

ILLUMINAZIONE

Evoluzione delle teorie sulla natura della luce:

- Teoria corpuscolare: Newton (XVII - XVIII sec.)
- Teoria ondulatoria: Huygens (XVII sec.), Young, Fresnel (inizi XIX sec.)
- Teoria elettromagnetica: Maxwell (2^a metà XIX sec.)
- Teoria quantistica: Planck, Einstein (inizi XX sec.)

TEORIA DI SINTESI: CONCILIAZIONE DELLE CONCEZIONI CORPUSCOLARE E ONDULATORIA

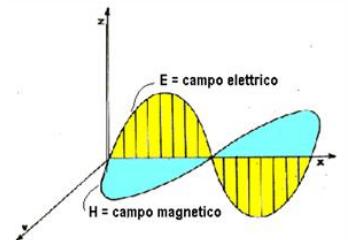
ONDA ELETTROMAGNETICA

L'onda elettromagnetica è una forma di propagazione dell'energia attraverso lo spazio generata dall'alternarsi ciclico di campi elettrici e campi magnetici.

Le grandezze che la caratterizzano sono:

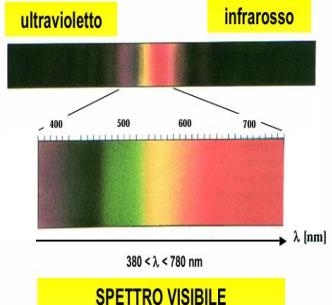
- **LUNGHEZZA D'ONDA (λ):** distanza percorsa dall'onda durante un'oscillazione completa
- **FREQUENZA (f):** numero di oscillazioni complete effettuate nell'unità di tempo
- **VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE (c):** Velocità con cui si propaga l'onda elettromagnetica
 $c = \lambda f \text{ m/s}$

$$\begin{array}{l} \text{nel vuoto} \quad \longrightarrow \quad c_0 = \lambda_0 \cdot f = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]} \\ \text{negli altri mezzi materiali} \quad \longrightarrow \quad c = \frac{c_0}{n} \end{array}$$



L'insieme delle radiazioni elettromagnetiche conosciute è rappresentato nello SPETTRO ELETTROMAGNETICO, che rappresenta l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche ordinate in base alla loro lunghezza d'onda o frequenza. Copre un'ampia gamma di energie, da quelle più basse a quelle più alte, ed è suddiviso in regioni o bande con caratteristiche specifiche.

Struttura dello spettro elettromagnetico:



1. **Onde radio** (lunghezza d'onda: >1 mm)
Bassa energia, utilizzate per telecomunicazioni (radio, TV, telefonia, radar).
2. **Microonde** (lunghezza d'onda: 1 mm - 1 cm)
Applicazioni in radar, forni a microonde, comunicazioni satellitari.
3. **Infrarosso** (lunghezza d'onda: 700 nm - 1 mm)
Rilevabile come calore. Usato in telecomandi, termografia e astronomia.
4. **Spettro visibile** (lunghezza d'onda: 380 nm - 780 nm)
È la porzione percepibile dall'occhio umano e corrisponde ai colori dal viola al rosso. Lo spettro visibile è una piccola parte dello spettro elettromagnetico, ma è fondamentale perché permette la visione e la percezione del colore da parte dell'essere umano.
5. **Ultravioletto** (lunghezza d'onda: 10 nm - 380 nm)
Ha energia sufficiente per causare effetti chimici, utilizzato nella sterilizzazione e analisi.
6. **Raggi X** (lunghezza d'onda: 0,01 nm - 10 nm)
Molto energetici, penetrano materiali densi. Usati in diagnostica medica e cristallografia.
7. **Raggi gamma** (lunghezza d'onda: <0,01 nm)
Radiazioni ad altissima energia emesse da fenomeni nucleari e cosmici.

LA LUCE COME TRASPORTO DI ENERGIA

FLUSSO ENERGETICO

Φ_e [W]

FLUSSO ENERGETICO Energia emessa, trasportata o ricevuta sotto forma di radiazione nell'unità di tempo

INTENSITÀ ENERGETICA

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega} \quad \text{[W/Sr]}$$

INTENSITÀ ENERGETICA Flusso energetico infinitesimo emesso da una sorgente puntiforme in un angolo solido infinitesimo $d\omega$ attorno ad una data direzione, diviso per l'angolo solido $d\omega$

ANGOLO SOLIDO

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad \text{[sr]}$$



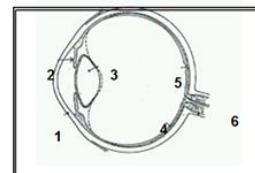
ANGOLO SOLIDO Spazio racchiuso da un cono, espresso dal rapporto tra l'area intercettata su una sfera di raggio R , avente il centro nel vertice del cono, e il raggio al quadrato

LA LUCE COME FENOMENO PERCETTIVO

L'energia raggiante luminosa stimola l'organo sensoriale della visione determinando nel soggetto una sensazione visiva.

L'occhio umano è uno strumento complesso che permette di percepire la luce e trasformarla in segnali nervosi per il cervello. La RETINA, situata nella parte posteriore dell'occhio, contiene due tipi di recettori principali:

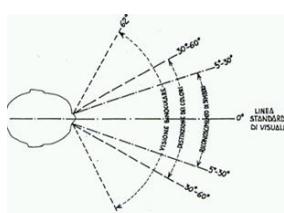
- BASTONCELLI: Sensibili alla luce debole, permettono la visione in condizioni di scarsa illuminazione (visione notturna). Non percepiscono i colori e sono concentrati nella periferia della retina.
- CONI: Attivi in condizioni di luce intensa, consentono di vedere i colori. Si trovano principalmente nella parte centrale della retina (fovea) e si dividono in tre tipi, sensibili al blu, verde e rosso.



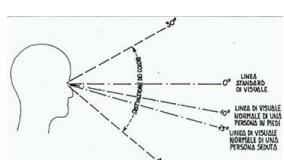
1. Cornea
2. Iride
3. Cristallino
4. Retina
5. Fovea
6. Nervo Ottico

Questi recettori lavorano insieme per adattarsi alle diverse condizioni di luminosità, garantendo sia una visione chiara di giorno che una percezione adeguata al buio.

Il campo visivo è un'estensione angolare entro la quale un oggetto può essere visto quando la testa e gli occhi stanno immobili.



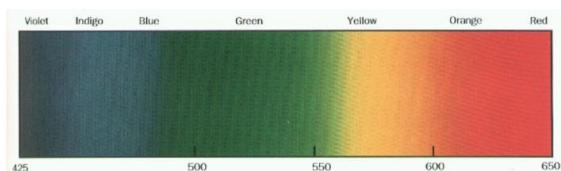
CAMPO VISIVO ORIZZONTALE: Ha un'ampiezza maggiore, arrivando fino a 180-200 gradi. Questo è possibile grazie alla disposizione laterale degli occhi, che permette di percepire ciò che accade ai lati. Tale caratteristica è particolarmente utile per rilevare movimenti laterali o pericoli nell'ambiente.



CAMPO VISIVO VERTICALE: È più ridotto, con un'ampiezza di circa 120-130 gradi. Questo è dovuto alla presenza di strutture anatomiche come la fronte e le guance, che limitano la visione verso l'alto e il basso. Tuttavia, questa estensione è sufficiente per osservare ciò che si trova sopra o sotto il livello degli occhi, come il cielo o il terreno.

LA SENSAZIONE LUMINOSA: ASPETTI QUALITATIVI

L'organo visivo è stimolato differentemente a seconda della lunghezza d'onda della radiazione incidente. La percezione dei colori è il risultato della capacità dell'occhio umano di interpretare diverse lunghezze d'onda della luce. La luce bianca (come quella del sole) è composta da un'ampia gamma di lunghezze d'onda, che il nostro sistema visivo interpreta come una varietà di colori.



Rosso: lunghezze d'onda più lunghe (circa 620-750 nm)

Verde: lunghezze d'onda medie (circa 495-570 nm)

Blu: lunghezze d'onda corte (circa 450-495 nm)

Una radiazione monocromatica è una radiazione che ha una sola lunghezza d'onda, quindi un singolo colore. Nel caso di un insieme di radiazioni monocromatiche (cioè, luce di diverse lunghezze d'onda), i colori non sono percepiti separatamente ma come un mix di tonalità. Questo mix dipende dalla combinazione delle lunghezze d'onda e dal modo in cui i nostri occhi e cervello elaborano le informazioni. Se, ad esempio, sono presenti simultaneamente una luce rossa, una verde e una blu, queste radiazioni monocromatiche vengono percepite come una combinazione di colori, che può risultare in una tinta diversa da quella che percepiremmo se vedessimo una sola radiazione monocromatica.

La luce bianca è una combinazione di radiazioni monocromatiche di diverse lunghezze d'onda che coprono una vasta gamma dello spettro visibile.

LA SENSAZIONE LUMINOSA: ASPETTI QUANTITATIVI

Per una radiazione luminosa l'intensità soggettiva è funzione sia dell'intensità energetica I_e che della lunghezza d'onda.

In particolare, a parità d'intensità energetica, essa è variabile a seconda della lunghezza d'onda. La sensibilità dell'occhio umano ai diversi colori varia, e quindi l'intensità percepita di una radiazione luminosa non è uniforme per tutte le lunghezze d'onda. Ad esempio, il nostro sistema visivo è più sensibile alle lunghezze d'onda verdi (circa 555 nm) rispetto a quelle rosse o blu.

Per caratterizzare la variabilità dell'intensità soggettiva in funzione della lunghezza d'onda, è stato determinato statisticamente un parametro chiamato FATTORE DI VISIBILITÀ (K) che descrive come la sensibilità dell'occhio umano cambi al variare della lunghezza d'onda della radiazione luminosa (quantifica quanto l'occhio è sensibile a radiazioni di diverse lunghezze d'onda per un dato livello di intensità energetica). Mostra che l'occhio umano è più sensibile a certe lunghezze d'onda (principalmente nel verde-giallo) e meno sensibile a lunghezze d'onda molto corte (come il blu-violetto) o molto lunghe (come il rosso). Questo implica che, a parità di intensità energetica, una luce verde apparirà più intensa rispetto a una luce rossa o blu.

L'intensità soggettiva della luce, quindi, non dipende solo dalla sua intensità energetica assoluta I_e ma anche dalla distribuzione spettrale della radiazione.

$$K(\lambda_1)I_e(\lambda_1) = K(\lambda_2)I_e(\lambda_2)$$

In condizioni di intensità soggettiva equivalente vale la seguente relazione: $K(\lambda_1)\Phi_e(\lambda_1) = K(\lambda_2)\Phi_e(\lambda_2)$

La visione fotopica e la visione scotopica sono due modalità di visione che si verificano in risposta a diversi livelli di illuminazione.

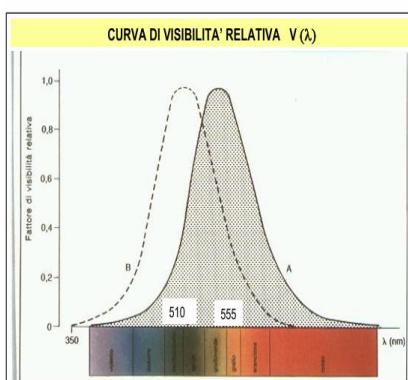
VISIONE FOTOPICA: In presenza di intensità energetiche di una certa entità (visione diurna). Il fattore di visibilità è più alto nelle lunghezze d'onda intorno ai 555 nm, che corrispondono a una luce verde, che è la lunghezza d'onda a cui i coni sono più sensibili.

VISIONE SCOTOPICA: In presenza di intensità energetiche molto scarse (visione notturna). La sensibilità massima dei bastoncelli si trova intorno ai 510 nm, una lunghezza d'onda che corrisponde al blu-verde.

massima intensità soggettiva
 $\lambda = 555 \text{ nm} \longrightarrow K(555) = K_{\max}$

massima intensità soggettiva
 $\lambda = 510 \text{ nm} \longrightarrow K(510) = K_{\max}$

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{\max}}$$



Il FATTORE DI VISIBILITÀ RELATIVO è un valore che indica quanto un determinato colore (lunghezza d'onda) contribuisce alla percezione della luminosità totale di una fonte di luce, rispetto ad altre lunghezze d'onda. In altre parole, esso quantifica la sensibilità spettrale dell'occhio umano per una determinata lunghezza d'onda rispetto ad altre lunghezze d'onda, considerando il contesto di visione.

Il valore di $V(\lambda)$ dipende dal tipo di visione che si sta considerando:

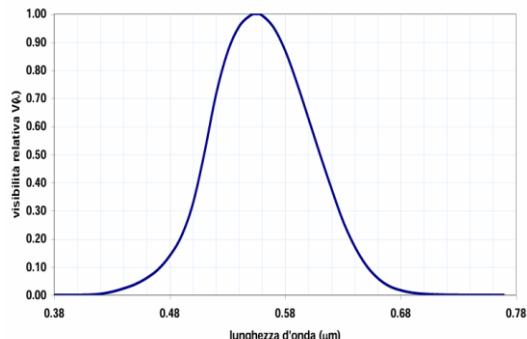
VISIONE FOTOPICA: descrive la sensibilità massima attorno a lunghezze d'onda medie, tipicamente intorno ai 555 nm (luce verde), dove l'occhio umano è più sensibile.

