



## **Grandezze fotometriche**

Fabio Peron  
Alessandra Vivona

Anno Accademico 2016-2017

Università IUAV di Venezia

la proprietà letteraria e i diritti sono riservati agli autori  
il presente materiale può essere riprodotto amichevolmente  
per scopi didattici e per uso personale  
l'uso a scopo di lucro anche solo di parte di esso sarà perseguito a norma di legge

### Grandezze fotometriche

---

#### Introduzione

Le grandezze fotometriche hanno lo scopo di stabilire una valutazione oggettiva della generica sensazione di luminosità, in modo da fornire dei parametri per arrivare ad una corretta definizione del problema visuale.

Esse risultano particolarmente utili per valutare in termini quantitativi tutte le caratteristiche fisiche dell'illuminazione prodotta in un ambiente.

Le grandezze fotometriche principali sono:

**Flusso luminoso** . caratteristica propria delle sorgenti luminose;

**Intensità luminosa** . caratteristica propria delle sorgenti luminose;

**Illuminamento** . effetto prodotto dalle sorgenti luminose su una superficie;

**Luminanza e radianza** . caratteristica sia delle sorgenti illuminanti sia degli oggetti illuminati, che possono essere a loro volta considerati sorgenti secondarie.

#### Flusso luminoso

Viene denominato flusso luminoso  $\Phi$  la quantità di energia emessa, nell'unità di tempo entro un angolo solido  $\omega$ , da una sorgente luminosa, percepita come luce dall'occhio. Il flusso è la traduzione in termini di emissione luminosa, di una potenza.

L'unità di misura del flusso è il lumen (lm).

Il flusso luminoso emesso da un sorgente può essere misurato in laboratorio, mediante uno strumento detto fotometro integratore o sfera di Ulbricht.



## Scheda di applicazione progettuale 3

**Figura 1.** Rappresentazione del flusso luminoso  $\Phi$ .

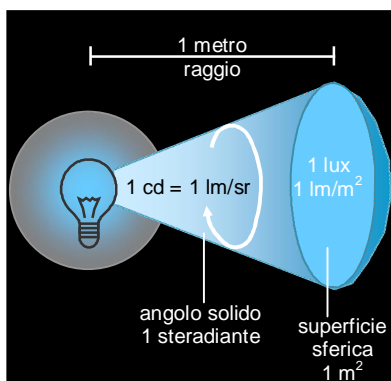
### Intensità luminosa

Si definisce intensità luminosa il rapporto tra il flusso luminoso infinitesimo emesso dalla sorgente in una data direzione e l'angolo solido elementare (fig. 2).

In termini analitici si esprime come:

$$I = d\Phi/d\omega$$

L'angolo solido si misura in steradiani (sr) ed è misurato dall'area  $A$  (in  $m^2$ ) intercettata sulla sfera di raggio = 1 m con centro nel vertice dell'angolo solido: si dice pertanto  $\omega = A$  sr.



**Figura 2.** Rappresentazione dell'intensità luminosa.

L'unità di misura di questa grandezza è la candela (cd), definita come l'intensità luminosa emessa in una data direzione da una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza  $540 \cdot 10^{12}$  Hz ( $\lambda = 555$  nm) e con intensità energetica in quella direzione di  $1/683$  W/sr.

La conoscenza dell'intensità luminosa emessa da una sorgente nelle diverse direzioni consente di costruire il solido fotometrico, che è quella figura geometrica delimitata da una superficie chiusa, formata dal luogo dei punti estremi di segmenti aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa in quella direzione e centro nella sorgente. Se di una sorgente artificiale è noto il solido fotometrico, da esso è possibile risalire al valore dell'intensità luminosa nelle varie direzioni.

## Scheda di applicazione progettuale 3

### Illuminamento

Nella progettazione illuminotecnica oltre all'analisi delle grandezze che permettono di quantificare le proprietà dei fasci luminosi provenienti dalle sorgenti, è necessario valutare la quantità della luce che investe una superficie, ovvero la quantità di flusso luminoso che viene raccolta dalla superficie che si vuole illuminare, senza contare il quantitativo di flusso che si disperde nello spazio circostante.

