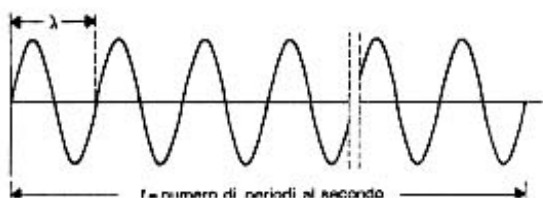


## Natura della luce

Si può dire che la luce sia la coscienza dell'esistenza della realtà. Il mondo esiste in quanto lo sentiamo, lo tocchiamo ma soprattutto lo vediamo. Infatti l'80% delle sensazioni umane sono di natura ottica. Eppure la luce non è tangibile. La luminosità, il colore e quindi l'apparenza delle cose sono solo l'effetto prodotto sulla retina da una particolare forma di energia nota con il nome di radiazione elettromagnetica.

Ciò che realmente esiste è l'energia elettromagnetica, mentre la luce può essere definita un'invenzione del sistema costituito dall'occhio-cervello che cattura l'energia radiante



emessa in un determinato intervallo di lunghezze d'onda per trasformarla in sensazione visiva.

Le onde elettromagnetiche sono una grande famiglia che comprende molte radiazioni, apparentemente diverse, come le onde radio o hertziane, i raggi ultravioletti, gli infrarossi e i raggi X.

Solamente una piccola parte delle radiazioni elettromagnetiche viene catturata dagli occhi e trasformata in immagini che ci permettono di conoscere ed interpretare la realtà che ci circonda.

La luce quindi è energia raggiante. Come tutti i moti ondulatori, le onde elettromagnetiche sono caratterizzate da una propria *lunghezza d'onda*  $\lambda$  e da una certa *frequenza* che indica il numero di periodi nell'unità di tempo, cioè il secondo. Si propaga nel vuoto in forma di onde elettromagnetiche o particelle, dette fotoni, alla velocità di circa 300.000 km/s. Tale velocità è legata alle due grandezze appena citate secondo questa relazione:

$$v = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Le onde elettromagnetiche (la cui unità di misura per quelle visibili è il *nanometro nm*;  $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ) possono avere una lunghezza d'onda che va dal milionesimo di millimetro sino a decine di metri, ma solamente una piccola parte viene trasformata dal sistema visivo in sensazione luminosa.

Le onde radio, i raggi X e Gamma, i raggi cosmici sono anch'esse radiazioni elettromagnetiche, della stessa natura della luce, ma non producono alcuna sensazione visiva sul nostro occhio.

Alcune di queste radiazioni producono altri effetti, che possono essere benefici, come è il caso dell'abbronzamento indotto da alcune radiazioni ultraviolette, ma anche dannosi, come è il caso dei processi degenerativi delle cellule provocati dai raggi X.

Le radiazioni elettromagnetiche sono caratterizzate da tre parametri:

- velocità di propagazione nel vuoto;
- lunghezza d'onda, ossia lo spazio percorso da un'onda per compiere un'oscillazione completa;
- frequenza, ossia il numero di oscillazioni nell'unità di tempo.

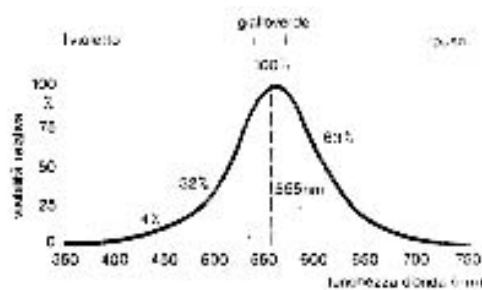
Il primo è un dato costante per tutte le radiazioni, gli altri due sono variabili.

Lo spettro delle radiazioni visibili non ha dei limiti ben precisi, in quanto la sensibilità dell'occhio umano varia da individuo a individuo.

Per questo motivo la sua estensione è stata fissata, per convenzione, nell'intervallo che va da 380 a 780 nm (1 nm (manometro) = 1/1.000.000 m), confinato a sinistra dalle radiazioni ultraviolette (lunghezza d'onda inferiore a 380 nm) e a destra dalle radiazioni infrarosse (lunghezza d'onda superiore a 780 nm). La sensibilità dell'occhio umano, comunque, risulta essere massima per il colore giallo-verde, che ha una lunghezza d'onda di circa 550nm, e decade rapidamente sia verso l'ultravioletto che verso l'infrarosso.

Lo spettro delle radiazioni visibili può essere a sua volta suddiviso in sei bande principali, ciascuna corrispondente ad una determinata sensazione cromatica:

- 380 - 436 nm: viola
- 436 - 495 nm: blu
- 495 - 566 nm: verde
- 566 - 589 nm: giallo
- 589 - 627 nm: arancio
- 627 - 780 nm: rosso



Onde elettromagnetiche visibili di diversa lunghezza d'onda danno una percezione diversa degli oggetti e del loro colore. Questo è, infatti, una sensazione ottica che dipende

dall'insieme delle lunghezze d'onda che un corpo non assorbe e che, cioè, riflette. Ad esempio, un corpo bianco riflette tutte le sue onde elettromagnetiche mentre un corpo nero le assorbe.

