fluo	80	87.81	7'024.75							
Differenza Investimento	80	81.14	6'491.52							
Interesse	0.03									
	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10
Risparmio FLUO 1560	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2'028.60
Manutenzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FC	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	4'428.60	2'400.00	2'400.00	2'400.00	2'400.00	4'428.60
FC Cumulato	2'400.00	4'800.00	7'200.00	9'600.00	14'028.60	16'428.60	18'828.60	21'228.60	23'628.60	28'057.20
FA	0.97	0.94	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74
FC Attualizzato	2'330.10	2'262.23	2'196.34	2'132.37	3'820.15	2'009.96	1'951.42	1'894.58	1'839.40	3'295.29
FC Cumulato Attualizzato	2'330.10	4'592.33	6'788.67	8'921.04	12'741.19	14'751.15	16'702.57	18'597.15	20'436.55	23'731.84
VAN	-4'161.42	-1'899.19	297.15	2'429.52	6'249.67	8'259.63	10'211.05	12'105.63	13'945.03	17'240.32