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso incidente su una superficie e l'area della superficie stessa:  $E = \Phi/A$ . Se l'area ricevente è infinitesima:  $E = d\Phi/dA$

L'unità di misura è il lux (lx).

Un lux è l'illuminamento prodotto dal flusso di un lumen distribuito in modo uniforme su di una superficie di un metro quadrato.

Per misurare il valore degli illuminamenti su di una determinata superficie sono disponibili apparecchi chiamati luxmetri. Questi strumenti di misura sono essenzialmente costituiti da una cellula fotoelettrica collegata ad un microamperometro la cui scala è calibrata in lux. A seconda che, per la lettura dei valori, la cellula del luxmetro venga posta in posizione orizzontale oppure verticale, si parla di illuminamenti orizzontali o verticali.

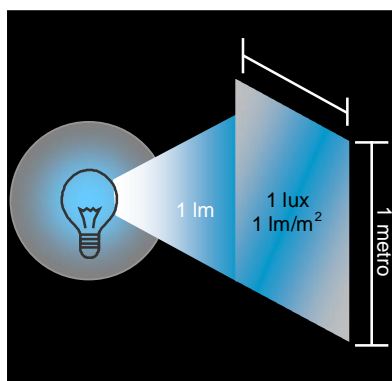


Figura 3. Definizione di illuminamento.

### Luminanza

Una fonte di luce (sorgente luminosa primaria) o una superficie illuminata (sorgente secondaria di luce) che emettono una determinata intensità luminosa in una data direzione sono caratterizzate da una luminanza in tale direzione. La luminanza in un punto di una superficie, in una certa direzione, è il rapporto tra l'intensità luminosa emessa in quella

### Scheda di applicazione progettuale 3

direzione e la superficie emittente proiettata su un piano perpendicolare alla direzione stessa (fig. 4).

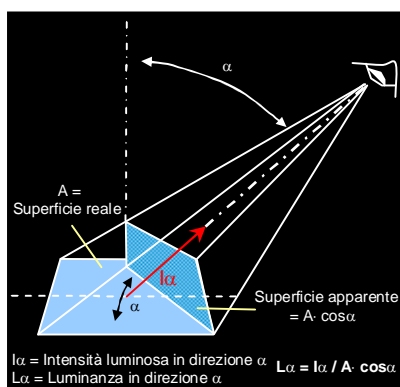


Figura 4. Rappresentazione della luminanza.

Il simbolo della luminanza è  $L$ , e l'unità di misura è la candela per metro quadrato ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) che viene detto nit.

Per misurare i valori della luminanza sono disponibili strumenti chiamati luminanzometri.

La differenza relativa fra il valore della luminanza riferito ad un oggetto ( $L_2$ ) e la luminanza media del campo visivo esterno ( $L_1$ ) si chiama fattore di contrasto ( $C$ ).

Il giusto equilibrio delle luminanze ha notevole importanza nella progettazione degli impianti di illuminazione interna e soprattutto esterna (piazze, strade, ecc.).

### Radianza

La radianza  $M$  di un punto di una superficie è il rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie attorno a quel punto e l'area dell'elemento stesso.

Si ha pertanto:

$$M = d\Phi/dA.$$

L'unità di misura della radianza è il lux s.b. (lux su bianco). Se  $r$  è il coefficiente di riflessione della superficie:

$$M = r E$$

Se  $r = 1$  e ciò avviene per superfici perfettamente riflettenti (bianche) si ha:

$$M = E.$$

### Scheda di applicazione progettuale 3

Nella tabella 1 sono riassunte le principali grandezze fotometriche e le rispettive unità di misura.

