

Illuminotecnica

La natura della luce

La luce è un fenomeno fisico di natura energetica. Se per esempio riscaldiamo un corpo di materiale metallico fino ad una certa temperatura otteniamo una emissione luminosa. La propagazione avviene sotto forma di radiazioni nello spazio vuoto e nei materiali solidi, liquidi e aeriformi, che consideriamo trasparenti alla luce. Una teoria scientifica, la teoria ondulatoria della luce, interpreta queste radiazioni come onde elettromagnetiche.

La luce è quindi la sensazione prodotta sull'occhio umano da onde elettromagnetiche: un alternarsi ciclico di campi elettrici e magnetici concatenati, generati da rapidissime oscillazioni di cariche elettriche, variabili in intensità con legge sinusoidale e perpendicolari alla direzione in cui si muovono le radiazioni. Assunta come fenomeno di tipo ondulatorio, la radiazione elettromagnetica è caratterizzata da due grandezze fisiche: la lunghezza d'onda λ e la frequenza f .

La lunghezza d'onda è la distanza espressa in nanometri ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) percorsa dall'onda durante un ciclo completo di oscillazione. La frequenza è il numero di cicli completi di oscillazione che avvengono in ogni secondo, e si esprime in hertz, hz.

Queste due grandezze sono legate alla velocità di propagazione: $v = \lambda \cdot f$.

La velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche è di circa 300000 km/s.

L'insieme delle radiazioni conosciute è rappresentato nello spettro elettromagnetico che segue rappresentato in figura 1.

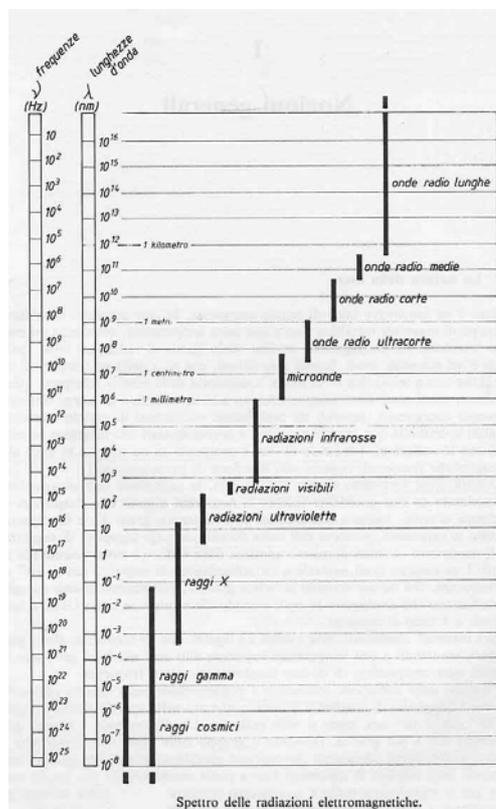


Figura -1-

L'intervallo di lunghezza d'onda contenuto nello spettro è molto ampio: dai 10^{-5} nm ai 10^{16} mm , come si vede nella figura 1. Procedendo a ritroso dalle radiazioni con λ più grande, troviamo il gruppo delle onde radio (lunghe, medie, corte, ultracorte). Le più lunghe sono utilizzate per la trasmissioni radio a grandissima distanza; le più corte servono nei trasmettitori e ricevitori radiofonici, televisivi e nei radar. Numerose sono le implicazioni delle microonde: nelle ricerche di fisica delle particelle e di radioastronomia, in medicina, negli allarmi antintrusione e nei forni per la cottura in profondità dei cibi. Per quest'ultima si sfrutta la singolare proprietà delle microonde di disperdere una parte della loro energia sotto forma di calore all'interno dei corpi intercettati.

La proprietà di trasferire energia termica contraddistingue la famiglia delle radiazioni infrarosse ripartite come segue in tabella 1 :

Radiazioni infrarosse	Intervalli di lunghezza d'onda (nm)
IR-A	780 ÷ 1400
IR-B	1400 ÷ 3000
IR-C	3000 ÷ 1 000 000

Tabella -1-

Anche per le radiazioni ultraviolette si usa un pratico criterio di raggruppamento convenzionale, Tab. 2, che serve a classificarle in funzione degli effetti prodotti sugli organismi viventi e sui materiali irraggiati.

Radiazioni ultraviolette	Intervalli di lunghezza d'onda (nm)
UV-A	315 ÷ 400
UV-B	280 ÷ 315
UV-C	100 ÷ 280

Tabella -2-

La banda dei raggi ultravioletti si sovrappone in parte a quella dei raggi x e questi a loro volta invadono il campo dei raggi gamma (si sprigionano dalle esplosioni nucleari). Dagli spazi siderali riceviamo sia i raggi gamma che i raggi cosmici. Insieme occupano l'area estrema dello spettro.

Le radiazioni che l'organo visivo dell'uomo è in grado di ricevere e di tradurre in impulsi nervosi occupano una piccola porzione dello spettro: da 380 nm (limite dell'ultravioletto) a 780 nm (limite dell'infrarosso).

Definiamo luce la sensazione prodotta dalle radiazioni comprese tra questi valori estremi di λ .

In quella piccola regione dello spettro elettromagnetico è concentrata l'energia indispensabile alla vita di tutta la biosfera.