VISIONE SCOTOPICA: funzione di visibilità scotopica, con una sensibilità massima intorno ai 498 nm (blu-verde), poiché in queste condizioni i bastoncelli sono responsabili della visione.

Valori del fattore di visibilità relativo V in visione diurna:

λ (μm)	V	λ (μm)	V	λ (μm)	V	λ (μm)	V
0,38	0,00004	0,49	0,208	0,58	0,870	0,68	0,017
0,39	0,00012		0,323	0,59	0,757	0,69	0,0082
0,40	0,0004	0,51	0,503	0,60	0,631	0,70	0,0041
0,41	0,0012	0,52	0,710	0,61	0,503	0,71	0,0021
0,42	0,004	0,53	0,862	0,62	0,381	0,72	0,00105
0,43	0,0116	0,54	0,954	0,63	0,265	0,73	0,00053
0,44	0,023	0,55	0,995	0,64	0,175	0,74	0,00025
0,45	0,038	0,555	1,000	0,65	0,107	0,75	0,00013
0,46	0,060	0,56	0,995	0,66	0,061	0,76	0,00007
0,47	0,091	0,57	0,952	0,67	0,032	0,77	0,00003
0,48	0,139				0,78		0

Curva di visibilità fotopica:



FLUSSO LUMINOSO

Il flusso luminoso Φ è una misura della quantità di luce emessa da una sorgente, trasportata o ricevuta nell'unità di tempo.

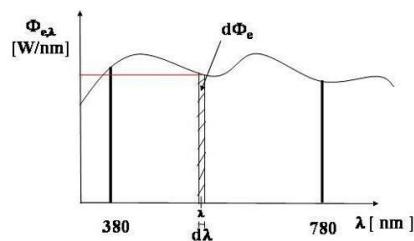
- Per una radiazione luminosa emessa ad una determinata lunghezza d'onda λ (radiazione monocromatica):

$$\Phi = K(\lambda) \cdot \Phi_e \quad [\text{Im}] \quad K_{\max} = 683 \text{ Im/W.} \quad \text{Massimo valore del flusso luminoso emesso da una sorgente che emette un flusso energetico di 1 W}$$

$$\Phi = K_{\max} \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e \quad [\text{Im}]$$

$$[\text{Im}] = \left[\frac{\text{Im}}{\text{W}} \right] \cdot [-] \cdot [\text{W}]$$

- Per una radiazione composta, riferita ad un intervallo di lunghezza d'onda occorre riferirsi al flusso energetico spettrale $\Phi_{e,\lambda}$



Il flusso energetico emesso nell'intervallo infinitesimo di lunghezza d'onda $d\lambda$ vale

$$d\Phi_e = \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda \quad [\text{W}]$$

Il flusso luminoso infinitesimo vale:

$$d\Phi = K \cdot d\Phi_e = K \cdot \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda \quad [\text{Im}]$$

$$d\Phi = K_{\max} \cdot V \cdot \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda \quad [\text{Im}]$$

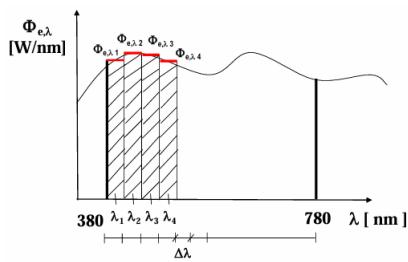
Il flusso energetico vale:

$$\Phi_e = \int_0^{780\text{nm}} d\Phi_e = \int_0^{780\text{nm}} \Phi_{e,\lambda} d\lambda \quad [\text{W}]$$

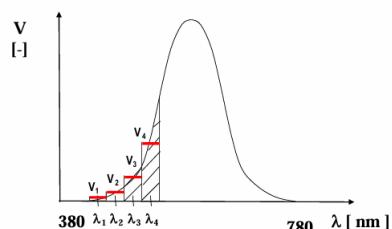
Il flusso luminoso vale:

$$\Phi = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} d\Phi = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} K \cdot \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda = \\ = K_{\max} \cdot \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} V \cdot \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda \quad [\text{Im}]$$

Per risolvere l'integrale è utile discretizzare il campo di lunghezze d'onda



$$\Phi = K_{\max} \cdot \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} V \cdot \Phi_{e,\lambda} \cdot d\lambda = \\ = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot \Phi_{e,\lambda_i} \cdot \Delta\lambda = \\ = K_{\max} \cdot \Delta\lambda \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot \Phi_{e,\lambda_i} \quad [\text{Im}]$$



INTENSITÀ LUMINOSA

$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$ [cd] L'intensità luminosa è una misura della quantità di luce che una sorgente emette in una determinata direzione e viene definita come il flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme per unità di angolo solido in una determinata direzione.

Se Φ è uniforme su ω :

$I = \frac{\Phi}{\omega}$ [cd] L'unità di misura dell'intensità luminosa è la candela, che è la grandezza fondamentale della fotometria S.I. di unità di misura.

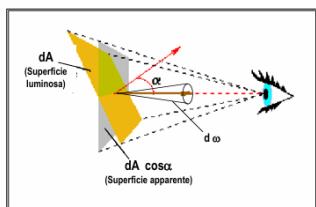
Il solido fotometrico è un concetto che descrive la distribuzione dell'intensità luminosa emessa dalla sorgente in tutte le direzioni. Si tratta di solido delimitato dal luogo dei punti estremi dei vettori con origine nella sorgente e lunghezza proporzionale all'intensità della sorgente nelle diverse direzioni. Immagina una sorgente puntiforme al centro di una sfera: il solido fotometrico descrive l'intero volume angolare da cui la sorgente emette luce. L'intensità luminosa sarà maggiore nelle direzioni in cui la sorgente emette più luce, e inferiore nelle direzioni in cui l'emissione è minore.

L'intersezione del solido fotometrico con un piano passante per l'asse della sorgente individua una curva denominata "indicatrice di emissione". Essa è quindi una curva che rappresenta l'intersezione del solido fotometrico con un piano che passa per l'asse della sorgente.

Intensità luminosa: Ha per unità la candela (cd) che è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è di $(1/683)$ W/sr.

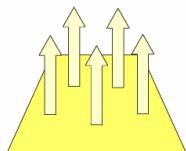
LUMINANZA

La luminanza è una grandezza fotometrica che misura l'intensità di luce che viene percepita dalla vista di un osservatore, proveniente da una superficie in una determinata direzione e viene descritta come il rapporto tra flusso luminoso emesso o riflesso da una superficie luminosa, per unità di angolo solido in una determinata direzione, e la superficie emettente proiettata su un piano perpendicolare alla direzione stessa. È la grandezza che permette di verificare il rischio di abbagliamento.



$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cdot \cos\alpha \cdot d\omega} = \frac{dI}{dA \cdot \cos\alpha} \quad [\text{cd} = \text{nit}]$$

EMETTENZA LUMINOSA



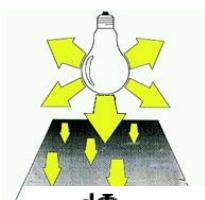
L'emettenza luminosa (o intensità di emissione luminosa per unità di superficie) è una grandezza fotometrica che descrive la quantità di flusso luminoso emesso da una superficie per unità di area. In altre parole, è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie e l'area di quell'elemento.

$$M = \frac{d\Phi}{dA} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right] \quad d\Phi \text{ è il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie,} \\ dA \text{ è l'area dell'elemento di superficie.}$$

Se il flusso è emesso in modo uniforme dalla superficie:

$$M = \frac{\Phi}{A}$$

ILLUMINAMENTO



L'illuminamento è una grandezza fotometrica che misura la quantità di flusso luminoso che incide su una superficie. È definito come il rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie elementare e l'area della superficie elementare stessa.

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

Se il flusso giunge in modo uniforme dalla superficie:

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad [lx]$$

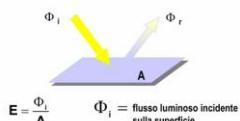
L'unità di misura dell'illuminamento è il lux (lx), che corrisponde a lumen per metro quadrato (lm/m²). Un lux è definito come l'illuminamento creato da un flusso luminoso di un lumen che incide su una superficie di un metro quadrato.

RELAZIONI FRA GRANDEZZE FOTOMETRICHE

- Emettenza e illuminamento
- Luminanza e illuminamento
- L'illuminamento puntuale da sorgenti puntiformi

Sulla base della definizione di ciascuna grandezza fotometrica e delle relazioni tra le grandezze è possibile determinare l'illuminamento in un punto e quello medio dovuto a una sorgente puntiforme.

Si consideri una superficie opaca illuminata in modo uniforme:



$$E = \frac{\Phi_i}{A}$$

$$M = \frac{\Phi_r}{A}$$

$$\Phi_r = \Phi_i \cdot \rho \quad \rho = \text{fattore di riflessione luminosa della superficie}$$



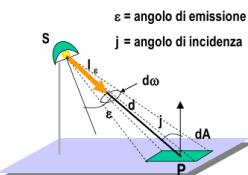
$$M = \frac{\Phi_i \cdot \rho}{A} \quad E = \rho$$

La relazione tra emettanza luminosa e illuminamento si basa sul concetto che entrambi descrivono la distribuzione della luce, ma da punti di vista diversi. L'emettenza luminosa riguarda la luce emessa da una superficie, mentre l'illuminamento riguarda la luce che incide su una superficie.

L'illuminamento dipende dall'emettenza luminosa della sorgente, dalla distanza della superficie dalla sorgente, dall'orientamento della superficie e dall'angolo di incidenza. La luce emessa da una superficie (emettenza luminosa) influisce direttamente sulla quantità di luce che arriva su una superficie (illuminamento).

- ILLUMINAMENTO PUNTUALE DA SORGENTI PUNTIFORMI

Condizioni di validità: le tre dimensioni della sorgente sono trascurabili rispetto alla distanza dalla superficie illuminata.

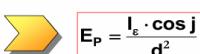


$$E_p = \frac{d\Phi}{dA}$$

$$d\Phi = I_e \cdot d\omega$$

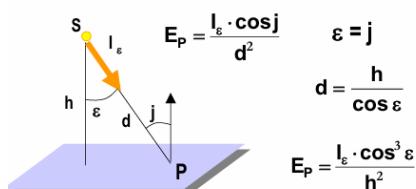
$$E_p = \frac{I_e \cdot d\omega}{dA}$$

$$d\omega = \frac{dA \cdot \cos j}{d^2}$$



$$E_p = \frac{I_e \cdot \cos j}{d^2}$$

- ILLUMINAMENTO SU SUPERFICIE ORIZZONTALE ILLUMINAMENTO SU SUPERFICIE ORIZZONTALE DA LAMPADA AD ASSE VERTICALE



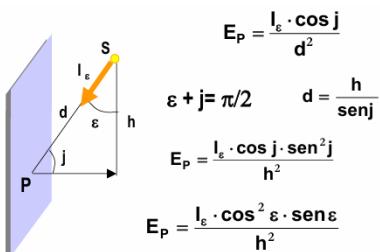
$$E_p = \frac{I_e \cdot \cos j}{d^2}$$

$$\epsilon = j$$

$$d = \frac{h}{\cos \epsilon}$$

$$E_p = \frac{I_e \cdot \cos^3 \epsilon}{h^2}$$

- ILLUMINAMENTO SU SUPERFICIE VERTICALE DA ILLUMINAMENTO SU SUPERFICIE VERTICALE DA LAMPADA AD ASSE VERTICALE



$$E_p = \frac{I_e \cdot \cos j}{d^2}$$

$$\epsilon + j = \pi/2$$

$$d = \frac{h}{\sin j}$$

$$E_p = \frac{I_e \cdot \cos j \cdot \sin^2 j}{h^2}$$

$$E_p = \frac{I_e \cdot \cos^2 \epsilon \cdot \sin \epsilon}{h^2}$$

FATTORI DI ASSORBIMENTO, RIFLESSIONE E TRASMISSIONE

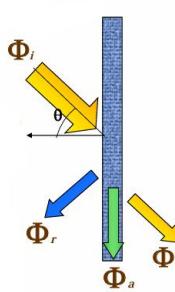
La luce che incide su una superficie viene in parte assorbita, in parte riflessa ed in parte trasmessa. Le rispettive frazioni vengono dette fattori di assorbimento, riflessione e trasmissione.

$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}$ FATTORE DI ASSORBIMENTO (α): rappresenta la frazione di luce che viene assorbita dal materiale. Quando la luce colpisce una superficie, parte della sua energia viene trasformata in altre forme di energia, come calore. Questo processo dipende dalle proprietà ottiche del materiale e dalla sua struttura.