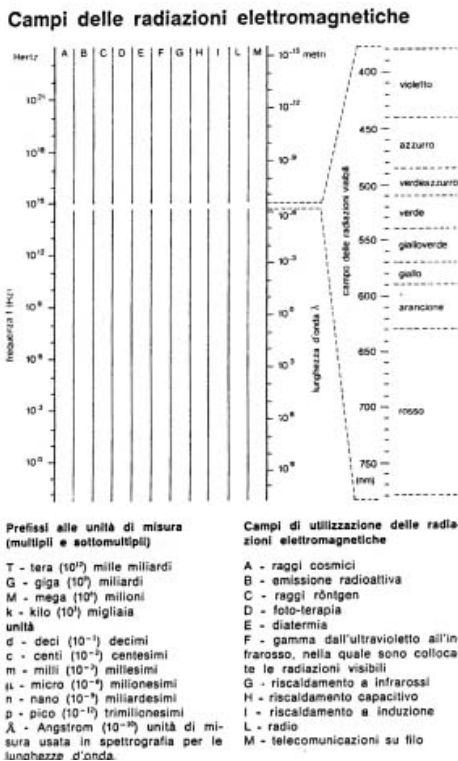
Se una luce è costituita da onde elettromagnetiche con una stessa lunghezza d'onda, essa si definisce *monocromatica* e produce un unico colore.

La luce del sole o quella di una lampada ad incandescenza sono a *spettro continuo* poiché comprendono tutta la gamma di lunghezze d'onde visibili e danno una luce bianca.

Per scomporla basta far passare un suo raggio attraverso un prisma di vetro: esso si scomporrà nei colori fondamentali. Questi sono visibili nell'arcobaleno.

### Resa dei colori delle sorgenti luminose

Un vetro trasparente colorato appare di un determinato colore perché si lascia attraversare



dalle lunghezze d'onda relative a quel colore mentre assorbe o riflette tutte le rimanenti.

Se nello spettro di emissione della sorgente incidente non sono presenti le lunghezze d'onda del materiale osservato, il suo colore sarà alterato.

È quindi importante per avere una buona resa dei colori che nello spettro di emissione della sorgente luminosa siano presenti tutte le lunghezze d'onda, ciascuna con valori quantitativi equilibrati

Questo fattore, cioè la capacità di una lampada di rendere i colori, viene valutato attraverso l' *IRC*, ovvero l' *Indice di Resa Cromatica*. Esso esprime l'effetto prodotto da una sorgente luminosa sull'aspetto cromatico di un oggetto confrontato con

quello ottenuto per effetto di una sorgente luminosa campione di pari temperatura di colore.

La sorgente campione, a rigore il corpo nero, è in pratica un metallo, al quale viene somministrata una quantità di calore crescente, portandolo all'incandescenza.

Aumentando la sua temperatura, cambierà di colore passando dal rosso cupo fino all'azzurro, passando per il bianco. L'illuminazione è legata profondamente al colore dei materiali.

Si considerano otto colori aventi delle caratteristiche ben definite. Mediante la loro osservazione e la misurazione delle radiazioni (sia nella nostra lampada che in quella campione) si determina il grado di scostamento di colore.

L'IRC è quindi un fattore numerico ed ha indice 100. Una lampada fluorescente, ad esempio, avrà un'ottima resa cromatica con IRC compreso tra 85 e 100; buona ad IRC compreso tra 70 e 85, discreta se l'IRC è compreso tra 50 e 70.

### ***Colore e sistemi di misura***

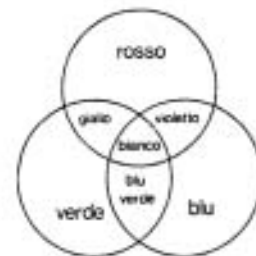
Abbiamo già introdotto e spiegato (v. relazione 1) come sono legati tra di loro la frequenza  $f$ , la velocità di propagazione della luce  $v$ , e la lunghezza d'onda delle onde elettromagnetiche. Proprio sfruttando la suddetta relazione è molto semplice determinarla, basterà risolvere il semplice rapporto tra la velocità e la frequenza dell'oscillazione. È così possibile conoscere lo spazio percorso dall'onda nell'arco di tempo necessario affinché avvenga un'oscillazione completa.

È necessario compiere un'osservazione sul valore della velocità di propagazione della luce da assumere. Sappiamo che nel vuoto questa è pari all'incirca a 300.000 km/s. nell'aria questo valore resta pressoché inalterato, ma in materiale a maggiore densità questa diminuisce in maniera piuttosto rilevante. Noto il coefficiente di rifrazione del mezzo di propagazione che indicheremo con la lettera  $c$ , per determinare l'effettiva velocità di propagazione basterà dividerà questo coefficiente per la velocità di propagazione della luce nel vuoto.

È bene notare che 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.

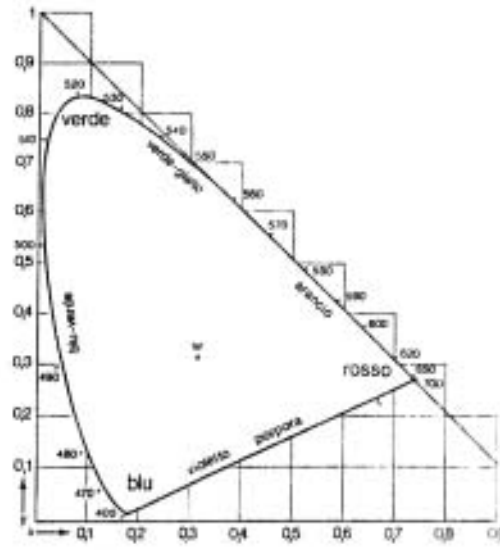
Frequenza e lunghezza d'onda risulteranno essere legate da una proporzionalità inversa nel caso in cui, all'interno di uno stesso mezzo, ci si trovi a pari velocità della luce.