Onde elettromagnetiche visibili di diversa lunghezza d'onda danno una percezione diversa degli oggetti e del loro colore. Il colore è infatti una sensazione ottica che dipende dalle lunghezze d'onda che un corpo non assorbe, cioè riflette.

La sensibilità del corpo umano è massima per il colore giallo-verde (550 nm) e decade rapidamente sia verso l'ultravioletto che verso l'infrarosso (vedi figura 2).

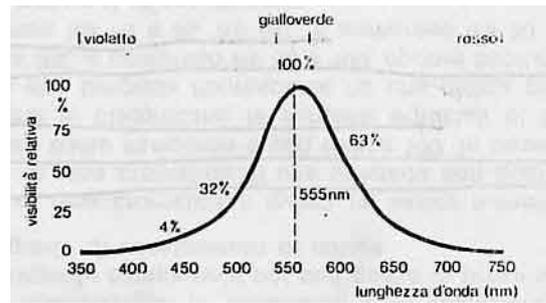


Figura -2-

Questo concetto verrà ripreso più avanti.

Una luce è detta monocromatica se costituita da onde elettromagnetiche di uguale lunghezza d'onda che rivelano un solo colore (per esempio le lampade al sodio a bassa pressione).

La luce del sole o quella di una lampada ad incandescenza è invece a spettro continuo (luce bianca) poiché comprende tutta la gamma delle lunghezze d'onda visibili. Un raggio di luce bianca, attraversando un prisma di vetro, si scompone nei colori fondamentali. La successione dei colori dello spettro visibile è quella dell'arcobaleno. Alla fine le componenti cromatiche che l'occhio distingue sono quelle dell'iride: violetto, indaco, blu, verde, giallo, arancione, rosso. Ma infinite sono le possibili commistioni tra questi colori spettrali e innumerevoli le modulazioni date dai rispettivi gradi di saturazione e di luminosità. Nonostante l'enorme varietà possiamo sempre ricondurre un colore alle sue componenti originarie (Tab. 3).

Intervalli di lunghezze d'onda e di frequenze per le principali tonalità dei colori		
Tonalità dei colori	Lunghezze d'onda (nm)	Frequenze (Hz × 10 ¹²)
Viola	< 425	> 705
Indaco	425 ÷ 486	705 ÷ 617
Blu	486 ÷ 493	617 ÷ 608
Blu-verde	493 ÷ 510	608 ÷ 588
Verde	510 ÷ 552	588 ÷ 543
Verde-giallo	552 ÷ 573	543 ÷ 523
Giallo	573 ÷ 587	523 ÷ 511
Arancio	587 ÷ 645	511 ÷ 465
Rosso	> 645	< 465

Tabella -3-

Resa dei colori delle sorgenti luminose

Una parete appare verde o rossa perché riflette le radiazioni luminose verdi o rosse e assorbe tutte le altre radiazioni dello spettro.

La buona resa dei colori da parte di una sorgente artificiale di luce è condizionata quindi dal fatto che essa emetta tutti i colori dello spettro. Se dovesse mancare un colore qualsiasi, questo non potrebbe essere riflesso.

Proprio per questi motivi le proprietà di una lampada, per gli effetti di resa dei colori, vengono valutate attraverso l'indice di resa cromatica (IRC).

Questo fattore viene determinato confrontando la luce emessa dalla lampada in esame con la luce di una sorgente campione avente la stessa temperatura di colore.

L'indice di resa cromatica è un valore numerico che confronta la resa cromatica di una lampada con quella della luce presa come campione e con indice 100.

In questo modo riusciamo a classificare le sorgenti artificiali: avremo una lampada a ottima resa cromatica se IRC è compreso tra 85 e 100; buona tra 70 e 85, discreta tra 50 e 70. Vedi tabella 4 per alcuni valori di resa cromatica di lampade per interni:

Gruppi di resa dei colori definiti dalla CIE per le lampade impiegate in ambienti interni				
Gruppo di resa dei colori	Campo degli indici di resa dei colori	Tonalità	Esempi d'applicazione	
			consigliabile	accettabile
1A	$R_a \geq 90$	tutte	comparazione colori, esami clinici, pinacoteche	
1B	$80 \leq R_a < 90$	calda intermedia	case, alberghi, ristoranti, uffici, ospedali, scuole e negozi	
		intermedia fredda	industrie tessili, grafiche, di meccanica fine	
2	$60 \leq R_a < 80$	tutte	edifici industriali	
3	$40 \leq R_a < 60$		industrie pesanti	edifici industriali
4	$20 \leq R_a < 40$			industrie pesanti

Tabella -4-

Temperatura di colore (Kelvin)

Questa caratteristica è considerata una valutazione del colore delle sorgenti luminose, definisce semplicemente il colore della luce. Anche se questa grandezza non si misura con il termometro e collegata con il concetto di calore. Infatti i fisici per stabilire rapporti più precisi e chiari tra temperatura e colore hanno preso in esame un corpo nero, considerato la sorgente ideale capace di emettere in tutte le zone dello spettro il massimo dell'energia raggiante e di assorbire completamente l'energia radiante che lo colpisce. Definiamo temperatura di colore la temperatura alla quale il corpo deve essere portato affinché emetta una luce il più possibile simile a quella della sorgente presa in esame.

Il corpo nero, praticamente viene realizzato utilizzando una cavità con le pareti annerite dal fumo e dalla cui apertura escono le radiazioni.