Simbolo	Nome	Espressione	Unità di misura
$\Phi$	Flusso luminoso monocromatico	$K(\lambda) P(\lambda)$	lumen (lm)
E	Illuminamento	$d\Phi/dA$	lux (lm/m <sup>2</sup> )
I	Intensità luminosa	$d\Phi/d\omega$	candela (lm/ster)
L	Luminanza	$dI/dA \cos\alpha$	nit (cd/ m <sup>2</sup> )
M	Radianza	$d\Phi/dA$	lux s.b. (lm/ m <sup>2</sup> )

Tabella 1

#### Grandezze fotometriche qualitative

Oltre che con le grandezze viste in precedenza, che possono essere definite quantitative, la luce può essere caratterizzata anche con altri parametri di tipo «qualitativo», in quanto descrivono la sensazione visiva percepita dal nostro occhio.

Tali grandezze generalmente vengono utilizzate per caratterizzare le sorgenti di illuminazione artificiale e sono principalmente:

- La *temperatura di colore*, che rappresenta la temperatura del corpo nero con l'emissione più vicina a quella della sorgente considerata; di conseguenza descrive la sensazione di luce «calda» o «fredda» prodotta dalla tonalità della luce.
- La *resa cromatica*, che descrive quanto una luce artificiale alteri o meno il colore degli oggetti illuminati, indica cioè la fedeltà con cui la luce fornita da una sorgente artificiale riesce a riprodurre i colori reali, ossia la luce del sole.

#### Temperatura di colore

La colorazione, o apparenza cromatica, o ancora tonalità della luce è uno degli elementi che concorrono a definire la qualità dell'illuminazione.

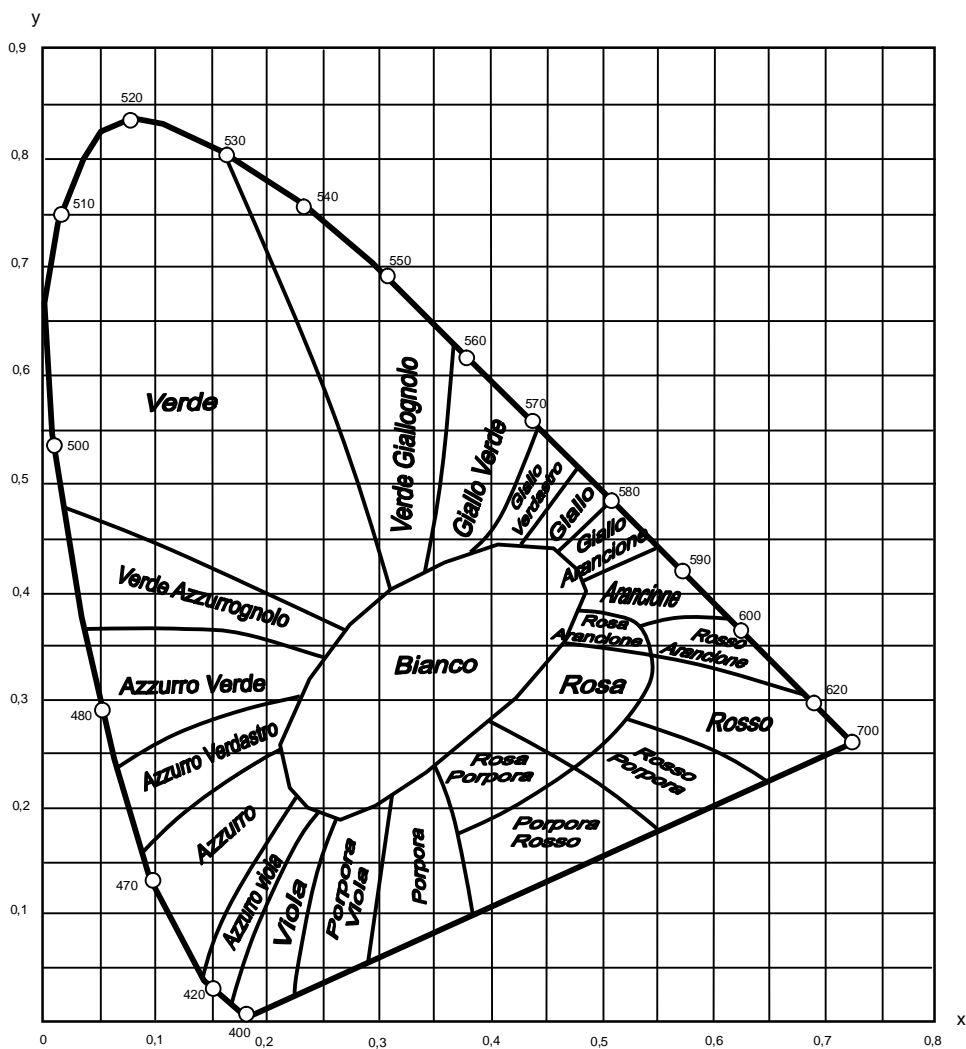
L'effetto cromatico prodotto sull'occhio umano da una sorgente può essere descritto in modo approssimato basandosi sulla comparazione, dal punto di vista dell'effetto cromatico, della luce emessa da tale sorgente con quella emessa da un corpo nero.