Ma la valutazione di un colore è da porre in relazione anche con una serie di aspetti fisiologici e psicologici propri dell'essere umano. La determinazione della visione del



colore dipende, ad esempio, sia dalla composizione spettrale della radiazione che dalla capacità dell'occhio di percepire alcune radiazioni piuttosto che altre.

L'organo che regola il senso della vista è l'occhio. La parte che recepisce le immagini è la retina che è composta a sua volta da due diversi sistemi di recettori, detti coni e bastoncelli, che incidono sulla percezione di una forte illuminazione o dei colori (i primi), mentre gli altri condizionano la vista con scarsa illuminazione, quasi acromatica.



La soggettività della percezione dei colori ha reso necessaria la definizione di un sistema univoco di valutazione, soprattutto in virtù dell'importanza che il colore assume sia in ambito commerciale che nella fase produttiva.

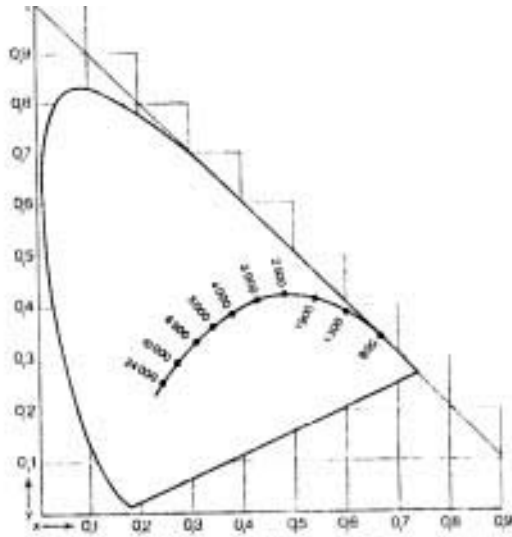
Sappiamo che esistono tre colori fondamentali (il rosso, il verde e il blu); dalla loro miscelazione è possibile ottenere una qualsiasi tonalità di colore.

La CIE (Commissione Internazionale dell'Illuminazione) ha messo a punto un metodo per calcolare le caratteristiche spettrali di sorgenti primarie normalizzate, capaci di riprodurre tutti i colori per miscela additiva. Questo metodo è dato dal triangolo tricromatico. Da questo diagramma è possibile ricavare, note le coordinate del colore, la sua lunghezza d'onda e la sua saturazione.

### ***Temperatura di colore***

La temperatura di colore, espressa in Kelvin (K), è un parametro utilizzato per individuare e catalogare, in modo oggettivo, il colore della luce di una sorgente luminosa confrontata con la sorgente campione: il corpo nero. La scelta del corpo nero è dovuta alla sua proprietà di emettere in tutte le zone dello spettro il massimo dell'energia radiante e di assorbire completamente l'energia radiante che lo colpisce. Dire che una lampada ha una

temperatura di colore pari a 3000 K, significa che il corpo nero, a questa temperatura,



emette luce della stessa tonalità.

Le sorgenti luminose sono suddivise in tre gruppi, a seconda della temperatura di colore:

- da 3000 a 3500 K : colore bianco caldo;
- da 4000 a 5000 K : colore bianco neutro;
- da 5500 a 7000 K : colore

bianco freddo.

La temperatura di colore non deve essere confusa con l'indice di resa dei colori, in quanto la prima indica il colore della luce emessa, ma non ci dice nulla riguardo la sua capacità di rendere i colori. La temperatura assoluta è basata sul Kelvin. La temperatura di fusione del ghiaccio (valore di 273,2 K) corrisponde a 0 gradi centigradi.

Consideriamo le temperature di colore delle sorgenti luminose naturali:

- Luna 4100K
- Sole a mezzo giorno (estate) 5300 / 5800K
- Cielo coperto 6400 / 6900K
- Cielo sereno blu intenso 10000 / 25000K

### *Le grandezze fotometriche*

Queste sono le grandezze della luce fondamentali:

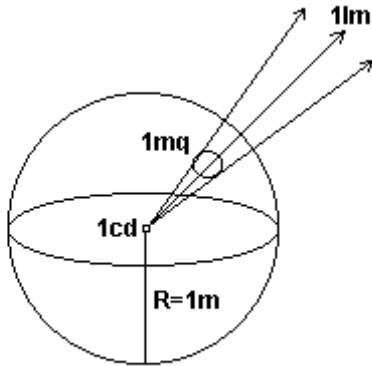
- a) flusso luminoso;
- b) intensità luminosa;
- c) illuminamento;
- d) luminanza;
- e) efficienza luminosa.

**a) Flusso luminoso**

**Simbolo:**  $\phi$

**Unità di misura:** lumen (lm) (cd · sr)

Questa grandezza indica la quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo (1 secondo) da una sorgente.