Se il corpo viene riscaldato con temperature crescenti si può osservare che dalla cavità esce una luce che diventa sempre più bianca e intensa con l'aumentare della temperatura. Vedi, a seguire l'individuazione delle temperature di colore nel diagramma cromatico CIE in *Figura -3-*:

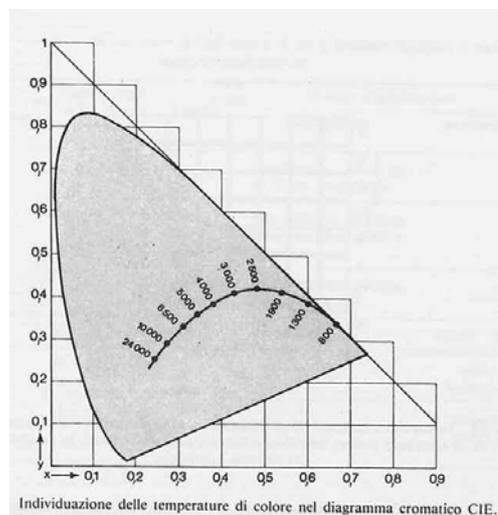


Figura -3- (Curva ove si collocano le temperature di colore del corpo nero)
 Dire che una lampada ha una temperatura di colore di 3000 K significa che la luce prodotta da essa ha la stessa tonalità di quella generata dal corpo nero portato alla temperatura di riferimento di 3000 K.

Nella tabella 5 che segue si trovano alcuni valori di temperature di colore di sorgenti naturali e artificiali :

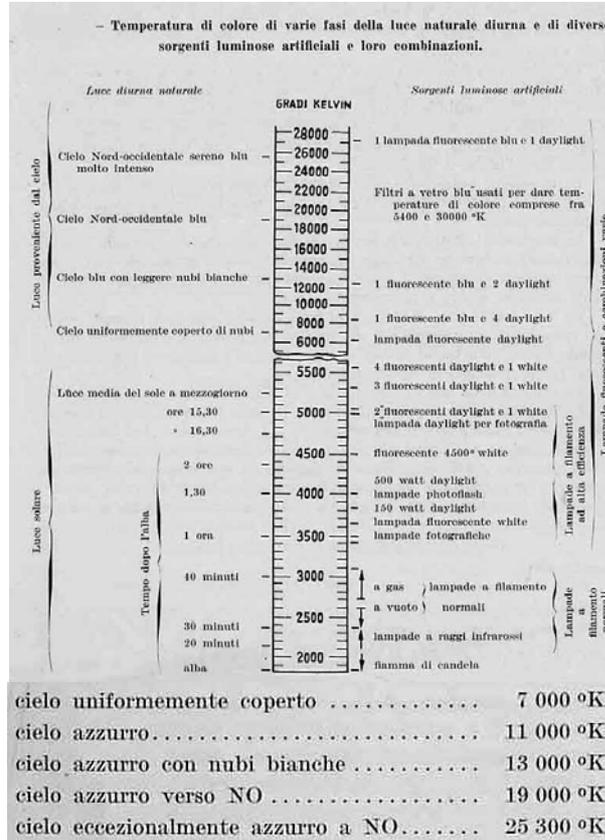


Tabella -5-

Come abbiamo visto tra questi colori puramente indicativi si inseriscono le temperature di colore delle varie tipologie di lampade . Ad esempio la temperatura di colore di una lampada ad incandescenza da 40 W è di 2800 K, mentre una da 500 W è di 2960 K.

Dati relativi ad alcune lampade fluorescenti :

Dati relativi ad alcune lampade fluorescenti

Categoria	Temperatura di colore K	Cromaticità		Indice di resa dei colori IRC
		x	y	
Luce bianca- calda standard (colore 3)	2 950	0,438	0,401	53
Luce bianca standard (colore 2)	4 250	0,372	0,376	67
Luce diurna standard (colore 1)	6 700	0,309	0,327	82
Luce diurna speciale (colore 1)	7 400	0,301	0,319	93

Colore e sistemi di misura

Se l'oscillazione completa di un'onda elettromagnetica avviene alla frequenza f , conoscendo la velocità di propagazione v' dell'onda nel mezzo considerato possiamo facilmente ricavare la sua lunghezza d'onda λ : è sufficiente calcolare il rapporto $\frac{v'}{f}$.

Infatti, la frazione o il multiplo di secondo necessari per una oscillazione sono dati da $\frac{1}{f}$; quindi con il valore della velocità abbiamo lo spazio che l'onda percorre in

quello spazio di tempo:
$$\lambda = \frac{v'}{f}$$

La velocità della luce nel vuoto indicata con la lettera c , come abbiamo detto prima, equivale a circa 300000 km/s. Nell'aria v' è pressoché uguale a c . Nei mezzi materiali solidi e liquidi il valore di v' è solitamente inferiore. Vale la relazione:

$$v' = \frac{c}{n}$$

In cui n è l'indice di rifrazione del mezzo di propagazione. Vedi tab 6 Libro superiori

La lunghezza d'onda varia secondo il mezzo attraversato dalla luce e risulta tanto più corta tanto più diminuisce la velocità nel passaggio da un mezzo ad un altro. In uno stesso mezzo, ossia a parità di velocità della luce, frequenza e lunghezza d'onda sono inversamente proporzionali. Tanto più si incrementa il valore di f , tanto più è piccola la λ dell'onda trasmessa.