$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$ FATTORE DI RIFLESSIONE (ρ): rappresenta la frazione di luce che viene riflessa dalla superficie, cioè quella che rimbalza indietro verso l'ambiente, senza essere assorbita o trasmessa attraverso il materiale.

$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$ FATTORE DI TRASMISSIONE (τ): rappresenta la frazione di luce che passa attraverso il materiale, senza essere riflessa o assorbita. In altre parole, è la porzione di luce che attraversa la superficie e si propaga nel materiale o oltre di esso.

La somma dei tre fattori di interazione (assorbimento, riflessione e trasmissione) per un materiale in generale deve essere uguale a 1:

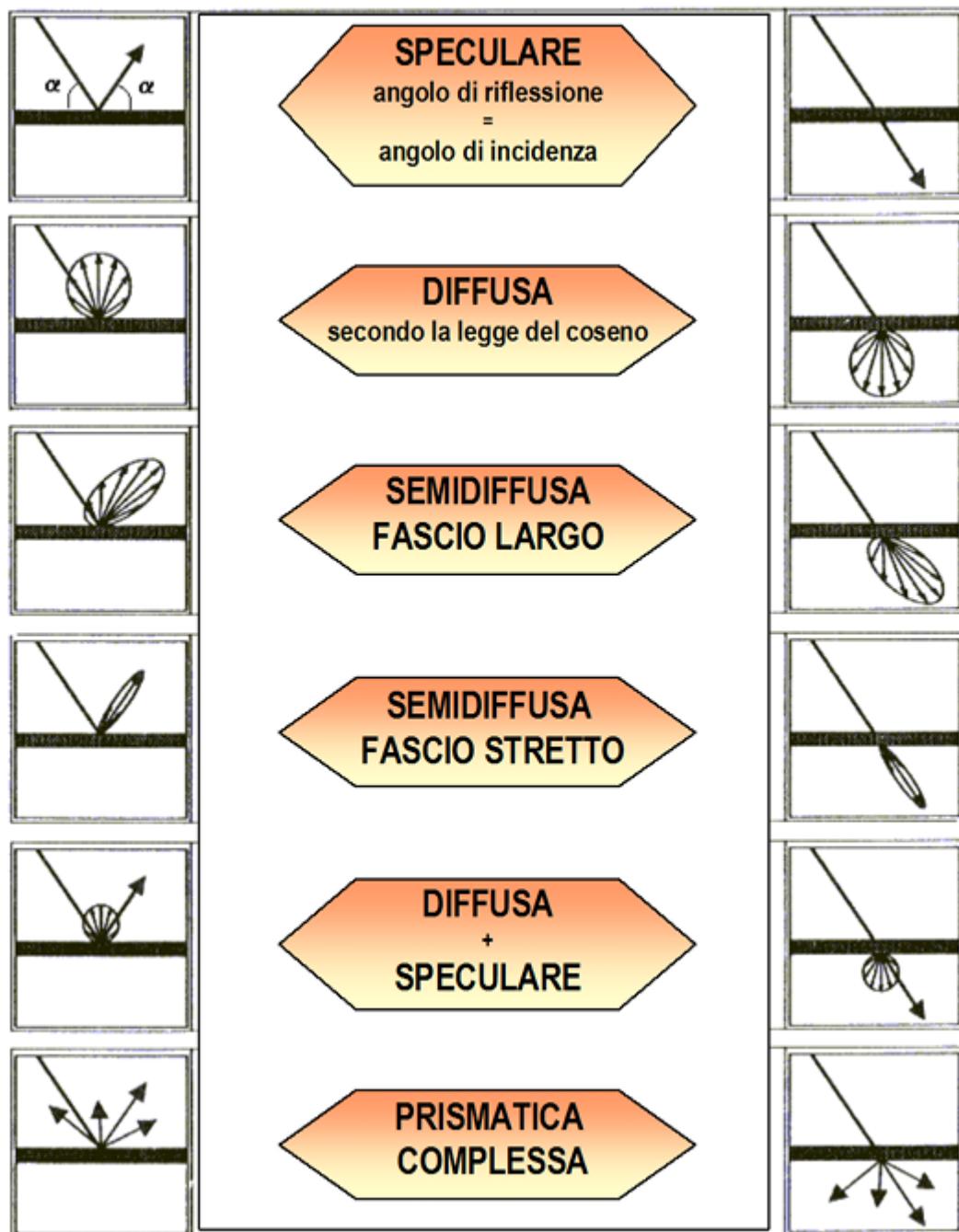


$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Questa relazione significa che l'intera energia della luce incidente viene distribuita tra l'energia assorbita, riflessa e trasmessa. Se un materiale assorbe molta luce, rifletterà e trasmetterà meno luce, mentre se riflette molto, trasmetterà o assorberà meno.

MODALITÀ DI RIFLESSIONE DELLA LUCE

La riflessione e la trasmissione della luce sono due fenomeni fondamentali che descrivono come la luce interagisce con le superfici o i materiali. Entrambe le modalità possono avvenire in vari modi a seconda delle caratteristiche della superficie o del materiale e dell'angolo di incidenza della luce.



VALORI TIPICI DI FATTORI DI RIFLESSIONE

MATERIALE	COLORE	%
speculare		
vetro specchiato	vernice bianca	80-99 75-90
alluminio lucidato	gesso bianco	60-70 90-92
acciaio inox	cemento	55-65 25

MATERIALE	COLORE	%
bianco		90
nero		1
arancione		40-60
giallo		65-75
blu		10-30
verde		20-30
grigio medio		25

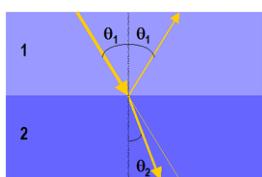
VALORI TIPICI DI FATTORI DI TRASMISSIONE

MATERIALE	COLORE	%
vetro		
chiaro		80-90
smerigliato		70-85
opalino		20-60
plastica		
metacrilato chiaro		80-90
metacrilato opalino		20-60

RIFRAZIONE DELLA LUCE

La rifrazione è il fenomeno di variazione della traiettoria/direzione di propagazione della radiazione luminosa (luce) che si verifica in corrispondenza dell'interfaccia di separazione di due mezzi trasparenti. La rifrazione della luce è descritta dalla legge di Snell, che fornisce una relazione tra gli angoli di incidenza e rifrazione, e gli indici di rifrazione dei due mezzi coinvolti.

La LEGGE DI SNELL è espressa dalla formula:



$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

n_1 e n_2 sono gli indici di rifrazione dei due mezzi.

θ_1 è l'angolo di incidenza (l'angolo tra il raggio di luce incidente e la normale al confine tra i due mezzi).

θ_2 è l'angolo di rifrazione (l'angolo tra il raggio rifratto e la normale al confine).

L'indice di rifrazione è una misura della velocità della luce in un dato materiale rispetto alla velocità della luce nel vuoto: $n = v/c$

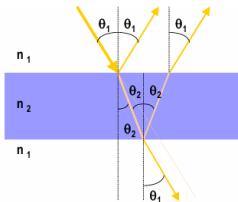
Dove v è la velocità della luce nel materiale. Un materiale con un indice di rifrazione maggiore rallenta la luce più di uno con un indice di rifrazione inferiore.

L'indice di rifrazione dell'aria è circa 1, mentre quello dell'acqua è circa 1,33, e quello del vetro è tra 1,5 e 1,7.

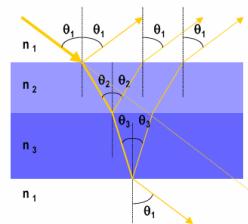
VALORI TIPICI DI INDICE DI RIFRAZIONE ASSOLUTO n

Materiale	n
aria	1
ghiaccio	1,31
acqua	1,33
vetro	1,5 - 1,9
diamante	2,42

RIFRAZIONE ATTRAVERSO UNA LASTRA DI VETRO PIANA

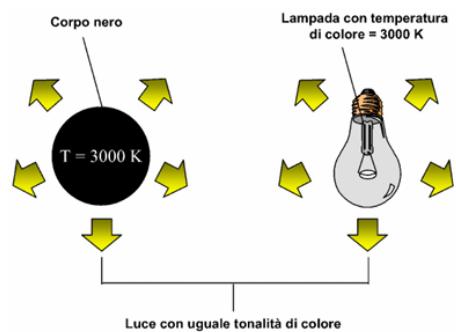


RIFRAZIONE ATTRAVERSO DUE STRATI PIANI PARALLELI DI DIVERSO MATERIALE TRASPARENTE

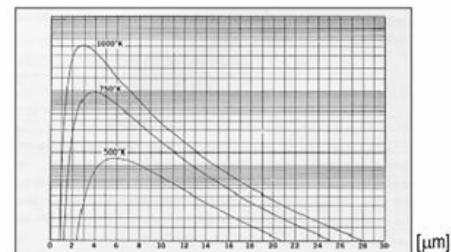


COLORIMETRIA: TEMPERATURA DI COLORE CORRELATA

Essa esprime le tonalità di colore della luce confrontandola con la temperatura assoluta di un corpo nero che irradia luce con la stessa tonalità di colore emessa dalla sorgente in esame.



Emettanza spettrale del corpo nero a diverse temperature
[W/m²μm]



LE SORGENTI

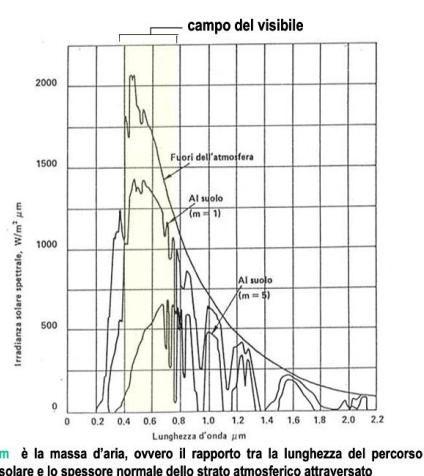
La radiazione solare globale incidente su una superficie è la quantità complessiva di energia solare che arriva a quella superficie. Questa radiazione è il risultato della somma di tre componenti principali: la radiazione diretta, la radiazione diffusa e la radiazione riflessa dal terreno.

1. RADIAZIONE DIRETTA: Questa è la parte della radiazione solare che proviene direttamente dal sole, senza subire modifiche nell'atmosfera. È la componente più intensa e dipende dall'angolo di incidenza dei raggi solari, che cambia durante il giorno e in base alla posizione geografica. In una giornata senza nuvole, la radiazione diretta è quella che ci fa sentire più caldi e che causa ombre ben definite.
2. RADIAZIONE DIFFUSA: Questa componente è dovuta alla dispersione della luce solare da parte delle particelle e delle molecole presenti nell'atmosfera. Quando i raggi solari interagiscono con l'atmosfera, una parte della luce viene riflessa e diffusa in tutte le direzioni. Questo è ciò che crea la luminosità del cielo anche quando non si vede direttamente il sole, come nelle giornate nuvolose. La radiazione diffusa è meno intensa della radiazione diretta e non produce ombre nette.
3. RADIAZIONE RIFLESSA DAL TERRENO: Una parte della radiazione solare che colpisce la superficie terrestre viene riflessa. La quantità di radiazione riflessa dipende da ciò che c'è sulla superficie: le superfici chiare (come la neve o la sabbia) riflettono molta radiazione, mentre le superfici scure (come il terreno bagnato o l'asfalto) riflettono una quantità minore.

La radiazione solare globale che incide su una superficie può quindi essere descritta come la somma di queste tre componenti: radiazione diretta, radiazione diffusa e radiazione riflessa. La formula che rappresenta questa relazione è: $G=D+S+RG = D + S + RG=D+S+R$

Dove:

- G è la radiazione globale incidente sulla superficie,
- D è la radiazione diretta proveniente dal sole,
- S è la radiazione diffusa da parte dell'atmosfera,
- R è la radiazione riflessa dal terreno.



Il Sole, con una temperatura superficiale di circa 5800 K, emette una grande quantità di energia raggiante nello spazio. La potenza totale emessa dal Sole, che è di circa 3.88×10^{26} W, rappresenta l'energia che il Sole irradia in tutte le direzioni. Questa radiazione si propaga nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche, incluse quelle nella gamma della luce visibile, ultravioletta, e infrarossa.

Quando questa radiazione raggiunge la Terra, la quantità di energia per unità di superficie è conosciuta come irradianza solare extratmosferica. Alla distanza media tra il Sole e la Terra (circa 1 Unità Astronomica, ovvero circa 150 milioni di km), l'irradianza solare extratmosferica è di circa 1353 W/m^2 .