**Fig. 2**

Per energia luminosa si intende, per convenzione, quella emessa nell'intervallo da 380 a 780 nm.

Il flusso luminoso, normalmente identificato con il simbolo  $\phi$ , viene misurato in lumen (lm). Il lumen è definito come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di intensità luminosa pari a 1 cd in tutte le direzioni.

Nel Sistema Internazionale (S.I.) l'unità di misura dell'angolo solido è lo steradiante (sr):  $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \times \text{sr}$ .

Poiché il flusso luminoso si riferisce ad una quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo corrisponde dimensionalmente ad una potenza (energia/unità di tempo). Per le lampade la normativa IEC prevede che la misurazione del flusso luminoso emesso venga effettuata dopo 100 ore di funzionamento.

L'unità di misura del flusso luminoso è il LUMEN (lm) che corrisponde al flusso luminoso emesso da una sorgente di luce puntiforme di intensità (I) pari ad una candela (cd) ed uscente da una superficie di 1 metro quadrato, intercettata su una sferica di raggio pari a 1 metro (1 steradiante).

L'equivalente idraulico del flusso luminoso è dato dalla quantità di acqua emessa da un ugello sprinkler nell'unità di tempo ed è misurata in litri per minuto.

Il flusso luminoso  $\Phi$  è l'unità fotometrica equivalente alla potenza in watt misurata però in base alla "sensazione" che la radiazione produce sulla vista.

Affinché ciò possa essere ottenuta, è necessario pesare la potenza radiante mediante la curva di sensibilità dell'occhio (in una tale pesatura la luce giallo-verde riceve il massimo peso poiché è quella che stimola maggiormente l'occhio dell'osservatore umano).

Una pesatura di questo tipo, funzione della lunghezza d'onda, dà luogo all'unità fotometrica detta lumen (lm).

In particolare, il peso ricevuto dalla lunghezza d'onda di 555 nm è tale che la radiazione di 1W emessa a tale  $\lambda$  da una sorgente produca una risposta sullo strumento di misura pari a 683 lumen. Per molti tipi di lampada, il flusso luminoso emesso è dipendente dall'invecchiamento subito dalla lampada in conseguenza al suo utilizzo; lo stesso flusso è anche sensibile alle variazioni (fluttuazioni) che può accidentalmente subire la tensione di alimentazione. Per questo motivo vengono considerati altri due parametri funzionali della sorgente

- la stabilità del flusso luminoso con l'invecchiamento della lampada (esprimibile, ad esempio, in unità percentuali del valore dichiarato per cento ore di invecchiamento)
- e la sensibilità dello stesso flusso alle variazioni della tensione di alimentazione (esprimibile ad esempio in unità percentuali del valore dichiarato per volt di variazione entro un certo range).

Alcuni ordini di grandezza:

- Lampada per bicicletta                      2W    →    18lm
- Lampada ad incandescenza                40W   →    350lm
- Lampada a vapore di mercurio        400W   →    23000lm

**b) Intensità luminosa**

**Simbolo:** I

**Unità di misura:** candela (cd = lm / sr)

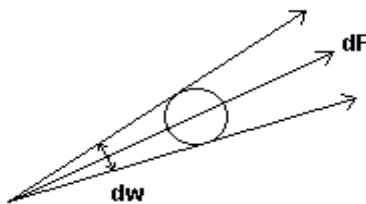


Fig. 3

Indica la quantità di flusso luminoso emessa da una sorgente all'interno dell'angolo solido unitario (steradiante) in una direzione data.

L'intensità luminosa si può calcolare con la seguente formula:



$$I = dF / d\omega$$

dove  $dF$  è il flusso luminoso in una direzione, emesso dalla sorgente luminoso all'interno di un piccolo cono e  $d\omega$  è l'angolo solido del cono stesso.

In pratica l'intensità luminosa non è altro che la densità di flusso in una certa direzione. Una sorgente luminosa puntiforme emette radiazioni della stessa intensità in tutte le direzioni, quindi il suo flusso luminoso si propaga uniformemente come generato dal centro di una sfera.

L'analogia idraulica è data dalla quantità d'acqua emessa da un ugello sprinkler, in un cono angolare di dimensioni note. Le sorgenti luminose artificiali non emettono luce in modo uniforme in tutte le direzioni dello spazio, quindi a seconda della direzione considerata si può avere una intensità diversa. Un sistema pratico per visualizzare la distribuzione della luce emessa da una sorgente nello spazio consiste nel rappresentare le intensità luminose come vettori applicati nel medesimo punto, come raggi uscenti dal centro di una sfera.

L'unità di misura dell'intensità luminosa è la CANDELA (cd) e corrisponde all'intensità luminosa emessa da un corpo nero ad una temperatura di 1.766° centigradi in direzione perpendicolare ad un foro d'uscita con un'area pari a 1/600.000 metri quadrati sotto la pressione di 101,325 Pascal. 1 Pascal = 1 Newton / metro quadrato

Per semplicità la formula dell'intensità luminosa di cui sopra si può definire l'intensità luminosa media sferica (sfera di raggio pari ad un metro)  $I_m$  di una sorgente ideale emettente lo stesso flusso della sorgente considerata, con una intensità identica in tutte le direzioni (isotropa):

$$I_m = F / 4\pi$$

Infatti la superficie di una sfera è data dalla formula  $4\pi R^2$ , da cui si può desumere che se  $I_m$  è pari ad 1 candela, il flusso luminoso emesso è pari a 12,56lm.