L'organo della vista è stimolato in maniera differente dalle varie lunghezze d'onda. L'uomo percepisce un colore per ogni radiazione individuata da un certo valore di λ (vedi tab.3).

La valutazione individuale di un colore dipende da numerosi fattori fisiologici e psicologici. Infatti il fascio di luce che dall'oggetto osservato arriva all'occhio dipende sia dalla composizione dello spettro della radiazione, ma anche dalla capacità dell'occhio a recepire alcune radiazioni più di altre. Sappiamo infatti che l'organo recettore della vista è la retina composta da due sistemi diversi: il sistema dei coni (cellule situate per la maggior parte nella zona centrale dell'occhio), che condiziona la visione con forte illuminazione e quella dei colori; il sistema dei bastoncelli (cellule nella zona periferica della retina) dal quale dipende la visione con illuminazione scarsa, acromatica. Il problema della visione fotopica (con luce diurna) mesopica e scotopica (per intensità decrescenti di luce) lo affrontiamo più avanti parlando del flusso luminoso. Essendo come abbiamo detto la visione dei colori soggettiva, ci viene necessario definire un sistema di valutazione che non dia luogo ad equivoci. Per questo motivo la CIE (commissione internazionale per l'illuminazione), basandosi sul fatto che qualunque gradazione di colore può ottenersi sommando tra loro, in dovute proporzioni, i tre colori fondamentali (rosso, verde, blu, vedi fig.4), ha messo a punto un metodo attraverso il quale è possibile calcolare le caratteristiche spettrali di sorgenti primarie normalizzate, capaci di riprodurre tutti i colori per miscela additiva.

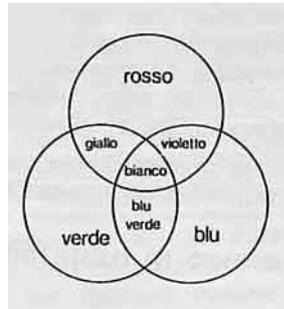


Figura -4-

Tale metodo è rappresentato dal triangolo dei colori o diagramma tricromatico, (fig.5), che permette la determinazione delle due caratteristiche fondamentali del colore: la lunghezza d'onda e la purezza. In questo modo possiamo definire completamente un colore se abbiamo le due coordinate x,y.

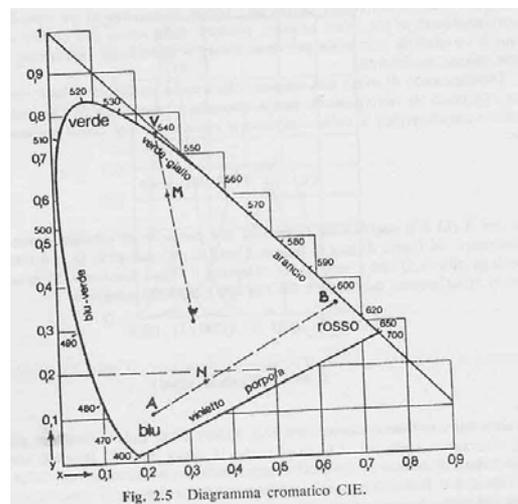


Figura -5-

(diagramma tricromatico . Lungo la curva a forma di campana sono situati i colori spettrali indicati mediante la loro lunghezza d'onda. Nel punto W è collocato il bianco)

Grandezze fotometriche

- **Flusso luminoso**

Definizione : quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo.

Simbolo : ϕ (leggi fi)

Unità di misura : 1 lumen (*lm*)

Paragone idraulico : si può paragonare il flusso luminoso alla portata continua di acqua (litri al secondo) che sprizza in tutte le direzioni da un rubinetto o da una doccia.

Il flusso è quindi pensabile come la traduzione, in termini di emissione luminosa , di una potenza a conferma della natura energetica della luce.

Quando riforniamo di energia (termica, elettrica, cinetica...) un qualunque dispositivo che sia in grado di trasformare l'energia assorbita in energia luminosa , cioè in radiazioni elettromagnetiche contenute nella banda spettrale del visibile , ricaviamo un flusso luminoso , nel rispetto del primo principio della termodinamica o principio di conservazione dell'energia.

Potremmo adottare direttamente i watt di potenza assorbita per misurare il flusso luminoso. Sappiamo però come abbiamo detto prima che la sensibilità del nostro organo visivo alle radiazioni non è la stessa per tutte le loro frequenze e lunghezze d'onda.

L'occhio umano risponde alla sollecitazione provocata da radiazione le cui λ sono comprese in ristretto intervallo , con una catena di impulsi nervosi di massima intensità. Essa decresce man mano che ci si allontana da questo intervallo. Non sarebbe corretto perciò considerare tutta uguale la potenza emessa da ogni lunghezza d'onda.

Occorre tenere presente che è tale perché stimola un apparato visivo che possiede le sue regole e le sue modalità di ricezione energetica , non un semplice ,neutrale e fedele strumento di registrazione dei segnali luminosi.