### Scheda di applicazione progettuale 3

Si fa ricorso alla grandezza *temperatura di colore (CCT)* definita come la temperatura che dovrebbe raggiungere il corpo nero per generare luce della stessa tonalità della luce prodotta dalla sorgente in esame.

Alla luce rossastra corrisponde una bassa temperatura di colore, mentre alla luce bluastra corrisponde una alta temperatura di colore.

A tale riguardo sul diagramma cromatico CIE può essere inserita la curva del corpo nero (luogo delle coordinate tricromatiche caratteristiche della radiazione emessa da un corpo nero a diverse temperature), che è intersecata da segmenti (rette isoprossimali del colore) in modo tale che ogni punto di essi abbia la stessa temperatura di colore.



**Figura 5. Diagramma CIE 1931.**

### Scheda di applicazione progettuale 3

Questo parametro dà informazioni precise sulla distribuzione spettrale dell'energia luminosa solo per radiatori termici, mentre per le lampade fluorescenti può servire solo come orientamento.

È stato pertanto introdotto un indice chiamato temperatura correlata di colore, che viene definita come la temperatura, in gradi kelvin, del corpo nero il cui colore più si avvicina a quello della sorgente osservata.

Vari esperimenti hanno dimostrato che l'apparato visivo dell'uomo percepisce come luce di tonalità bianca la luce che ha una temperatura di colore di circa 5.500 K, corrispondente alla luce del sole in pieno giorno. Al di sopra e al di sotto di questo valore, la tonalità è giudicata rispettivamente fredda o calda.

Nella tabella sottostante si riporta la classificazione CIE (Publication n° 29.2 del 1986) delle tonalità in tre gruppi:

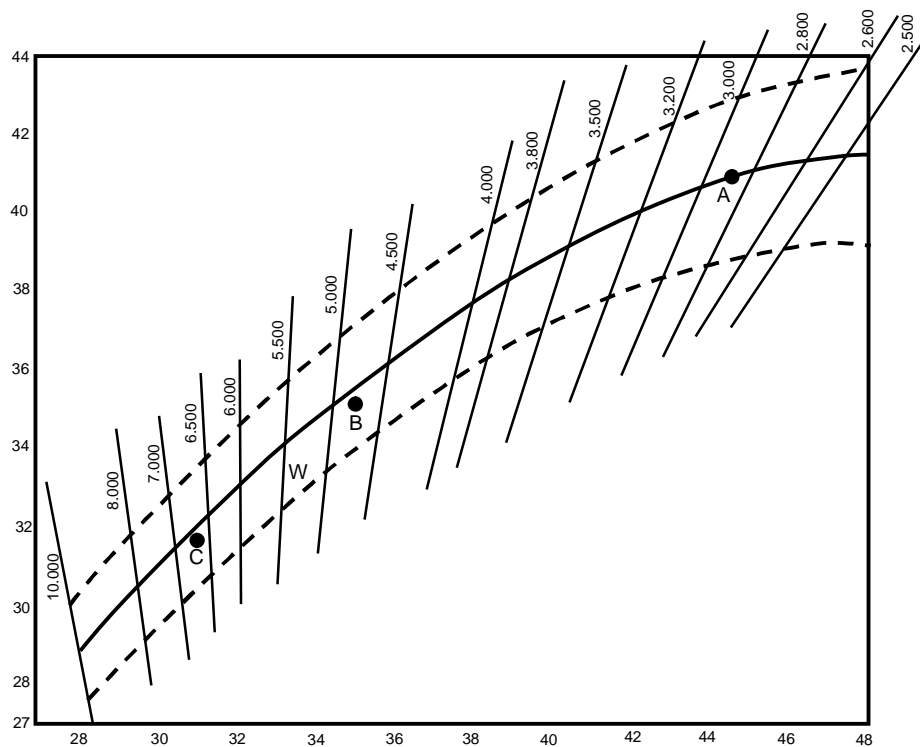
Gruppi di tonalità	Tonalità	Temperatura di colore (K)
1	Calda	< 3.300
2	Intermedia	3.300 ÷ 5.300
3	Fredda	> 5.300

Per controllare se i punti di colore che caratterizzano le sorgenti ricadono entro le zone di tolleranza ammesse a livello internazionale, si ricorre a diagrammi tipo quello in figura.

In tali diagrammi sono rappresentati oltre che i punti relativi al bianco di uguale energia W ed ai tre illuminanti normalizzati A, B, C, la curva dei colori del corpo nero alle temperature comprese tra 2.500 e 10.000 K tracciata in funzione delle coordinate tricromatiche X e Y (curva a tratto pieno), nonché due curve che limitano le zone entro la quale non sono percettibili dall'occhio umano le differenze cromatiche tra le luci delle sorgenti definite da determinate temperature di colore e quelle emesse dal corpo nero alle stesse temperature.



### Scheda di applicazione progettuale 3



**Figura 6.** Zona di tolleranza normalizzata dei punti di temperatura di colore delle sorgenti artificiali. A, B, C: illuminanti C.I.E.; W: bianco di uguale energia.

### Il diagramma di Kruithof

Diversi accoppiamenti tra temperatura di colore e livello di illuminamento raccolgono diversi consensi e giudizi di soddisfazione dei fruitori. Kruithof dopo accurate sperimentazioni ha evidenziato la seguente correlazione:

- basse temperature di colore richiedono bassi livelli di illuminamento;
- alte temperature di colore richiedono elevati illuminamenti.

La spiegazione del maggior gradimento è da ricercare nel fatto che la piena funzionalità del nostro apparato visivo si realizza in condizioni di luce naturale. L'occhio è anatomicamente e fisiologicamente strutturato per la visione diurna; pertanto ognuno di noi ricerca condizioni visive in qualche modo analoghe a quelle che si verificano con la luce del sole.

Al crepuscolo l'illuminamento può variare nell'intervallo compreso tra 500 e 100 lux, mentre la temperatura di colore della luce è di circa 2.000 K.

In pieno giorno, i livelli di illuminamento possono arrivare a 100.000 lux e la temperatura di colore a 6.000-7.500 K.

### Scheda di applicazione progettuale 3

Con tale diagramma conoscendo il livello di illuminamento richiesto si può determinare il tipo di sorgente illuminante più opportuna.