L'intensità luminosa è importante in quanto costituisce la parte più importante della curva fotometrica.

I cataloghi degli apparecchi di illuminazione riportano spesso le curve fotometriche ossia le sezioni del solido fotometrico sui due piani principali, ortogonali tra loro, intersecati per l'asse di simmetria e rotazione.

La conoscenza della curva fotometrica è molto importante in quanto in base ad essa è possibile verificare che l'apparecchio di illuminazione scelto distribuisca la luce nel modo richiesto.

Alcuni ordini di grandezza:

- Lampada per bicicletta 1cd
- Lanterna di un faro 2.000.00cd
- Lampada ad incandescenza 100W 110cd

**c) Illuminamento**

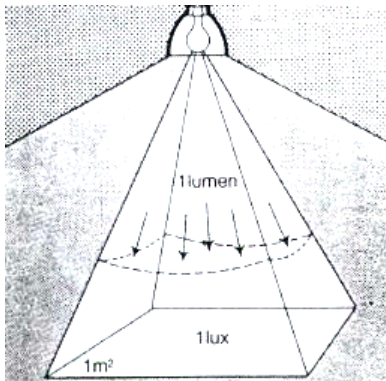
**Simbolo:** E

**Unità di misura:** lux ( $lx = lm / m^2$ )

L'illuminamento è pari al rapporto fra il flusso luminoso incidente ortogonalmente su una superficie e l'area della superficie che riceve il flusso, quindi una densità di flusso:

$$L = dF / dA$$

L'unità di misura dell'illuminamento è il LUX ( $lm/mq$ ). Il lux è definito come il flusso luminoso emesso da una sorgente luminosa (situata al centro della sfera) con un'intensità luminosa di 1 candela che illumina una superficie di 1 mq.



L'illuminamento varia con l'inverso del quadrato della distanza dalla sorgente luminosa. In altre parole indica la quantità di luce che colpisce un'unità di superficie.

Volendo operare un paragone idraulico, basta pensare ad una certa quantità d'acqua sparsa su di una superficie: l'illuminamento corrisponde alla quantità d'acqua per unità di superficie.

L'unità di misura dell'illuminamento è il lux che dimensionalmente si esprime in  $lm/m^2$ .

Dalla definizione di illuminamento si ricavano due importanti corollari di natura geometrica che risultano molto utili per comprendere la distribuzione della luce nello spazio:

- nel caso di una sorgente puntiforme la diminuzione del livello di illuminamento su di una superficie varia in relazione al quadrato della distanza dalla fonte: raddoppiando la distanza dalla fonte il livello di illuminamento sulla superficie diviene quindi 1/4;

- il livello d'illuminamento su di una superficie è massimo quando i raggi luminosi giungono perpendicolari ad essa e diminuisce proporzionalmente al loro angolo d'incidenza secondo la relazione:

$$L = L_n \times \cos a$$

dove L = Livello d'illuminamento sulla superficie,  $L_n$  illuminamento normale, a angolo d'incidenza tra raggi luminosi e la normale alla superficie.

Alcuni ordini di grandezza:

- Uffici e scuole 300-500lx
- Soggiorno 150-200lx
- Camera da letto 70-100lx

#### d) Luminanza

**Simbolo:** L

**Unità di misura:** candela / m<sup>2</sup> (cd / m<sup>2</sup>)

È il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una superficie in una data direzione e l'area apparente di tale superficie. L'area apparente è la proiezione della superficie su un piano normale alla direzione considerata. In pratica indica la sensazione di luminosità che si

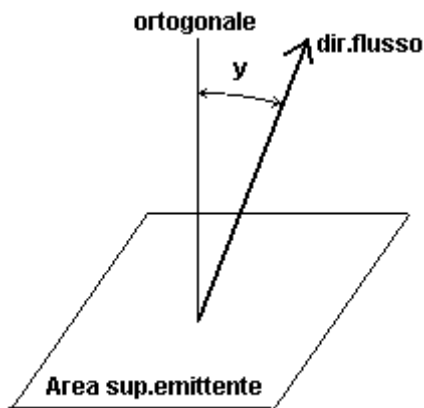


Fig. 5

riceve da una sorgente luminosa primaria o secondaria. (Si dice sorgente primaria un corpo che emette direttamente radiazioni; si dice sorgente secondaria un corpo che riflette le radiazioni emesse da una sorgente primaria).

L'entità d'acqua che rimbalza dipende dalla capacità di assorbimento della superficie.

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

dove I è l'intensità in candele, A è l'area della sorgente,  $\cos u$  è il coseno dell'angolo compreso tra la direzione di osservazione e l'asse perpendicolare alla superficie emittente.

L'equivalente idraulico è dato dalla quantità d'acqua che rimbalza su di una superficie nella direzione dell'osservatore.

La luminanza si esprime in  $\text{cd}/\text{m}^2$ . La luminanza si misura in  $\text{cd}/\text{mq}$ ; 1 stilb equivale al flusso luminoso emesso per unità di angolo solido (intensità luminosa di 1 candela) entro un'area unitaria perpendicolare alla direzione del flusso luminoso. Nel caso che il flusso luminoso non sia perpendicolare alla superficie, allora bisogna dividere  $U$  per  $\cos y$ , dove  $y$  è l'angolo fra flusso ed ortogonale alla superficie.