Potremmo dire che una parte del flusso è più importante per l'occhio .(come già sottolineato in fig.1). Ed è per questa ragione che nel calcolo del flusso luminoso generato da una sorgente ,si tiene conto della caratteristica sensibilità dell'occhio umano. A tale scopo è stata studiata accuratamente la risposta dell'organo alle radiazioni di varie lunghezze d'onda e si è scoperto che , allorchè la visione avviene in condizioni di luce diurna (visione fotopica) , la sensibilità maggiore si registra per $\lambda = 555nm$.

La CIE ha codificato un occhio medio internazionale ,avente una sensibilità media convenzionale, stabilito da una elaborazione statistica compiuta sulla scorta di rilievi condotti su un gran numero di esperienze campione. È stato così definito un fattore di visibilità relativa $V(\lambda)$, funzione di ciascuna λ , valido per la visione in condizioni fotopiche. Riprendo la fig.1 in cui è rappresentato il diagramma a campana della funzione $V(\lambda)$.

Nella tabella 6 sono riportati gli intervalli di illuminamento e luminanze per i tre tipi di visione ,fotopica, mesopica e scotopica.

Tipi di visione	Intervalli di illuminamento (lx)	Intervalli di luminanze ($\frac{cd}{m^2}$)
Visione fotopica	100000 ÷ 10	$10^{-6} \div 3$
Visione mesopica	10 ÷ 0.005	$3 \div 10^{-2}$
Visione scotopica	0.005 ÷ $5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-2} \div 10^{-6}$

Tabella -6-

La visione fotopica ha luogo in presenza di intensità luminose di una certa entità. Per intensità decrescenti la visione è chiamata mesopica e scotopica.

Definiremo in seguito il significato dei termini illuminamento e luminanza e le relative unità di misura , lx e $cd \cdot m^{-2}$, che compaiono nella tabella.

In condizioni di visione scotopica o notturna, con deboli intensità luminose, cambia la curva del fattore di visibilità relativa. Il massimo si registra per λ circa 505 nm. Quando l'occhio si è adattato all'oscurità , la sensibilità massima si sposta verso λ più corte. Mentre i 555nm della visione fotopica corrispondono ,come abbiamo accennato in precedenza, al colore giallo-verde, i 510nm della visione scotopica corrispondono al blu-verde. Al diminuire della luminosità generale dell'ambiente oltre le soglie indicate, l'occhio perde la sensibilità per le tonalità del rosso e però distingue ancora bene i verdi, gli azzurri e i blu. Assumendo come soglia dei rossi i 650nm , notiamo nella fig. 6 che il valore di $V(\lambda)$ per tale λ è molto basso ($V(\lambda) = 0.0041$). Al calare delle tenebre , secondo il tipico comportamento dell'occhio umano chiamato "effetto Purkinje", il rosso appare nero, mentre il verde mantiene ancora la sua aromaticità.

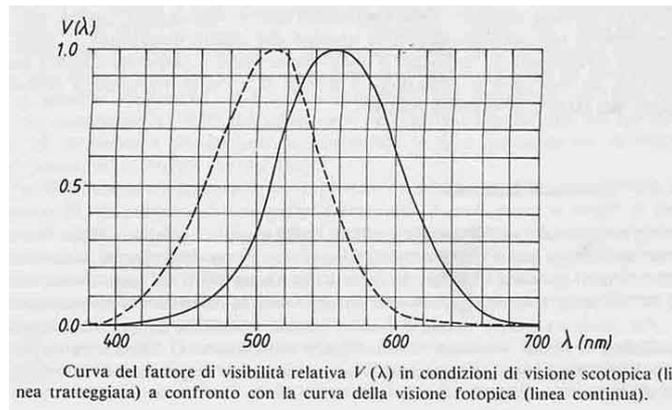


Figura -6-

Introdotta il concetto di visibilità relativa occorre, presa in esame un'emissione contenuta in una determinata banda spettrale, indagare per ogni λ quanta energia sia effettivamente generata e porre in relazione tale quantità con la sensibilità media convenzionale dell'occhio umano. Il flusso luminoso, grandezza fisica scalare, è dato dall'integrale definito tra i due limiti del visibile ($\lambda = 380nm$ e $\lambda = 780nm$) del prodotto tra la potenza della radiazione monocromatica emessa ϕ_λ e il fattore di visibilità relativa $V(\lambda)$. Una costante K_m , converte i watt in lumen, unità di misura del flusso luminoso.

$$\phi = K_m \int_{380nm}^{780nm} \phi_\lambda V(\lambda) d\lambda$$

in cui:

ϕ : flusso luminoso emesso dalla sorgente in esame (lm)

K_m : costante che converte i watt in lumen di potenza luminosa relativa alle varie λ di emissione; il suo valore è $683lm \cdot W^{-1}$ come stabilito dalle convenzioni internazionali .

ϕ_λ : potenza della radiazione energetica emessa di data $\lambda(W)$;

$V(\lambda)$: fattore di visibilità relativa .

Nell'ipotesi del tutto teorica che la sorgente generi luce nell'intervallo infinitesimo di λ intorno al valore di $555nm$, il fattore di visibilità relativo è massimo ($V(\lambda) = 1$) e tutta l'energia assorbita è trasformata in lumen. Se l'energia assorbita equivale ad $1W$, abbiamo un flusso di $683lm$ con un rendimento teorico di flusso massimo. Tale rendimento non è raggiungibile perché non disponiamo di una sorgente di pratico impiego che emetta unicamente in quell'intervallo infinitesimo di lunghezza

d'onda . Nella realtà il fascio luminoso è costituito da un miscuglio di radiazioni di differenti λ , a cui corrispondono differenti valori del fattore di visibilità relativa .