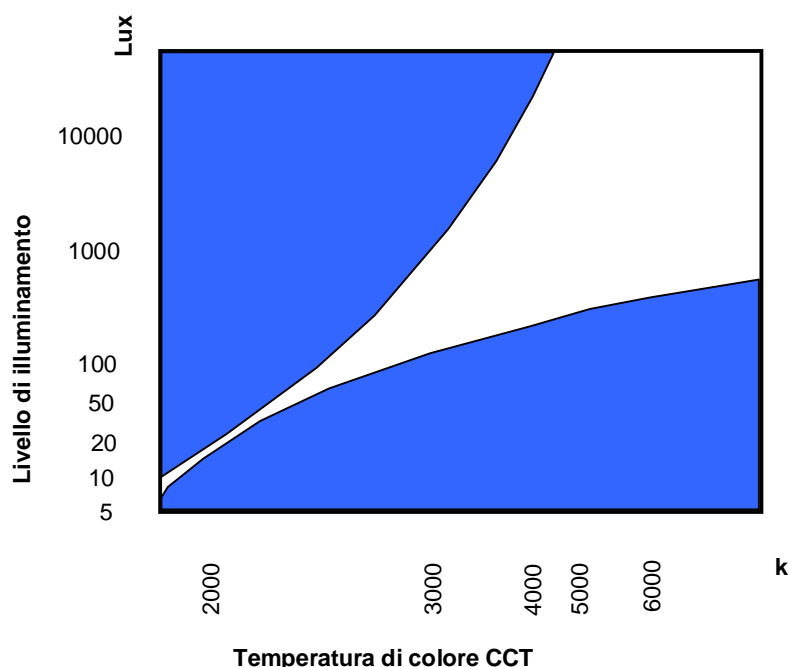


Figura 7. Diagramma di Kruithof.

### Resa di colore

La capacità di una luce di rendere il colore, si misura paragonando la resa del colore della luce in esame con la resa del colore di una lampada campione che riproduce l'illuminazione naturale. Questo sistema di valutazione è definito *Indice di Resa Cromatica CRI* (Color Rendering Index). Esso stabilisce quanto una luce artificiale alteri o meno il colore degli oggetti illuminati.

La determinazione di questo indice è basata sulla valutazione della distorsione colorimetrica che si manifesta in un gruppo di campioni di superfici colorate, quando questi sono osservati per campi contigui illuminati dalla luce della sorgente da esaminare e da quella di uno dei tre illuminanti normalizzati. Il fatto che questa valutazione richieda l'utilizzo di un buono spettrofotometro e di un calcolatore elettronico limita la possibilità d'impiego del metodo.

Il valore massimo, 100, fa riferimento ad una luce prodotta da una lampada ad incandescenza campione, valori più bassi mostrano rese cromatiche via via peggiori; può

### Scheda di applicazione progettuale 3

ritenersi soddisfacente la resa cromatica di una sorgente il cui indice assume valori superiori a 50.

Lampada	CCT (K)	CRI	X	Y
Alogena	3190	100	0,424	0,399
Fluorescente bianco freddo	4250	62	0,373	0,385
Fluorescente bianco caldo	3020	52	0,436	0,406
Fluorescente De Luxe bianco freddo	4050	89	0,376	0,368
Fluorescente De Luxe bianco caldo	2940	73	0,440	0,403
Fluorescente luce diurna	6250	74	0,316	0,345
Vapori di mercurio	5710	15	0,326	0,390
Vapori di mercurio corretti	4430	32	0,373	0,415
Vapori di mercurio con alogenuri	3720	60	0,396	0,390
Sodio alta pressione	2100	21	0,519	0,418

**Tabella 2.** Valori di CCT e CRI per le lampade più comunemente usate e le coordinate cromatiche del diagramma CIE.

Sarebbe opportuno, nel giudizio sulla qualità dell'illuminazione, non basarsi solo sull'indice di resa cromatica, ma prendere in considerazione anche altri parametri quali ad esempio:

- *Indice di discriminazione del colore (CDI)*: misura la capacità di una luce di far distinguere dello stesso colore il maggior numero di sfumature diverse.
- *Indice di preferenza del colore (CPI)*: misura in modo statico la preferenza di gruppi campione nei riguardi della fedeltà di un colore riferito a determinati oggetti, ossia la risposta cromatica aderente ai colori preferiti dalla maggior parte delle persone: nel caso dei cibi si preferisce quel colore che è ritenuto espressione di freschezza.