La radiazione solare globale che arriva sulla superficie terrestre è influenzata da diversi fattori, che determinano la quantità di energia che raggiunge una determinata area. I PRINCIPALI FATTORI DI INFLUENZA sono:

1. Stato fisico degli strati atmosferici

- **COMPOSIZIONE ATMOSFERICA:** La presenza di gas, particelle, e inquinanti nell'atmosfera (come polveri, vapore acqueo, CO₂) può assorbire, riflettere o disperdere la radiazione solare. Ad esempio, il vapore acqueo e la CO₂ assorbono parte dell'energia solare, mentre le molecole di ossigeno e azoto riflettono e diffondono la luce (scattering).
- **CONDIZIONI ATMOSFERICHE:** L'atmosfera terrestre non è uniforme, e il suo stato (secca o umida, pulita o inquinata) influenza sull'intensità della radiazione che raggiunge la superficie. In presenza di particelle in sospensione, come polveri o smog, la radiazione solare può essere parzialmente bloccata o diffusa, riducendo la quantità di energia che arriva al suolo.

2. Posizione relativa del Sole rispetto alla superficie

- **ANGOLO DI INCIDENZA DEI RAGGI SOLARI:** La radiazione solare è più intensa quando i raggi solari arrivano perpendicolari alla superficie terrestre. L'intensità diminuisce all'aumentare dell'angolo di incidenza (quando i raggi colpiscono la superficie con un angolo più inclinato).
- **PERIODO DELL'ANNO:** A causa dell'inclinazione e della rotazione della Terra, lo spessore dello strato atmosferico attraversato dalla radiazione solare varia durante il giorno e l'anno. Questo fenomeno è strettamente legato all'inclinazione dell'asse di rotazione della Terra rispetto al piano dell'orbita terrestre attorno al Sole, che è di 23,5°. È la causa principale delle stagioni sulla Terra: nei mesi estivi l'emisfero Nord (boreale) è inclinato verso il sole, nei mesi invernali è in direzione opposta.
- **PERIODO DEL GIORNO:** A variare dell'orario del giorno cambia la posizione del Sole rispetto alla Terra, e quindi lo spessore dello strato di atmosfera attraversato dai raggi solari prima di giungere sulla superficie terrestre. Quanto più spesso è lo strato atmosferico attraversato dalla radiazione solare, tanto minore è il contenuto energetico della radiazione incidente. Questo accade a causa del maggiore assorbimento e della maggiore diffusione della radiazione nell'atmosfera.

3. Posizione del Sole sulla volta celeste

- **ALTEZZA DEL SOLE NEL CIELO:** Durante la giornata, la posizione del Sole sulla volta celeste cambia, raggiungendo il punto più alto (culminazione) a mezzogiorno. La quantità di radiazione solare che raggiunge la superficie è maggiore quando il Sole è più alto nel cielo, e quindi l'angolo di incidenza è più favorevole.
- **LATITUDINE:** La posizione geografica influenza l'angolo di incidenza durante l'anno. Ad esempio, ai poli la radiazione solare è molto più bassa rispetto all'Equatore, dove il Sole è quasi sempre alto nel cielo.

- ANGOLI FONDAMENTALI:

DECLINAZIONE SOLARE (δ): è l'angolo formato dalla retta Sole-Terra con il piano dell'equatore terrestre. È positivo quando il Sole si trova a nord dell'equatore e negativo quando si trova a sud.

ALTEZZA SOLARE (h): è l'angolo formato dalla retta Sole-Terra con il piano dell'orizzonte. Indica quanto alto si trova il Sole sopra l'orizzonte in un dato momento della giornata.

ANGOLO ZENITALE SOLARE (z_s): è l'angolo formato dalla retta Sole-Terra con la direzione dello zenit, ovvero il punto del cielo direttamente sopra l'osservatore. Più l'angolo zenitale è piccolo, più il Sole è vicino allo zenit; quindi, più alta è la posizione del Sole nel cielo.

ANGOLO AZIMUTALE SOLARE (ϕ_s): è l'angolo formato dalla proiezione della retta Sole-Terra sul piano dell'orizzonte, rispetto alla direzione Sud, con il valore positivo verso Est. Questo angolo indica la posizione del Sole lungo l'orizzonte, determinando in quale direzione (Est o Ovest) si trova rispetto alla direzione Sud.

La volta celeste è rappresentata come una superficie sferica con al centro l'osservatore e la Terra come un punto coincidente con l'osservatore.

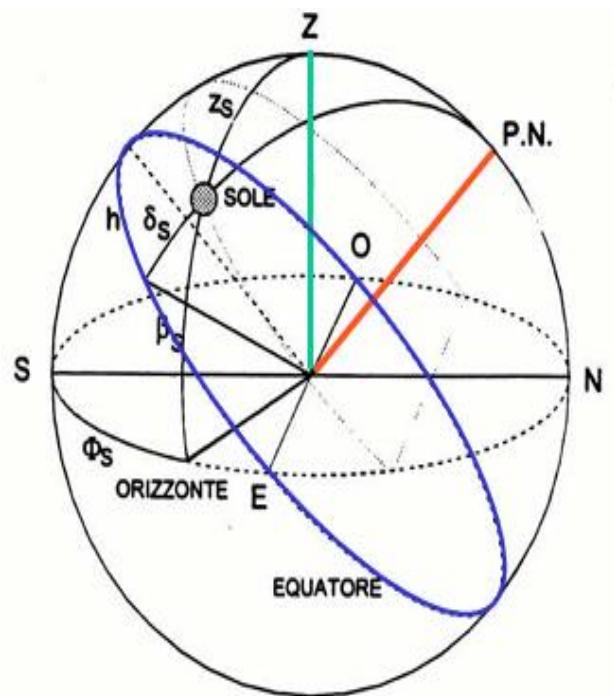
Il piano orizzontale passante per l'osservatore è denominato piano dell'orizzonte e la retta verticale passante per l'osservatore denominato zenit (Z) interseca in alto la volta celeste nel punto.

Il Sole è rappresentato con un punto S che si muove sulla volta celeste percorrendo orbite giornaliere (ellittiche) appartenenti a piani fra loro paralleli: il piano passante per l'osservatore è detto equatore.

La retta passante per l'osservatore e perpendicolare al piano dell'equatore alto la volta celeste nel punto denominato Polo Nord (PN).

La proiezione della retta osservatore - PN sul piano dell'orizzonte interseca la volta celeste nei punti denominati Nord (N) e Sud (S).

La retta sul piano dell'orizzonte ortogonale all'asse N-S interseca la volta celeste in due punti denominati Est (E) ed Ovest(O)



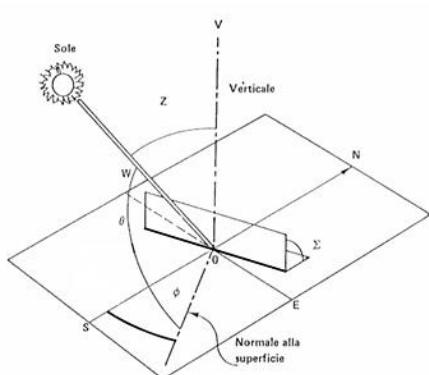
4. Orientamento della superficie

- INCLINAZIONE DELLA SUPERFICIE: La radiazione solare incidente su una superficie dipende anche dall'orientamento di quest'ultima. Una superficie inclinata (come un pannello solare) può ricevere più radiazione rispetto a una superficie piana, a seconda dell'angolo di inclinazione rispetto ai raggi solari.
- ORIENTAMENTO (NORD, SUD, EST, OVEST): Le superfici esposte a sud (nell'emisfero nord) ricevono più radiazione solare diretta rispetto a quelle esposte a nord, perché la radiazione solare raggiunge queste superfici con un angolo più diretto, soprattutto durante l'inverno.

Data una superficie comunque orientata si definiscono i seguenti angoli fondamentali:

- Azimut della superficie (ϕ): è l'angolo tra la proiezione sul piano dell'orizzonte della normale alla superficie e la direzione Sud. L'angolo è positivo verso Est. L'azimut indica la direzione orizzontale della superficie rispetto alla direzione meridionale.

- Inclinazione della superficie (Σ): è l'angolo formato dal piano contenente la superficie in esame con il piano orizzontale. L'inclinazione misura quanto la superficie è inclinata rispetto al piano orizzontale, determinando la pendenza della superficie stessa.



5. Presenza di formazioni nuvolose

- **NUVOLE:** Le nuvole possono ridurre significativamente la quantità di radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre, riflettendo e assorbendo la radiazione solare. La copertura nuvolosa può variare da poco a molto densa, con un impatto diretto sulla radiazione globale ricevuta. Le nuvole sottili, come quelle cirro, tendono a diffondere la radiazione in modo uniforme, mentre nuvole più dense, come i cumulonembi, possono bloccare quasi completamente il passaggio della luce solare.

6. Contenuto di umidità, polveri, CO₂, ecc.

- **VAPORE ACQUEO:** L'umidità nell'atmosfera ha un forte effetto sull'assorbimento della radiazione solare, specialmente nelle lunghezze d'onda infrarosse. Il vapore acqueo può assorbire una parte della radiazione solare e riscaldare l'atmosfera.
- **POLVERI E AEROSOL:** La presenza di polveri atmosferiche o aerosol (come quelli prodotti da eruzioni vulcaniche o attività industriale) può riflettere, assorbire o disperdere la luce solare, riducendo la quantità di radiazione che raggiunge la superficie.
- **ANIDRIDE CARBONICA (CO₂):** L'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera contribuisce al riscaldamento globale, in quanto il CO₂ assorbe e riemette radiazione infrarossa, influenzando così la distribuzione di energia termica.

L'efficienza luminosa della radiazione solare dipende da:

- altezza solare
- copertura nuvolosa
- contenuto di vapor acqueo in atmosfera

$$\eta_n = \frac{\Phi_l}{\Phi_e} = \frac{\text{FLUSSO LUMINOSO}}{\text{FLUSSO ENERGETICO}} \quad [lm/W]$$

I valori caratteristici di radiazione globale, radiazione diffusa e radiazione diretta dipendono dalle condizioni atmosferiche. Ecco una sintesi dei valori indicati:

RADIAZIONE GLOBALE:

- Cielo sereno: La radiazione globale sotto un cielo sereno ha un'efficienza luminosa che varia tra 80 e 115 lm/W (lumen per watt), a seconda delle condizioni specifiche, come l'intensità della luce solare e l'angolo di incidenza.
- Cielo coperto: In presenza di nuvole o cielo coperto, la radiazione globale è notevolmente ridotta, con valori che possono variare tra 100 e 130 lm/W.

RADIAZIONE DIFFUSA:

- Cielo sereno: La radiazione diffusa, che è quella che viene dispersa e riflessa dalle particelle nell'atmosfera (come polveri e molecole di gas), in condizioni di cielo sereno varia tra 110 e 150 lm/W. La radiazione diffusa è spesso una frazione significativa della radiazione globale totale.

RADIAZIONE DIRETTA:

- Cielo sereno: La radiazione diretta, che arriva direttamente dal Sole senza essere diffusa o riflessa, è generalmente la più intensa quando il cielo è sereno, con valori che possono variare tra 50 e 120 lm/W. Questo valore dipende dall'angolo di incidenza e dall'intensità solare.

In funzione dell'efficienza luminosa, nota l'irradianza solare I, si determina l'illuminamento sulla superficie terrestre:

$$\eta_n = \frac{\Phi_l}{\Phi_e} = \frac{E}{I} \quad E = \eta_n \cdot I$$

LA VOLTA CELESTE

L'illuminamento prodotto dalla volta celeste su una superficie varia in relazione alla sua luminanza, la cui distribuzione dipende da vari fattori:

- Posizione del sole
- Condizioni metereologiche
- Torbidità

Per descrivere le diverse situazioni che si possono verificare sono stati proposti dei MODELLI DI CIELO:

- Cielo sereno: distribuzione di luminanza variabile in funzione della posizione del sole
- Cielo coperto a luminanza costante: distribuzione di luminanza uniforme
- Cielo coperto a luminanza variabile: distribuzione di luminanza variabile in funzione dell'angolo solare zenitale

ILLUMINAMENTO (PIANO ORIZZONTALE):

- Cielo sereno: fino a 100.000 lx (lux), che rappresenta l'intensità di illuminazione della superficie terrestre in pieno giorno sotto cielo sereno.
- Cielo coperto: fino a 20.000 lx, che è la quantità di luce che raggiunge la superficie terrestre in presenza di nuvole o cielo coperto.
- Sorgente alogena con riflettore (50W, varie aperture di fascio, a 2m di altezza): da 300 lx a 3000 lx, a seconda dell'orientamento e dell'intensità della sorgente.

LUMINANZA:

- Sole a mezzogiorno: 16×10^9 cd/m² (candela per metro quadrato), che rappresenta la luminosità diretta del Sole nel suo punto più alto.
- Cielo sereno: circa 8×10^3 cd/m², che indica la luminanza della superficie del cielo sotto condizioni di cielo sereno.
- Cielo coperto: circa 2×10^3 cd/m², che indica la luminanza del cielo quando è coperto da nuvole.
- Sorgente alogena: circa 1.3×10^7 cd/m², che rappresenta la luminanza di una sorgente alogena tipica con riflettore.