Ordini di grandezza:

Lampade ad incandescenza , subminiatura per segnalazioni: $1lm$

Lampada da bicicletta da 2 watt: $18lm$

Lampada ad incandescenza da 40W : $350lm$

Lampada ad incandescenza da 200W : $3000lm$

Lampada fluorescente a catodo caldo da 40W : $2500lm$

Lampada a vapore di mercurio a 400W : $23000lm$

Lampada a vapore di sodio ad alta pressione da 400W : $38000lm$

- **Intensità luminosa**

Definizione : parte del flusso luminoso emesso in una determinata direzione da una sorgente luminosa per l'angolo solido che la contiene .

Simbolo : I

Unità di misura : Candela (cd)

Paragone idraulico : Intensità di un getto d'acqua in una determinata direzione .

Nello studio dei fasci luminosi prodotti dalle sorgenti è di particolare interesse valutare quanta parte del flusso si propaga verso una determinata direzione. In altri termini interessa calcolare la densità dei lumen entro un cono ideale che ha il vertice nella sorgente e come asse longitudinale la direzione di propagazione. Per compiere questo esame si ricorre appunto all'intensità luminosa I definita dal rapporto tra il flusso luminoso infinitesimale $d\phi$ emesso entro l'angolo solido infinitesimale $d\Omega$ e lo stesso angolo solido:

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

L'intensità luminosa corrisponde alla quantità di flusso luminoso per unità di angolo solido in una determinata direzione .Ricordiamo che per angolo solido intendiamo la grandezza geometrica che serve a misurare gli angoli nello spazio, considerando la loro apertura non in due direzioni, come per gli angoli che giacciono su superfici piane, bensì nelle tre dimensioni spaziali. La sua unità di misura è lo steradiante (sr).

Per quanto riguarda l'unità di misura, nel SI la candela è l'unità fondamentale della fotometria. Di conseguenza è da essa che si fanno derivare tutte le altre grandezze fotometriche, e non dal flusso luminoso. Il lumen pertanto si fa discendere dalla candela, più da ragioni di ordine storico che da motivazioni propriamente scientifiche (tradizione che risale alle origini settecentesche della disciplina della fotometria: all'epoca era più agevole misurare intensità piuttosto che flussi). Per facilitare il rapporto tra lumen e candela, si supponga di disporre di una sorgente di luce perfettamente puntiforme, posta al centro di una sfera di raggio unitario r . La sorgente emette uniformemente nel suo intorno un flusso di 4π lumen. La superficie della sfera misura $4\pi \cdot r^2$ ed essa è pertanto composta da 4π steradiani. Per ogni angolo solido unitario l'emissione è di 1 lumen. Possiamo infine affermare che, in ogni direzione, dalla sorgente puntiforme si propaga luce con intensità di 1 candela. (Vedi Fig. 7)

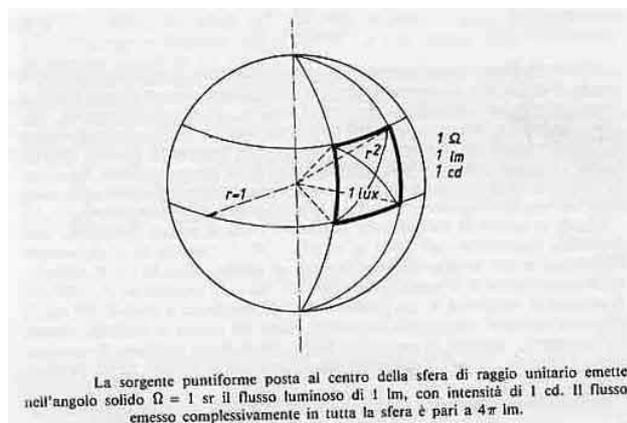


Figura -7-

L'unità candela va però piano, piano scomparendo nella pratica corrente, specie con le lampade elettrofluorescenti, poiché esse vengono caratterizzate dalla potenza in watt e dal flusso in lumen: incidentalmente ricordiamo che una lampada elettrofluorescente standard da 40 watt-2000 lm corrisponde come flusso a una lampada ad incandescenza che consuma ben 150 watt: cioè quest'ultima consuma il triplo!! Il consumo della prima è quindi solo di 1/3 con un risparmio di 2/3 cioè del 66%: tenuto conto della maggiore durata di vita (6000 ore invece di 1000 ore) l'economia di esercizio luce è del 70%. Si spende 30 anziché 100 e anche raddoppiando la luce si spenderà $2 \times 30 = 60$ ma si risparmierà sempre il 40%.