La luminanza è importante in quanto se supera certi valori per ciascuna lampada abbaglia l'occhio umano.

È importante avere ben chiara la differenza esistente tra illuminamento e luminanza. Se la prima grandezza indica la quantità di luce, emessa da una sorgente, che colpisce la superficie considerata, la seconda indica la sensazione di luminosità che riceviamo da questa superficie; ciò vuol dire che su due superfici, una bianca e l'altra nera, possiamo avere lo stesso valore di illuminamento, ad esempio 500 lux, ma la sensazione di luminosità ricevuta, e quindi la luminanza, sarà completamente differente, in quanto quelle due superfici riflettono la luce in modo diverso

Nella progettazione illuminotecnica è necessario conoscere adeguatamente le une come le altre. L'efficacia di un progetto di illuminazione è il risultato ottenuto dallo sviluppo di due differenti analisi:

- quantitativa, data dalla determinazione del numero di sorgenti luminose e loro posizionamento;
- qualitativa, data dalla scelta del tipo di luce più adatto a svolgere una determinata attività e dalla sua distribuzione nello spazio.

Alcuni ordini di grandezza:

- Oggetti:            con ottima illuminazione             $100-1000 \text{ cd}/\text{m}^2$   
                              con debole illuminazione             $2-20 \text{ cd}/\text{m}^2$
  
- Carta o superficie verniciata a 400lux:  
                              bianca                                     $100 \text{ cd}/\text{m}^2$   
                              nera                                         $15 \text{ cd}/\text{m}^2$

***e) Efficienza luminosa***

**Simbolo:**  $\eta$

**Unità di misura:** Lumen / Watt (lm/W)

Un importantissimo parametro che caratterizza ogni sorgente di luce è l'efficienza luminosa.

Esprime il rendimento di un apparecchio di illuminazione. Quindi tanto maggiore è l'efficienza luminosa tanto più economico sarà l'esercizio della sorgente luminosa.

È dato dal rapporto tra il flusso emesso espresso in lumen e la potenza elettrica assorbita.

Tale parametro costituisce un ponte tra le caratteristiche fotometriche e quelle elettriche della sorgente.

Questa può essere infatti vista come un trasduttore di energia dalla forma elettrica (associata alla potenza in watt assorbita dalla rete di alimentazione) alla forma luminosa (associata al flusso emesso)

Come ogni trasduttore, anche la nostra sorgente avrà delle perdite di convenzione ed è utile definirne un rendimento in termini di lumen resi per ogni watt di potenza dissipata.

L'efficienza luminosa di una sorgente è definita come rapporto tra flusso luminoso in lumen e potenza assorbita in watt.

Essa è dunque un indice della quantità di energia necessaria ad una data sorgente per produrre il voluto flusso luminoso e va quindi tenuta in considerazione in sede di dimensionamento energetico dell'impianto.

L'efficienza luminosa può essere comparata all'apporto tra la quantità d'acqua che esce da una determinata prevalenza e la potenza elettrica necessaria per farla funzionare.

L'efficienza luminosa esprime il rapporto fra il flusso luminoso (lm) emesso da una sorgente luminosa (come definita sopra) e la potenza elettrica assorbita (Watt W):

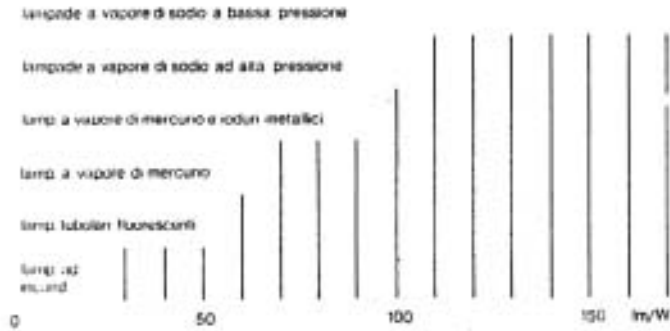
$$E = F / P$$

L'efficienza luminosa come appunto dice anche la parola esprime l'efficienza di una lampada, si misura in lm/W ed è una funzione variabile con il tipo di lampada.

- Per lampade ad incandescenza è pari a circa 15 lm/W
- Per lampade a mercurio 40 – 60 lm/W
- Per lampade agli alogenuri 60-100 lm/W
- Per lampade al sodio ad alta pressione 70 – 150 lm/W

- Per lampade al sodio a bassa pressione 100 – 180 lm/W

Alcuni ordini di grandezza:



## *Approfondimenti*

### **Effetto della luce sull'uomo**

Circa l'80% di tutte le impressioni sensoriali sono di natura ottica e necessitano della luce come veicolo di informazioni. Ciò dimostra la straordinaria importanza della luce per l'uomo. La luce non solo trasmette attraverso l'occhio le informazioni ai centri della vista che si trovano nel cervello; ma, attraverso una particolare ramificazione di nervi influisce altresì sugli organi di regolazione del sistema

neurovegetativo, che comanda l'intero ricambio e le funzioni dell'organismo.