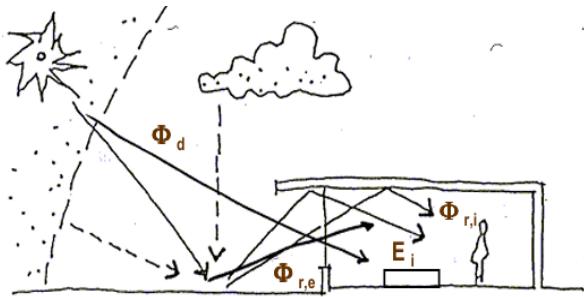
TEMPERATURA DI COLORE:

- Sole a mezzogiorno: circa 5250 K, che indica il colore della luce solare diretta, che è generalmente di un bianco caldo.
- Sole + cielo: circa 6000 K, che rappresenta la luce che arriva sulla superficie terrestre in un giorno sereno, combinando il Sole e la luce diffusa dal cielo.
- Cielo sereno: la temperatura di colore varia tra 20.000 K e 15.000 K, che rappresenta una luce molto blu e fredda, tipica delle alte altitudini o delle condizioni atmosferiche particolari.
- Cielo coperto: la temperatura di colore varia tra 15.000 K e 5.000 K, indicando una luce che tende a essere più fredda e grigia in presenza di nuvole.

Sorgente alogena: circa 3000 K, che indica una luce più calda e gialla tipica delle lampade alogene.

IL PROGETTO DELL'ILLUMINAZIONE NATURALE

L'illuminamento naturale in un punto di un ambiente interno è determinato:



- Dal flusso luminoso diretto proveniente dalle sorgenti primarie esterne (sole e volta celeste) Φ_d
 - Dal flusso luminoso riflesso proveniente dalle ostruzioni e dalle superficie esterne (terreno, edifici adiacenti) $\Phi_{r,e}$
 - Dal flusso luminoso indiretto generato dalle riflessioni multiple che si verificano sulle superfici interne dell'ambiente $\Phi_{r,i}$
- $$E_i = E_d + E_{r,e} + E_{r,i} \text{ [lux]}$$

METODI DI CALCOLO

I metodi di calcolo possono essere suddivisi in due categorie:

- Metodi basati sul concetto di **FATTORE DI LUCE DIURNA**: forniscono un valore adimensionale, costante nel tempo, che caratterizza le condizioni di illuminamento interno rispetto all'esterno
- Metodi basati sul concetto di **COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE**: forniscono un valore di illuminamento, variabile nel tempo e in rapporto alle condizioni esterne di cielo, in alcuni punti dell'ambiente interno

FATTORE DI LUCE DIURNA FLD

$$FLD = \frac{E_i}{E_{e,h}} = \frac{E_d + E_{r,e} + E_{r,i}}{E_{e,h}} \quad [\%]$$

$$FLD = SC + ERC + IRC \quad [\%]$$

E_i = illuminamento in un punto interno all'ambiente

$E_{e,h}$ = illuminamento su un piano orizzontale esterno, dovuto all'intera volta celeste, escludendo il contributo della radiazione solare diretta

SC = $E_d / E_{e,h}$ = componente diretta

ERC = $E_{r,e} / E_{e,h}$ = componente riflessa esternamente

IRC = $E_{r,i} / E_{e,h}$ = componente riflessa internamente

FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA FLD_m

Consente il calcolo simultaneo della componente diretta, riflessa esternamente e riflessa internamente

$$FLD_m = \frac{E_{i,med}}{E_{e,h}}$$

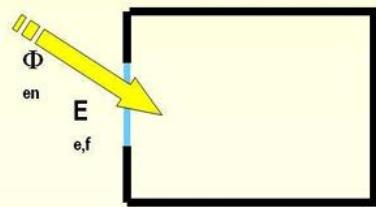
$E_{i,med}$ = illuminamento medio all'interno dell'ambiente

Sulla base del principio di conservazione dell'energia:

$$\Phi_{en} = \Phi_a$$

Φ_{en} = flusso luminoso entrante in ambiente

Φ_a = flusso luminoso assorbito dall'ambiente



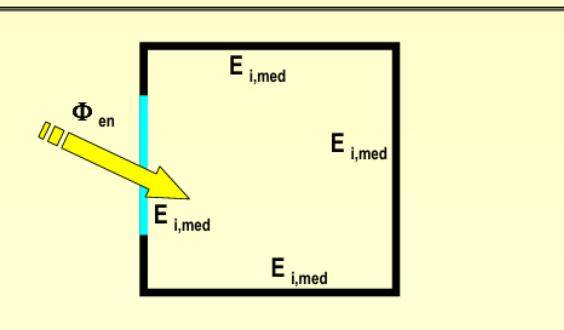
$E_{e,f}$ = illuminamento esterno sul piano della finestra nel suo baricentro

$E_{e,h}$ = illuminamento esterno sul piano orizzontale

$$\Phi_{en} = E_{e,h} \varepsilon \cdot A_f \cdot \tau \cdot \psi$$

A_f = superficie vetrata netta della finestra

τ = fattore di trasmissione luminosa del vetro



$$\Phi_a = E_{i,med} \cdot \alpha_m \cdot A_{tot}$$

$$\Phi_a = E_{i,med} \cdot (1 - \rho_m) \cdot A_{tot}$$

$$E_{e,h} \cdot \varepsilon \cdot A_f \cdot \tau \cdot \psi = E_{i,med} \cdot (1 - \rho_m) \cdot A_{tot}$$

$$E_{i,med} = \frac{E_{e,h} \cdot \varepsilon \cdot A_f \cdot \tau \cdot \psi}{(1 - \rho_m) \cdot A_{tot}}$$



α_m = fattore di assorbimento luminoso medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

ρ_m = fattore di riflessione luminosa medio ponderato delle superfici interne dell'ambiente

$$FLD_m = \frac{E_{i,med}}{E_{e,h}} = \frac{E_{e,h} \cdot \varepsilon \cdot A_f \cdot \tau \cdot \psi}{E_{e,h} \cdot (1 - \rho_m) \cdot A_{tot}} = \frac{\varepsilon \cdot A_f \cdot \tau \cdot \psi}{(1 - \rho_m) \cdot A_{tot}}$$

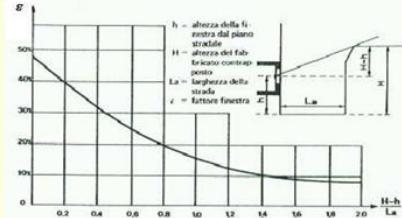
$$\varepsilon = \text{fattore finestra} = \frac{E_{e,f}}{E_{e,h}}$$

ψ = fattore di riduzione dovuto all'incassamento della finestra rispetto al filo parete esterno

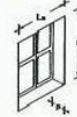
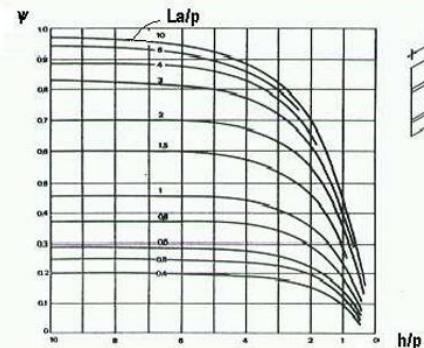
$\varepsilon = 1$ per superfici orizzontali prive di ostruzioni

$\varepsilon = 0,5$ per superfici verticali prive di ostruzioni

$\varepsilon < 0,5$ per superfici verticali in presenza di ostruzioni



Valori di ψ in funzione della geometria dell'incasso della finestra



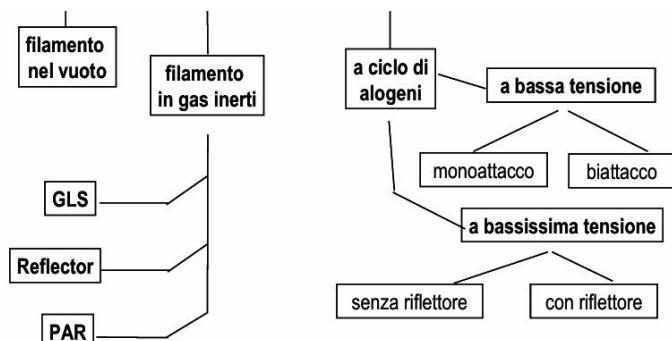
- Circolare del Ministero dei Lavori pubblici n° 3151 del 22/5/1967 indirizzata all'edilizia civile sovvenzionata
- Circolare del Ministero dei Lavori pubblici n° 13011 del 22/12/1974 indirizzata all'edilizia ospedaliera
- Decreto del Ministero della Sanità del 5/7/1975 indirizzato all'edilizia residenziale
- Decreto Ministeriale del 18/12/1975 indirizzato all'edilizia scolastica
- Normativa Tecnica della regione Emilia Romagna n°48 del 3/11/1984 per l'edilizia residenziale pubblica
- UNI 10840 "Locali scolastici - criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale", marzo 2000

	$FLD_m \geq 1\%$	$FLD_m \geq 2\%$	$FLD_m \geq 3\%$	$FLD_m \geq 5\%$
Edilizia residenziale	—	tutti i locali di abitazione	—	—
Edilizia scolastica	uffici, spazi di distribuzione, scale, servizi igienici	palestre, refettori, e aule comuni	ambienti a uso didattico, laboratori	aule giochi, aule nido
Edilizia ospedaliera	come edilizia scolastica	palestre e refettori	ambienti di degenza, diagnostica, laboratori	—

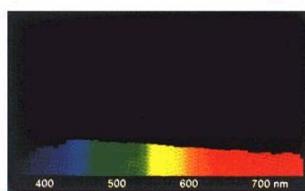
LE SORGENTI DI LUCE ARTIFICIALE: LE SORGENTI LUMINOSE

L'illuminazione artificiale si riferisce all'uso di dispositivi e sorgenti di luce per illuminare ambienti o spazi. Le sorgenti di luce artificiali possono essere classificate in diversi tipi a seconda della tecnologia utilizzata per produrre la luce. Le principali categorie di sorgenti sono le SORGENTI AD INCANDESCENZA, le SORGENTI A LUCE MISCELATA e le SORGENTI A SCARICA IN GAS (GA).

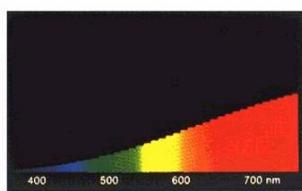
SORGENTI A INCANDESCENZA



DISTRIBUZIONE SPEGTRALE



Luce diurna (D65)



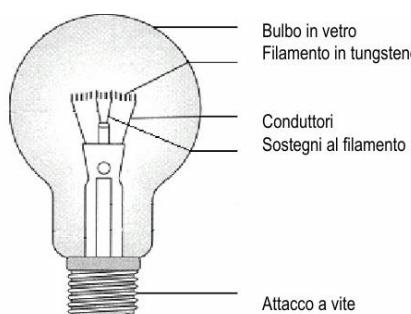
Lampada ad incandescenza

Campo del visibile: da 380 a 780 nm

L'altezza delle figure corrisponde a $\frac{200 \text{ mW}}{\text{m}^2 \times 1000 \text{ lx} \times 10 \text{ nm}}$

Il funzionamento di una lampada a incandescenza si basa sul riscaldamento di un filamento di tungsteno attraverso il passaggio di corrente elettrica.

- PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



1. Filamento percorso dalla corrente elettrica:
 - Quando la corrente elettrica passa attraverso il filamento di tungsteno, il filamento, che ha una resistenza elettrica relativamente alta, si riscalda. Questo riscaldamento è il risultato dell'effetto Joule, per cui l'energia elettrica viene trasformata in calore.

2. Emissione di radiazioni elettromagnetiche:
 - A causa dell'alta temperatura raggiunta dal filamento (che può arrivare a circa 3000 K), il tungsteno emette radiazioni elettromagnetiche. Queste radiazioni includono una parte dello spettro visibile (luce visibile), ma anche infrarossa (calore). Questo è il processo di incandescenza.

3. Gas inerte nel bulbo:

- All'interno del bulbo della lampada è presente un gas inerte, solitamente argon o azoto, a bassa pressione. Questo gas ha la funzione di ritardare l'evaporazione del tungsteno. Senza il gas, il tungsteno subirebbe una rapida evaporazione a causa delle alte temperature, riducendo la durata della lampada. Il gas inerte consente così di portare il filamento a temperature più elevate, aumentando l'efficienza luminosa.

4. Condensazione del vapore di tungsteno:

- Il vapore di tungsteno, che si libera dal filamento a causa dell'intensa temperatura, viene condensato sulle pareti fredde del bulbo della lampada. Questo processo porta alla formazione di un sottile strato di tungsteno sulle pareti del bulbo, il quale causa l'annerimento del vetro.