Per rappresentare la intensità prodotta da una sorgente si adotta il comodo e pratico metodo del diagramma polare. Scelto un opportuno piano verticale passante per l'asse longitudinale della sorgente si traccia la curva (curva fotometrica) che congiunge gli estremi dei vettori che, con origine coincidente nel punto di emissione ideale e con direzione data, hanno un modulo che è proporzionale al valore dell'intensità luminosa per quella direzione. Solitamente le intensità I_c sono indicate per un flusso convenzionale ϕ_c di 1000 lm . Assumendo il flusso reale della sorgente ϕ si ottiene l'intensità effettiva I :

$$I = I_c \cdot \frac{\phi}{1000}$$

Nella figura 8 è mostrato il diagramma polare con la curva fotometrica di una comune lampada ad incandescenza . In direzione verticale : $I_c = 70cd$ circa . Una lampada da 100W ha un flusso luminoso di circa 1350 lm . Pertanto :

$$I = 70 \frac{1350}{1000} = 94.5cd$$

Considerando tutti i piani verticali passanti per l'asse longitudinale della sorgente , dalla composizione delle varie curve fotometriche si ricava il solido fotometrico. Per praticità di rappresentazione si impiegano più frequentemente le curve su diagramma polare.

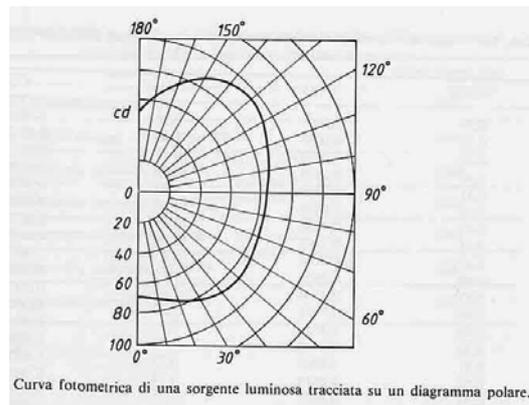


Figura -8-

Ordini di grandezza:

Lampada per bicicletta senza riflettore : $1cd$

La stessa lampada per bicicletta ma con il riflettore : $250cd$

Lanterna di un faro : $2000000cd$

Lampada ad incandescenza da 100W : $110cd$

Lampada fluorescente 40W : $320cd$

- **La luminanza**

Definizione : intensità luminosa emessa in una determinata direzione da una superficie luminosa o illuminata (sorgente secondaria di luce). In altri termini esprime l'effetto di luminosità che una superficie produce sull'occhio umano , sia essa sorgente primaria (lampada o apparecchio di illuminazione) o secondaria (piano di un tavolo che riflette la luce).

Simbolo: L

Unità di misura: candela al metro quadrato: $\frac{cd}{m^2}$

Paragone idraulico: schizzi d'acqua che rimbalzano da una superficie. la entità dell'acqua che rimbalza dipende dalla capacità di assorbimento della superficie.

Trattando dell'intensità luminosa ci siamo sempre riferiti a sorgenti di luce molto piccole, che abbiamo considerato perfettamente puntiformi. Evidentemente questo non è che un limite teorico, comodo per definire alcune grandezze ed unità di misura. Nella realtà i corpi che emettono luce hanno sempre delle dimensioni. Passando dunque dal modello astratto alle fonti luminose di effettivo impiego. Interessa stimare la quantità di energia luminosa che è prodotta, oppure che è riflessa da una superficie di una certa estensione, così come appare all'osservatore.

In fotometria la grandezza usata a tale scopo è appunto la luminanza. La luminanza è una grandezza vettoriale. La sua misura, infatti, si effettua lungo una direzione, che è quella che congiunge la fonte all'osservatore. L'equivalente alla densità superficiale dell'intensità luminosa in rapporto alla posizione dell'osservatore, mentre l'intensità luminosa, si ricorderà, corrispondeva alla densità angolare del flusso.

La luminanza è data dal rapporto tra l'intensità luminosa nella direzione assegnata e l'area entro cui è compresa l'emissione, così come è vista dal soggetto, vale a dire secondo la sua proiezione geometrica perpendicolare all'asse di osservazione che ha per estremi il baricentro dell'area e il centro ottico dell'occhio (Fig 9).

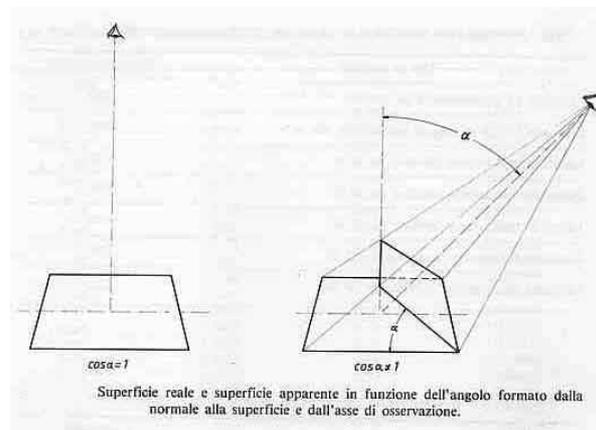


Figura -9-

Il rapporto è espresso da :

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \vartheta}$$

in cui ϑ è l'angolo compreso tra l'asse perpendicolare alla superficie emittente e l'asse di osservazione .

Possiamo anche esprimere L in funzione di ϕ :

$$L = \frac{d^2 \phi}{dA \cdot \cos \vartheta \cdot d\Omega}$$

Come si sarà notato nel calcolo della luminanza , interviene un fattore nuovo : la posizione del soggetto osservatore rispetto alla sorgente . La luminanza dunque è quella grandezza che rende conto dell'interrelazione tra la sorgente luminosa e il soggetto della fruizione visiva . Per tale ragione L si dimostra di grande interesse e utilità nello studio degli effetti prodotti sull'organo della vista dall'illuminazione delle superfici che compongono un ambiente .