Si comprende in tal modo perché una buona luce non solo facilita le funzioni del vedere e del riconoscere, ma aumenta anche lo stimolo lavorativo ed il benessere fisico accrescendo la capacità di concentrazione ed evitando la stanchezza precoce.

La maggior capacità di attenzione che ne deriva fa diminuire il pericolo di incidenti. Soprattutto quelli causati da banalità (i cui effetti possono costituire un notevolissimo impedimento al buon svolgimento del lavoro) regrediscono allorché viene migliorata l'illuminazione. L'effetto stimolante della luce si mostra anche in attività che con questa hanno poco o nulla a che vedere. È stato possibile dimostrare che una buona luce promuove

capacità di attenzione, di pensiero logico nonché sicurezza e velocità nel calcolo. Aumentando l'illuminamento da 90 lx a 500 lx è risultato il seguente aumento delle prestazioni:

- capacità di attenzione 15%;
- pensiero logico 9%;
- sicurezza e velocità di calcolo 5%.

Migliorando le condizioni visive e diminuendo di conseguenza l'affaticamento ad esse legato, si ha (a seconda del tipo di lavoro) una notevole diminuzione degli errori e degli scarti.

Questi effetti derivati da una migliore qualità dell'illuminazione comportano in un'azienda un aumento veramente sorprendente delle prestazioni lavorative. L'aumento del livello di illuminamento è particolarmente vantaggioso per le persone anziane, poiché la necessità di luce aumenta con l'età.

La differenza nella necessità di luce per la medesima prestazione visiva tra una persona giovane ed una anziana è però, con elevati illuminamenti, inferiore che non con bassi livelli; con una buona illuminazione sussistono condizioni di lavoro equilibrate per giovani e vecchi. Infatti mentre un anziano di 60 anni per ottenere la stessa prestazione visiva di un giovane di 20 anni a 100 lx necessita di un illuminamento doppio, a 900 lx necessita soltanto un illuminamento di circa il 20% superiore.

## **Introduzione al progetto dell'impianto di illuminazione**

Il progetto dell'impianto di illuminazione ha lo scopo di determinare il numero, i tipi e le posizioni degli apparecchi da installare in un ambiente, tenendo conto delle caratteristiche del locale, di ogni specifica esigenza dell'utenza e degli aspetti di economicità, igiene, funzionalità ed eleganza. Il calcolo illuminotecnico, che verrà affrontato dettagliatamente nel capitolo finale, è ormai sempre più frequentemente condotto per via informatica; comunque in questo paragrafo si mettono in evidenza i requisiti fondamentali che vengono analizzati per realizzare il progetto dell'impianto di illuminazione con il metodo tradizionale.

*a) Valore di illuminamento*

Una buona progettazione deve prima di tutto prefiggersi lo scopo di garantire in ogni ambiente il giusto livello di illuminamento. I valori di illuminamento da adottare sono in relazione al tipo di attività prevista nell'ambiente e sono influenzati dal potere di assorbimento e di riflessione del flusso luminoso da parte dei materiali presenti nell'ambiente e dal loro colore.

L'illuminamento è inversamente proporzionale alla distanza della superficie illuminata: in altre parole l'illuminamento della superficie da parte della sorgente luminosa è tanto minore quanto più è grande la distanza della sorgente dalla superficie.

Lo sviluppo dell'elettronica applicata all'illuminazione sta modificando profondamente i tradizionali criteri di progettazione degli impianti.

Attraverso dispositivi elettronici e sistemi computerizzati di controllo è possibile variare il flusso luminoso emesso dai vari tipi di lampade adattandolo (e, se necessario, programmandolo nel tempo) al livello di illuminamento più indicato negli ambienti soggetti a funzioni complesse.

Il progetto dell'impianto di illuminazione viene dunque condotto tenendo conto del massimo livello di illuminamento previsto, affidando poi ai sistemi di controllo la funzione di modulare il flusso emesso. Per regolare il flusso luminoso si impiegano potenziometri elettronici azionati da pulsanti oppure da variatori di intensità luminosa (dimmer) eventualmente collegati a cellule fotoelettriche che modulano l'intensità luminosa in funzione della quantità di luce proveniente dall'esterno.

*b) Tonalità della luce*

Determinato il valore di illuminamento in funzione del locale da illuminare occorre determinare la tonalità più adatta per le specifiche caratteristiche dell'ambiente. Le fonti luminose, sia naturali che artificiali, emettono luce di diversa tonalità a seconda della distribuzione spettrale della radiazione emessa dalla fonte.

Nella luce diurna sono presenti in misura pressoché uniforme tutti i colori dello spettro luminoso, dal blu al rosso, dalla cui miscela deriva un colore bianco neutro.



Le lampade a incandescenza sono invece caratterizzate da una emissione molto bassa verso il blu e progressivamente crescente verso il rosso, da cui deriva un colore giallastro, che viene percepito come caldo.

Ogni altro tipo di lampada offre un particolare spettro, la cui conoscenza è importante per la progettazione dell'illuminazione artificiale di un ambiente: negli ambienti particolarmente accoglienti si preferisce ricorrere a sorgenti di luce con prevalente emissione verso il rosso mentre negli ambienti dove occorre luce brillante e impersonale si utilizzano lampade con spettro luminoso simile a quello della luce diurna.

La tonalità della luce viene valutata attraverso la temperatura di colore. Le tonalità calde sono preferibili per bassi valori di illuminamento, mentre per quelli più elevati sono preferibili le tonalità fredde.