5. Sublimazione del tungsteno e riduzione della sezione del filamento:

- Il tungsteno tende a subire sublimazione (passaggio diretto dallo stato solido a quello di vapore), soprattutto nelle zone più calde del filamento. Questo fenomeno provoca una progressiva riduzione della sezione del filamento. Con il tempo, il filamento si assottiglia sempre più, fino a che, infine, non si rompe, interrompendo il circuito e facendo cessare l'emissione di luce.

- PRINCIPIO DI PRODUZIONE DELLA LUCE

Le sorgenti a incandescenza funzionano attraverso il riscaldamento di un filamento di tungsteno (o altro materiale) fino a quando non emette luce visibile. Il principio alla base di queste sorgenti segue le leggi dello scambio termico radiativo, che determinano come un corpo riscaldato emetta energia sotto forma di radiazione elettromagnetica. Le principali leggi che descrivono il comportamento di tali sorgenti sono la legge di Stefan-Boltzmann e la legge di Wien.

Le sorgenti a incandescenza emettono una quantità di energia che dipende dalla loro temperatura. La legge di Stefan-Boltzmann stabilisce che la potenza totale emessa per unità di superficie da un corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta.

Poiché il tungsteno (materiale usato per il filamento) non è un corpo nero perfetto, emette una quantità inferiore di radiazione, ed è caratterizzato da un'emissività ϵ inferiore a 1 (ad esempio, $\epsilon = 0.4$ per il tungsteno).

La legge di Wien descrive la lunghezza d'onda alla quale la radiazione emessa da un corpo nero è massima. Questa legge è utile per determinare il colore della luce emessa da una sorgente a incandescenza, che tende a essere calda e gialla/arancione. La lunghezza d'onda massima della radiazione emessa dal filamento di tungsteno, in funzione della sua temperatura.

$$E_t = \text{irraggiamento integrale} = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda$$

$$E_t = \sigma T^4 \quad \text{Legge di Stefan - Boltzmann}$$

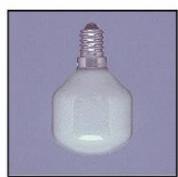
$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\lambda_{\max} = A / T \quad \text{Legge di Wien}$$

$$A = 2.884 \cdot 10^{-6} \text{ nmK}$$

- SORGENTI INCANDESCENTI CLASSICHE

Queste sono le tradizionali lampade a incandescenza, che utilizzano un filamento di tungsteno per emettere luce quando viene attraversato da corrente elettrica. Il filamento si riscalda fino a diventare incandescente, emettendo luce visibile.



BELLALUX



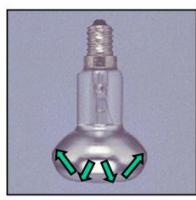
TORTIGLIONE

- SORGENTI CON RIFLETTORE INCORPORATO

Si tratta di lampade a incandescenza dotate di un riflettore integrato che indirizza la luce emessa dal filamento verso una direzione specifica. Questo design è utile per focalizzare l'illuminazione e ridurre la dispersione della luce.



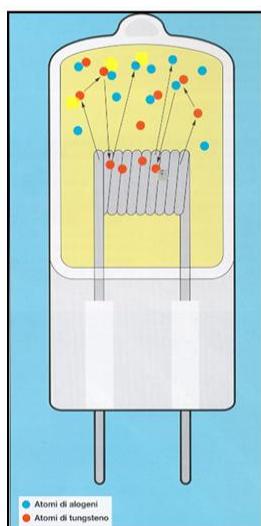
PAR



SPOT

- SORGENTI INCANDESCENTI A CICLO DI ALOGENI

Si tratta di lampade a incandescenza dotate di un riflettore integrato che indirizza la luce emessa dal filamento verso una direzione specifica. Questo design è utile per focalizzare l'illuminazione e ridurre la dispersione della luce.



Un bulbo in quarzo, di dimensioni ridotte rispetto a quello delle sorgenti incandescenti tradizionali contiene un filamento di tungsteno doppiamente spiralizzato oltre che una miscela di gas inerti arricchita di sostanze alogene (iodio e bromo).

- 1) Il filamento di tungsteno, portato a incandescenza, sublima
- 2) I vapori di tungsteno si portano verso la parete interna del bulbo la cui temperatura è di 700°C
- 3) Il tungsteno si combina con gli alogeni in prossimità della parete del bulbo, formando degli alogenuri
- 4) Trasportati dai moti convettivi interni gli alogenuri si dirigono verso il filamento (2500°C)
- 5) Gli alogenuri si dissociano nuovamente in alogeni e tungsteno per via dell'elevata temperatura
- 6) Il tungsteno si rideposita sul filamento che, parzialmente, si rigenera



Sorgente a due attacchi laterali



Sorgente senza riflettore



Sorgente con riflettore sfaccettato in alluminio

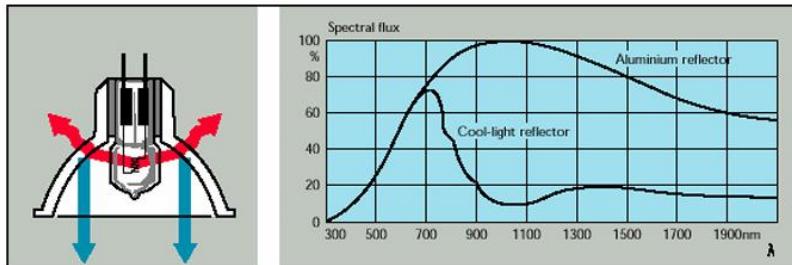


Sorgente compatta con attacco a vite



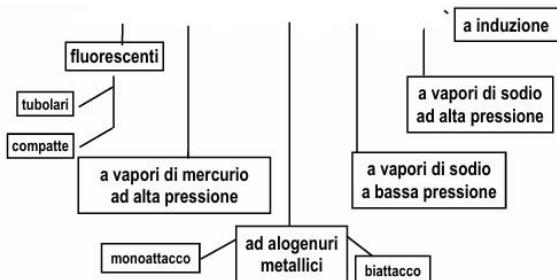
- SORGENTI INCANDESCENTI A CICLO DI ALOGENI CON RIFLETTORE DICROICO

Il principio di funzionamento è analogo alle altre sorgenti ad incandescenza, ma l'uso di riflettore in vetro dicroico consente di riflettere le radiazioni visibili e di assorbire e trasmettere nella zona retrostante la lampada circa il 65% della radiazione infrarossa, riducendo il rischio di surriscaldamento frontale.

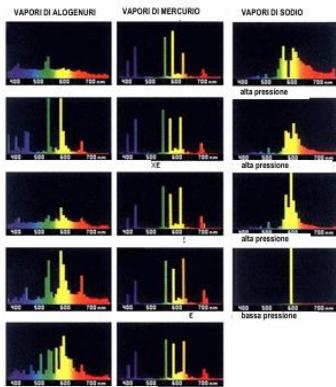


Sorgenti con riflettore dicroico

SORGENTI A SCARICA



ESEMPI DI DISTRIBUZIONE SPEGMENTALE DI SORGENTI A SCARICA



- SORGENTI A SCARICA FLUORESCENTI (A VAPORI DI MERCURIO A BASSA PRESSIONE)



Le sorgenti fluorescenti a vapori di mercurio a bassa pressione sono una tipologia di lampade a scarica che utilizzano il fenomeno della fluorescenza per produrre luce visibile. Ecco il principio di funzionamento di queste lampade:

Principio di Funzionamento:

La fluorescenza è una proprietà di alcuni materiali (come i fosfori) di emettere luce visibile quando vengono eccitati da radiazioni ultraviolette (UV).

1. Posizionamento degli elettrodi:

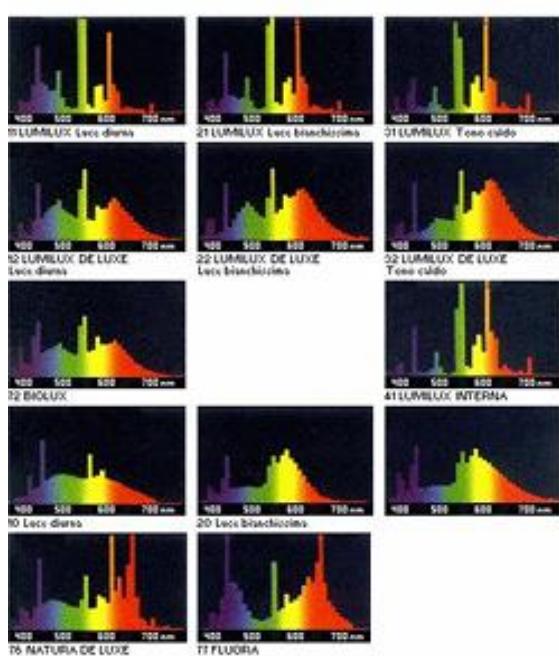
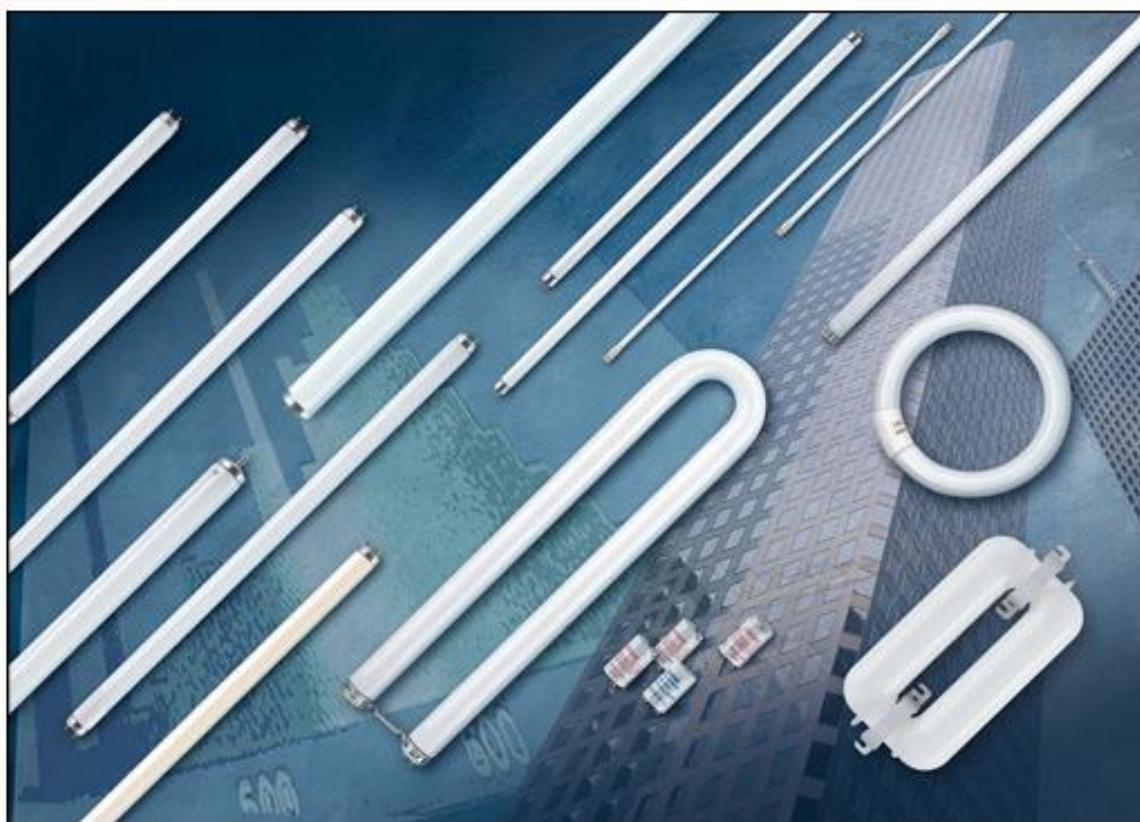
- Due elettrodi sono posizionati alle estremità del tubo della lampada. Questi elettrodi sono necessari per creare una scarica elettrica all'interno del tubo.

2. Innesco della scarica:

- All'interno del tubo è presente un gas ausiliario (come argon o neon), che facilita l'innesto della scarica. Questo gas, in combinazione con il vapore di mercurio, permette di avviare il processo di eccitazione delle particelle.

3. Produzione di radiazioni ultraviolette:

- Il tubo contiene vapore di mercurio che, quando eccitato dalla scarica elettrica, produce radiazioni ultraviolette (UV). Queste radiazioni sono invisibili all'occhio umano ma sono fondamentali per il processo di fluorescenza.
4. Trasformazione in luce visibile:
- Le radiazioni UV emesse dal mercurio vengono assorbite da uno strato di fosfori fluorescenti che rivestono l'interno del tubo. Questi fosfori trasformano l'energia delle radiazioni UV in luce visibile.
 - La luce visibile risultante è quella che emette la lampada fluorescente.