Nella tabella 7 sono indicati alcuni valori indicativi di luminanze per sorgenti di luce naturale e artificiale.

Valori indicativi di luminanze per sorgenti di luce naturale e artificiale	
Tipi di sorgenti	Luminanze (cd m ⁻²)
Sole a mezzogiorno	1,6 · 10 ⁹
Sole al tramonto	6 · 10 ⁸
Cielo sereno	8000
Cielo nuvoloso	2000
Terreno a prato	800
Manto nevoso	3,2 · 10 ⁴
Candela stearica	5000
Lampada ad incandescenza da 60 W con bulbo chiaro	5 · 10 ⁶
Lampada ad incandescenza da 60 W con bulbo opalino	5 · 10 ⁴
Lampada tubolare a fluorescenza da 18 W	4000
Lampada ad alogenuri metallici da 70 W	1,5 · 10 ⁷

Tabella -7-

- **Illuminamento.**

Definizione: flusso luminoso ϕ per unità di superficie S .

Simbolo : E

Unità di misura : lux ($lx = \frac{lumen}{m^2}$)

Paragone idraulico : quantità di acqua per unità di superficie.

Fino ad ora abbiamo quantificato la grandezze che permettono di quantificare le proprietà dei fasci luminosi che provengono dalle sorgenti. Nella progettazione

illuminotecnica è però necessario valutare l'entità della luce che investe una superficie o, in termini generali, quanti lumen sono raccolti dalle superfici dei corpi che compongono l'ambiente da illuminare.

Facciamo un esempio : se misuriamo la quantità di luce nell'unità di tempo (i lumen), prodotta da una sorgente luminosa puntiforme collocata al centro di una sfera , che cade sulla sua faccia interna , siamo in grado di calcolare il livello di illuminamento E , o più semplicemente l'illuminamento di questa superficie. L'illuminamento è una grandezza scalare .

Come abbiamo detto l'unità di misura dell'illuminamento è il *lux* , che equivale al flusso di 1 *lm* ricevuto da una superficie dell'estensione di $1m^2$. Si ottiene l'illuminamento di 1*lx* anche nel caso che un fascio luminoso dell'intensità di 1*cd* sia proiettato dalla distanza di 1*m* sulla superficie di $1m^2$ perpendicolare alla direzione dei raggi incidenti.

Nel primo caso:

$$E = \frac{d\phi}{dA_R}$$

dove il pedice R di dA indica che l'area appartiene ad una superficie che riceve il fascio di luce .

Nel secondo caso:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

in cui r è la distanza normale tra la fonte luminosa e la superficie illuminata.

Se pertanto conosciamo l'intensità luminosa di una sorgente in una determinata direzione , siamo in condizione di calcolare l'illuminamento prodotto su una superficie . Qualora tale superficie non sia perpendicolare alla direzione del fascio , occorre apportare una modifica all'ultima equazione considerata con la semplice regola trigonometrica già applicata nel calcolo della luminanza . L'equazione sopra si modifica pertanto in questo modo :

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \vartheta$$

Può essere comodo sostituire a r la distanza perpendicolare h

Si ha pertanto :

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \vartheta = \frac{I}{h^2} \cos^3 \vartheta$$

considerando che :

$$r = \frac{h}{\cos \vartheta}$$

Nella tabella 8 sono elencati i valori del livello medio di illuminamento per alcuni casi comuni.

Valori indicativi dei livelli medi di illuminamento su superfici orizzontali in differenti contesti ambientali	
Contesti ambientali	Livelli medi di illuminamento su superfici orizzontali (lx)
Sole diretto, all'altezza di 50° sull'orizzonte	100 000
Cielo nuvoloso	10 000
Plenilunio	0,2
Cielo stellato senza luna	10 ⁻⁴
Uffici e scuole	2000 + 300
Esercizi commerciali	3000 + 200
Residenze	1000 + 200

Tabella -8-

- **Efficienza luminosa**

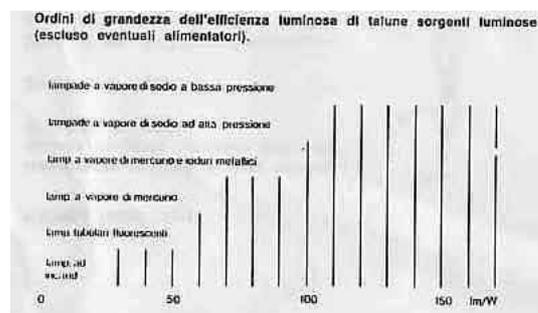
Definizione : Rapporto tra il flusso emesso (ϕ), espresso in lumen, e la potenza elettrica assorbita (P), emessa in watt. Esprime il rendimento di una lampada o di un apparecchio di illuminazione . Quindi tanto maggiore è l'efficienza luminosa tanto più economico è l'esercizio della sorgente luminosa.

Simbolo : η (leggi eta)

Unità di misura : lumen per watt (lm/W)

Paragone idraulico : apporito tra la quantità di acqua che esce da una pompa con una determinata prevalenza e la potenza elettrica necessaria per farla funzionare.

Ordini di grandezza dell'efficienza luminosa di talune sorgenti luminose (escluso eventuali alimentatori) . (Vedi Tab 9)



Tab -9-