Sorgente lineare



Sorgente circolare



- SORGENTI FLUORESCENTI COMPATTE



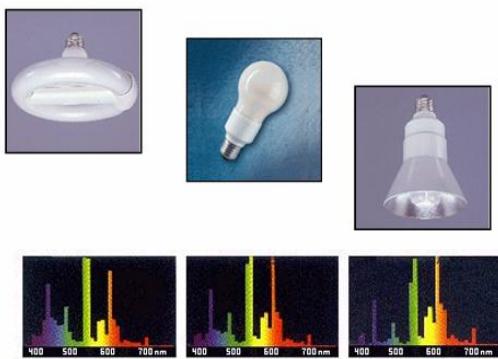
Le sorgenti fluorescenti compatte sono progettate per ridurre i consumi energetici rispetto alle lampade a incandescenza, mantenendo una qualità luminosa simile.

Dimensioni: Il tubo di scarica ha un diametro tra 10 e 15 mm ed è ripiegato per miniaturizzare la sorgente, adattandola agli apparecchi domestici tradizionali.

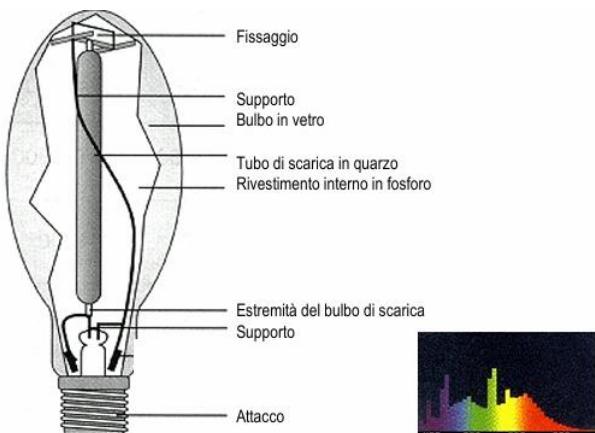
Apparecchiature ausiliarie: Alcune lampade integrano apparecchiature elettroniche, come il ballast, per migliorare l'avvio e la stabilità del flusso luminoso.

Attacco a vite: L'attacco standard, come E27 o E14, facilita la sostituzione delle lampade a incandescenza senza modifiche.

- Le CFL consumano circa il 75% in meno di energia rispetto alle lampade a incandescenza, hanno una durata maggiore (fino a 15.000 ore) e producono meno calore. Tuttavia, contengono mercurio e possono richiedere tempo per raggiungere la luminosità completa. Sono ideali per l'illuminazione domestica e in uffici, rappresentando una sostituzione diretta delle lampade a incandescenza.



- SORGENTI A SCARICA VAPORI DI MERCURIO AD ALTA PRESSIONE



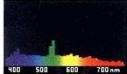
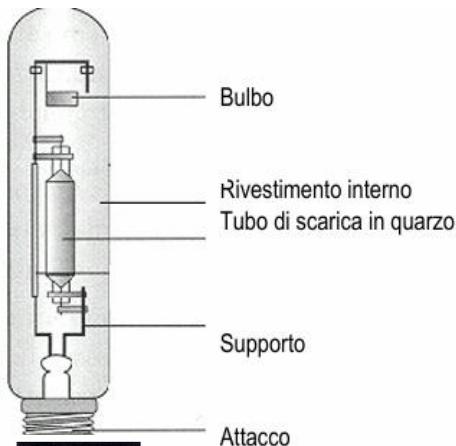
Le sorgenti a scarica a vapori di mercurio ad alta pressione sono caratterizzate da un tubo di scarica in quarzo che contiene argon e mercurio. Queste sorgenti emettono principalmente radiazioni ultraviolette, ma la pressione più elevata rispetto alle sorgenti fluorescenti consente una maggiore percentuale di radiazione visibile. Composizione:

- o Tubo di scarica in quarzo contenente argon e mercurio.
- o La pressione del gas è maggiore rispetto a quella delle sorgenti fluorescenti.
- o Il bulbo di vetro esterno è ricoperto da fosfori che convertono le radiazioni ultraviolette in luce visibile.

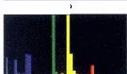
- Funzionamento:
 - o La scarica di gas genera principalmente radiazioni ultraviolette che, attraverso il rivestimento di fosforo interno al bulbo, vengono trasformate in luce visibile.

Queste sorgenti sono comunemente utilizzate in applicazioni che richiedono alta intensità luminosa, come illuminazione stradale e impianti industriali.

- SORGENTI A SCARICA VAPORI DI ALOGENURI METALLICI



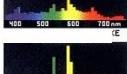
- Bulbo con rivestimento interno per favorire la conversione delle radiazioni.



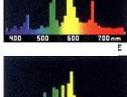
- Funzionamento:



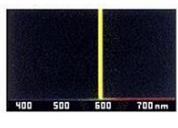
- Gli atomi di metalli e alogeni, liberati dalla dissociazione degli alogenuri metallici a causa delle alte temperature nel tubo di scarica, migliorano lo spettro della luce emessa.
- Questo processo integra le carenze dello spettro generato dal vapore di mercurio, producendo una luce con una migliore resa cromatica.



Queste sorgenti sono utilizzate per ottenere una luce bilanciata, ideale per illuminazione stradale e altre applicazioni che richiedono una buona qualità della luce.



- SORGENTI A SCARICA VAPORI DI SODIO A BASSA PRESSIONE



Le sorgenti a scarica a vapori di sodio a bassa pressione furono le prime sorgenti a scarica commercializzate, a partire dal 1932. Sono caratterizzate da una distribuzione spettrale monocromatica, emettendo luce principalmente

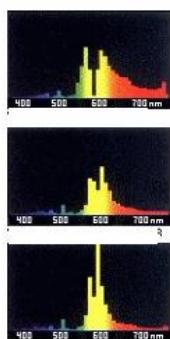
in una stretta banda spettrale.

- Composizione della sorgente:

- Il tubo di scarica è in vetro ripiegato a U, progettato per ridurre l'ingombro e limitare la dispersione di calore.
- Il tubo è isolato termicamente da un secondo bulbo di vetro che è rivestito internamente con ossido di indio.
- Tra i due bulbi è presente un vuoto, che contribuisce all'isolamento termico e al miglioramento delle prestazioni della sorgente.

Le sorgenti a vapori di sodio a bassa pressione sono comunemente utilizzate per illuminazione stradale e in applicazioni in cui è necessaria una luce intensa e altamente direzionale, anche se con una resa cromatica limitata a causa della loro emissione monocromatica.

- SORGENTI A SCARICA VAPORI DI SODIO AD ALTA PRESSIONE

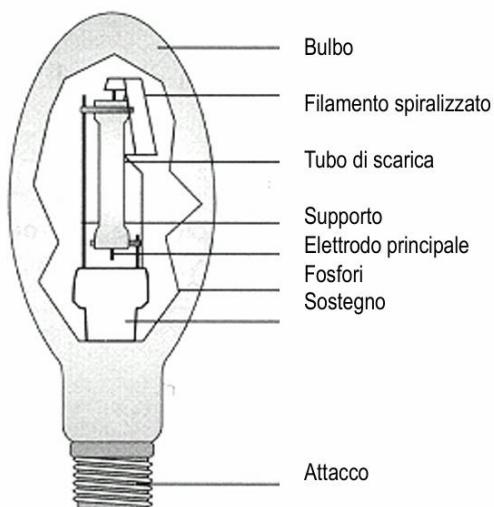


Le sorgenti a scarica a vapori di sodio ad alta pressione sono caratterizzate da un'alta efficienza luminosa e vengono utilizzate principalmente per applicazioni di illuminazione pubblica e industriale.

- Conformazione della sorgente:
 - Il tubo di scarica è realizzato in ossido di alluminio luminosintetizzato, un materiale ceramico resistente al sodio e alle alte temperature.
 - La pressione interna del tubo determina la distribuzione spettrale del flusso luminoso.
- Nel tubo di scarica sono presenti una lega di sodio e mercurio, insieme a un gas raro come xenon o neon mescolato con argon, al fine di favorire l'innesto della scarica.

Queste sorgenti emettono una luce più bilanciata rispetto alle sorgenti a bassa pressione, con una maggiore efficienza e una migliore resa cromatica. Sono ampiamente utilizzate per illuminazione stradale, illuminazione industriale e altre applicazioni che richiedono un'alta intensità luminosa.

SORGENTI A LUCE MISCELATA



Le sorgenti a luce mista combinano i principi di produzione della luce dell'incandescenza e della scarica nei gas, offrendo una soluzione che sfrutta i vantaggi di entrambi i sistemi.

Principio di funzionamento: Il filamento di tungsteno emette radiazioni visibili nelle bande dello spettro caratteristico del vapore di mercurio ad alta pressione (principalmente nelle lunghezze d'onda più alte, quindi rosso). Inoltre, il filamento funge da stabilizzatore di corrente all'interno della sorgente.

Queste sorgenti sono in grado di fornire una luce più bilanciata, combinando la resa cromatica dell'incandescenza con l'efficienza del vapore di mercurio, e sono utilizzate in molte applicazioni che richiedono un'illuminazione efficiente e di qualità.

RIEPILOGO SORGENTI LUMINOSE

Principio di funzionamento	Tipo di lampada	Potenza (W)	Efficienza (lm/W)	Durata utile (ore)	campi di impiego
incandescenza	normale a bulbo	25-100	8-12	1000	abitazioni, negozi
	normale a bulbo	100-1500	12-20	1000	negozi, locali di servizio
	ad alogeni	10-100	25-30	150	autoveicoli
	ad alogeni	100-2000	14-25	2000	atri, impianti sportivi, esterno edifici
luminescenza	a vapori di Hg	50-2000	35-65	6000-10000	capannoni industriali
	a luce miscelata	100-500	11-30	6000	fabbriche, magazzini, strade
	a vapori di Na (a bassa pressione)	18-210	72-145	10000	incroci, svincoli, gallerie stradali, aree all'aperto
	a vapori di Na (ad alta pressione)	70-1000	75-120	9000	capannoni industriali, strade, aeroporti, porti
fluorescenti	normali	18-58	40-75	6000-8000	officine
	ad alta emissione	115-215	55-62	6000-8000	officine
	ad alta resa cromatica	18-58	51-76	6000-8000	impieghi civili e industriali

LE SORGENTI DI LUCE ARTIFICIALE: GLI APPARECCHI

Gli apparecchi di illuminazione sono progettati per svolgere diverse funzioni e possono essere classificati in base alla distribuzione del flusso luminoso e alla modalità di controllo. Ecco una panoramica delle loro principali caratteristiche:

CRITERI DI SCELTA DEGLI APPARECCHI

GARANTIRE IL COMFORT

GARANTIRE LA SICUREZZA DEGLI UTENTI

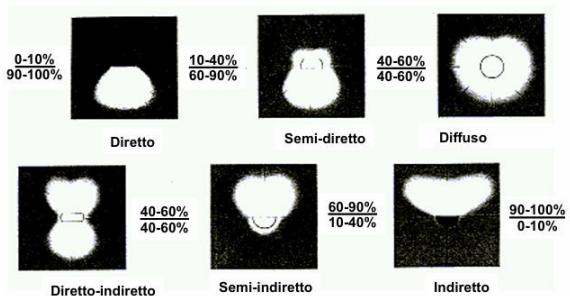
GARANTIRE LA COMPATIBILITÀ FISICA ED ESTETICA CON L'AMBIENTE

MINIMIZZARE I COSTI DI MANUTENZIONE

Funzioni degli Apparecchi:

- Modifica della distribuzione fotometrica delle sorgenti: Gli apparecchi modificano la distribuzione della luce emessa dalle sorgenti per ottenere l'illuminazione desiderata in uno specifico ambiente.
- Alimentazione della sorgente: Forniscono l'energia necessaria per far funzionare la sorgente luminosa.
- Protezione della sorgente: Proteggono la sorgente stessa da danni meccanici o ambientali.
- Protezione degli utilizzatori da contatti accidentali: Gli apparecchi sono progettati per evitare che le persone vengano in contatto diretto con componenti elettrici o parti calde, garantendo la sicurezza dell'utente.

Classificazione degli Apparecchi:



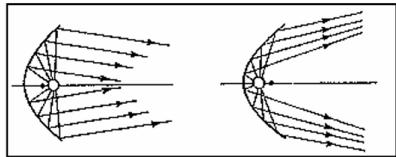
Gli apparecchi di illuminazione sono classificati in base a due aspetti principali:

1. Ripartizione del flusso luminoso: Descrive come il flusso luminoso viene distribuito dall'apparecchio, ed è suddiviso in categorie:
 - Diretto: La luce emessa è diretta verso il piano orizzontale.
 - Semi-diretto: Una parte della luce è diretta, e una parte è diffusa.
 - Diffuso: La luce è distribuita uniformemente.
 - Diretto-indiretto: Combina luce diretta e indiretta.
 - Semi-indiretto: Combinazione di luce diffusa e semi-diretta.
 - Indiretto: La luce è riflessa verso il piano orizzontale.
2. Modalità di controllo e distribuzione del flusso: Descrive i dispositivi utilizzati per manipolare il flusso luminoso, tra cui:
 - Riflettori: Modificano il flusso luminoso utilizzando parabole o superfici riflettenti per deviare la luce in direzioni desiderate.

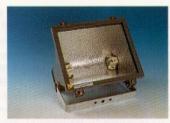
- Lenti: Rifrangono la luce tramite superfici curve, come le lenti di Fresnel.
- Riflettori sferici e parabolici: Riflettono la luce verso una direzione predeterminata.
- Diffusori: Materiali come vetro opalino, plastica traslucida, o stoffe che diffondono la luce per ridurre la luminanza dell'apparecchio.
- Schermi: Controllano la luce emessa, nascondendo la sorgente alla vista in alcune direzioni.
- Filtri: Elementi che filtrano la luce per ottenere una colorazione specifica o per bloccare componenti spettrali indesiderati, come UV o IR.

RIFLETTORI

Il flusso totale uscente dall'apparecchio è la somma di quello prodotto direttamente dalla sorgente e di quello riflesso dalla parabola.



Effetto dello spostamento della sorgente puntiforme col medesimo riflettore



Riflettore parabolico allungato



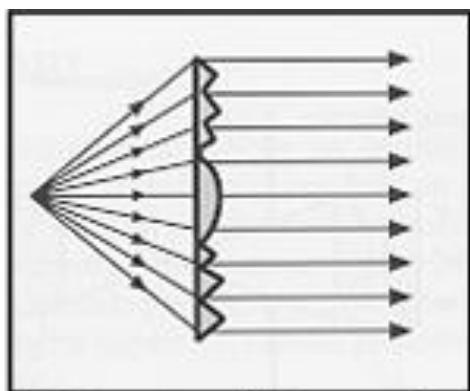
Riflettore sferico parabolico



Riflettore lisci e sfaccettati

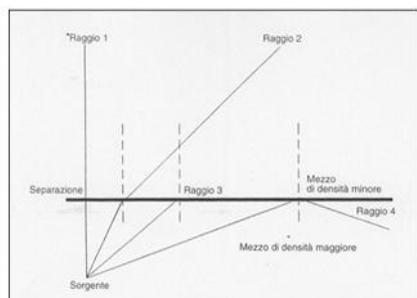
LENTI

Determinano una rifrazione mediante due superfici curve

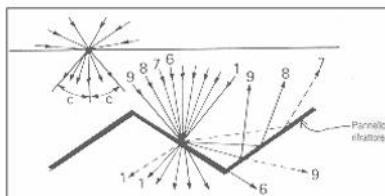
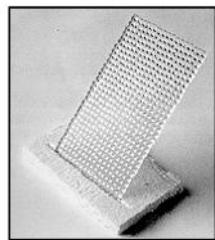


Lente di Fresnel

RIFRATTORI



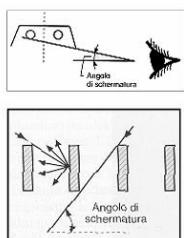
I rifrattori sono dispositivi costituiti da un pannello orizzontale di materiale plastico, con la parte liscia rivolta verso la sorgente luminosa e quella prismatica sul lato opposto. Questi elementi sfruttano il fenomeno della riflessione totale interna, che permette di dirigere il flusso luminoso in modo controllato. Questo principio ottico consente di ottenere una distribuzione più uniforme della luce, minimizzando la dispersione e migliorando l'efficienza dell'illuminazione.



DIFFUSORI

I diffusori sono dispositivi costituiti da materiali come vetro opalino, plastico traslucido, carta pergamena, stoffe e altri materiali trasmittenti-diffondenti. La loro funzione principale è quella di ridurre la luminanza dell'apparecchio, disperdendo la luce in modo più uniforme. Questo processo aiuta a diminuire i punti di alta intensità luminosa, creando un'illuminazione più morbida e diffusa, migliorando il comfort visivo e la distribuzione della luce nell'ambiente.

SCHERMI



Gli schermi hanno la funzione di controllare e convogliare la luce emessa, nascondendo le sorgenti luminose dalla vista in determinate direzioni di osservazione. Questo consente di ridurre l'abbagliamento diretto e migliorare il comfort visivo, garantendo una distribuzione controllata della luce nell'ambiente.

FILTRI

I filtri sono elementi realizzati in vetro o materiale plastico, spesso addittivati con pigmenti o ricoperti da sostanze assorbenti.

Funzioni principali:

- Filtrare componenti spettrali indesiderate, come la radiazione ultravioletta (UV) o infrarossa (IR).
- Ottenere luce colorata, modulando lo spettro luminoso emesso.

PARAMETRI CARATTERIZZANTI LE SORGENTI LUMINOSE

FLUSSO LUMINOSO

Il flusso luminoso è la quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo, considerando l'intero spettro visibile.

Indica l'effettiva percezione visiva dell'energia luminosa emessa, tenendo conto della sensibilità dell'occhio umano alle diverse lunghezze d'onda.

A INCANDESCENZA			A SCARICA			A LUCE MISCELATA		
	W	lm		W	lm		W	lm
TRASPARENTE	15-1000	90-18800		FLUORESCENTE COMPATTA	3-55	100-4800		
CON RIFLETTORE	25-300	290-1100		FLUORESCENTE LINEARE	4-80	120-7000		
ALOGENA	25-250	460-4200		FLUORESC. LIN. Ra	6-58	220-3750		
ALOGENA LINEARE	60-2000	840-44000		VAPORI DI MERCURIO	50-1000	1600-58000		
ALOGENA bassa tensione	5-100	60-2200		VAPORI DI MERCURIO Ra	106-260	1100-5500		

EFFICIENZA LUMINOSA

L'efficienza luminosa misura il rendimento di una sorgente luminosa, ovvero il rapporto tra il flusso luminoso emesso (in lumen) e la potenza elettrica consumata (in watt).

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_e} = \frac{\text{FLUSSO LUMINOSO EMESSO}}{\text{POTENZA ELETTRICA ASSORBITA}} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

A INCANDESCENZA			A SCARICA			A LUCE MISCELATA		
	W	lm		W	lm		W	lm
TRASPARENTE	15-1000	90-18800	6-19	FLUORESCENTE COMPATTA	3-55	100-4800	33-87	
CON RIFLETTORE	25-300	290-1100	4-12	FLUORESCENTE LINEARE	4-80	120-7000	30-88	
ALOGENA	25-250	460-4200	12-18	FLUORESC. LIN. Ra	6-58	220-3750	37-65	
ALOGENA LINEARE	60-2000	840-44000	14-22	VAPORI DI MERCURIO	50-1000	1600-58000	32-58	
ALOGENA bassa tensione	5-100	60-2200	12-22	VAPORI DI MERCURIO Ra	106-260	1100-5500	10-26	

	W	lm	lm/W
STANDARD	160-500	3100-14000	19
DE LUXE Ra	250-1000	5600-32000	22-32

DURATA MEDIA

La durata media di una sorgente luminosa rappresenta il periodo di funzionamento al termine del quale, in un lotto di sorgenti sottoposte a condizioni standard di prova, il 50% delle sorgenti cessa di funzionare.

Questo parametro è utilizzato per stimare la vita utile tipica di una sorgente luminosa e per confrontare l'affidabilità di diverse tecnologie di illuminazione.

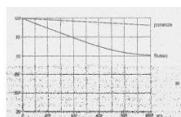
A INCANDESCENZA		A SCARICA		A LUCE MISCELATA	

	W	ore		W	ore		W	ore
TRASPARENTE	15-1000	1000	FLUORESCENTE COMPATTA	3-55	3000-4000	STANDARD	160-500	6000-7500
CON RIFLETTORE	25-300	1000	FLUORESCENTE LINEARE	4-80	3000-7500	DE LUXE Ra	250-1000	6000-7500
ALOGENA	25-250	3000	FLUORESC. LIN. Ra	6-58	2700-4000			
ALOGENA LINEARE	60-2000	1500-3000	VAPORI DI MERCURIO	50-1000	13000-22000			
ALOGENA bassa tensione	5-100	3000	VAPORI DI MERCURIO Ra	106-260	1600-13000			
			VAPORI DI SODIO ALTA P	35-1000	8000-12000			
			VAPORI DI SODIO ALTA P. Ra	143-385	5000			
			VAPORI DI SODIO BASSA P	18-185	10000			
			IODURI METALLICI	39-3500	6000-9000			
			IODURI METALLICI Ra	150-2000	6000-9000			
			INDUZIONE QL 85/83	85	60000			
			INDUZIONE QL 55/83	55	60000			

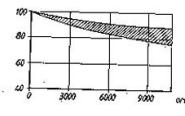
DECADIMENTO DEL FLUSSO LUMINOSO

$$D = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \cdot 100$$

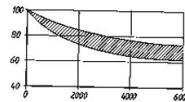
FLUSSO EMESSO AL TERMINE DELLA DURATA MEDIA
FLUSSO EMESSO INIZIALE



Sorgente incandescente



Sorgente a vapori di mercurio ad alta pressione



Sorgente ad alogenuri metallici

Il decadimento del flusso luminoso rappresenta la progressiva perdita di capacità di una sorgente di emettere luce nel tempo, anche se rimane tecnicamente funzionante.

Questo fenomeno può essere attribuito a diversi fattori, come il deterioramento dei materiali che compongono la sorgente, la formazione di depositi all'interno del bulbo o l'usura del sistema di alimentazione e del rivestimento dei fosfori, nel caso di sorgenti fluorescenti. Il decadimento del flusso luminoso è un aspetto cruciale da considerare per valutare sia la qualità sia la durata reale di una sorgente luminosa, soprattutto in contesti dove è

INDICE DI RESA CROMATICA

L'indice di resa cromatica (IRC) misura la capacità di una sorgente luminosa di riprodurre fedelmente i colori degli oggetti rispetto a una sorgente di riferimento, come la luce naturale o una sorgente standard.

Questo parametro, espresso su una scala da 0 a 100, indica quanto i colori appaiono naturali sotto una determinata illuminazione: un valore alto (vicino a 100) corrisponde a una resa cromatica eccellente, mentre valori bassi indicano una percezione dei colori alterata. L'IRC è un elemento fondamentale per scegliere la sorgente luminosa più adatta in ambienti dove la qualità della luce è cruciale, come negozi, musei o studi fotografici.

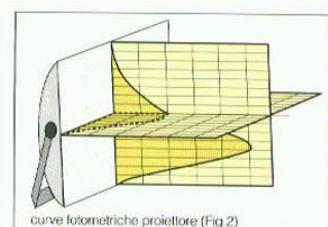
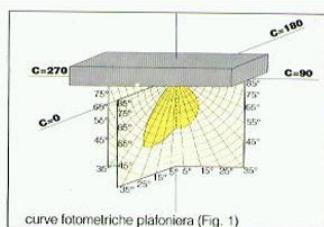
A INCANDESCENZA		A SCARICA		A LUCE MISCELATA	
	W	Ra		W	Ra
TRASPARENTE	15-1000	100	FLUORESCENTE COMPATTA	3-55	85-95
CON RIFLETTORE	25-300	100	FLUORESCENTE LINEARE	4-80	65-85
ALOGENA	25-250	100	FLUORESC. LIN. Ra	6-58	>85
ALOGENA LINEARE	60-2000	100	VAPORI DI MERCURIO	50-1000	50
ALOGENA bassa tensione	5-100	100	VAPORI DI MERCURIO Ra	106-260	61-72
			VAPORI DI SODIO ALTA P	35-1000	20-40
			VAPORI DI SODIO ALTA P. Ra	143-385	60-85
			VAPORI DI SODIO BASSA P	18-185	-
			IODURI METALLICI	39-3500	80-85
			IODURI METALLICI Ra	150-2000	>85
			INDUZIONE QL 85/83	85	>80
			INDUZIONE QL 55/83	55	>80

TEMPERATURA DI COLORE

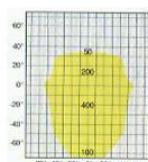
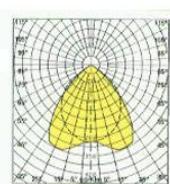
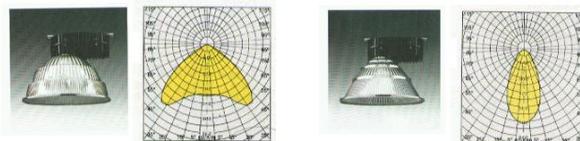
La temperatura di colore rappresenta la tonalità della luce emessa da una sorgente luminosa e viene espressa in gradi Kelvin (K). Essa indica la temperatura a cui un corpo nero dovrebbe essere riscaldato per emettere una radiazione luminosa con una tonalità simile a quella della sorgente.

INDICATRICE DI EMISSIONE

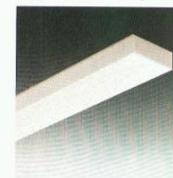
L'indicatrice di emissione è una curva che descrive come l'intensità luminosa di un apparecchio si distribuisce nello spazio, considerando un piano che attraversa il centro luminoso della sorgente.



RIFLETTORI



RIFRATTORI



SCHERMI