*c) Indice di resa cromatica*

Nella scelta del sistema di illuminazione, specialmente nei locali destinati ad attività particolari, occorre tener conto del fatto che tutte le fonti luminose alterano il reale colore degli oggetti. Ogni tipo di lampada è infatti contraddistinta, oltre che da una propria temperatura di colore, da uno specifico grado di resa del colore.

Fissato convenzionalmente pari a 100 l'indice di assoluta fedeltà di resa cromatica riferito alle lampade, la resa del colore delle fonti luminose, cioè il colore che si ottiene sugli oggetti, può essere classificata secondo un'apposita tabella.

*d) Indice del locale  $k$*

L'indice del locale è un coefficiente, solitamente indicato con  $k$ , che tiene conto delle dimensioni del locale da illuminare e dell'altezza della sorgente luminosa rispetto al piano da illuminare (piano di lavoro).

*e) Fattori di riflessione, utilizzazione e manutenzione*

Il *fattore di riflessione* è dato dal rapporto tra flusso luminoso riflesso e flusso luminoso incidente su una superficie (soffitto, pareti e piano di lavoro).

Il *fattore di utilizzazione* di un apparecchio per illuminazione è un coefficiente che viene fornito dalle case costruttrici mediante apposite tabelle. Esso viene ricavato per via sperimentale e indica il rapporto tra il flusso luminoso che giunge sulla superficie da illuminare (flusso luminoso utile) ed il flusso emesso dall'apparecchio.

Il *fattore di manutenzione* è il rapporto tra l'illuminamento prodotto da un apparecchio dopo un certo periodo e quello dello stesso apparecchio nuovo. Esso tiene conto della perdita di flusso luminoso che si verifica a causa dell'invecchiamento delle lampade e dell'insudiciamento dell'apparecchio e viene di norma fornito dalle ditte costruttrici. Anche la riduzione della capacità di riflessione delle pareti influisce sul fattore di manutenzione.

### **Tavola illuminotecnica**

<b>Tavola Illuminotecnica</b>			
Nome della grandezza	Simbolo della grandezza	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura
<i>Intensità luminosa</i>	$I (I_v)$	<i>candela</i>	<i>cd</i>
<i>Flusso luminoso</i>	$\Phi$	<i>lumen</i>	<i>lm</i>
<i>Luminanza</i>	$L$	<i>candela al metro quadro</i>	$Cd/m^2$
<i>Illuminamento</i>	$E$	<i>lux</i>	<i>lx</i>
<i>Indice di resa dei colori</i>	$R$	<i>(numero)</i>	-
<i>Coordinate del diagramma di scala cromatica</i>	$u', v'$	<i>(numero)</i>	-
<i>Fattore di utilizzazione</i>	$u$	<i>(numero)</i>	-
<i>Indice del locale</i>	$\mathcal{K}$	<i>(numero)</i>	-

## *Caratteristiche del monitor*

Il monitor utilizzato con il personal computer è un dispositivo raster: lo schermo cioè consiste di una matrice rettangolare di pixel (picture element). Ogni pixel del monitor può assumere un colore tra quelli disponibili.

Il pixel occupa una zona quadrata, il cui lato varia da monitor a monitor. Il numero di pixel di base e il numero di pixel in altezza sono le dimensioni in pixel del monitor (per esempio 1024 x 768 pixel).

Dimensioni comuni di questa matrice rettangolare di pixel sono le seguenti

640 pixel di base per 480 di altezza (standard VGA);

800 pixel di base per 600 di altezza;

1024 pixel di base per 768 di altezza (standard XGA);

1280 pixel di base per 1024 di altezza (standard SuperVGA).

Un monitor multisync consente di modificare la dimensione del pixel (per esempio passando da 640 x 480 su tutto lo schermo a 800 x 600: in tal modo il singolo pixel diventa più piccolo).

Monitor meno recenti hanno dimensioni fisse e non modificabili, per esempio 640 x 480 pixel. Un monitor multisync può invece essere regolato indifferentemente su una qualunque delle dimensioni in pixel che supporta (e che sono supportate anche dalla scheda grafica).

Poiché le dimensioni fisiche del monitor naturalmente non variano, modificare le dimensioni in pixel del monitor significa in realtà modificare il lato del pixel; per esempio passando da 640 x 480 pixel a 800 x 600 pixel, il lato del pixel diminuisce (perché nella stesso spazio in cui prima c'erano 640 pixel, ora ce ne sono 800).

La risoluzione (resolution) del monitor è il numero di pixel per unità di misura (pollice o centimetro):

pixel per pollice (ppi, pixel per inch);

pixel per centimetro (ppc).

In memoria, ogni pixel del monitor è rappresentato con un certo numero di bit. Questo numero viene detto profondità di colore. Per esempio se ad ogni pixel sono riservati 8 bit (quindi 256 livelli) per il rosso e altrettanti per il verde e il blu, la profondità di colore è di 24 bit (e quindi ogni pixel può assumere un colore tra 16.777.216 colori).

### ***Profondità di colore***

Consideriamo un pixel di una immagine a colori RGB. Questo pixel può assumere un determinato colore. Il colore del pixel è a sua volta prodotto dalla sintesi additiva dei tre primari R, G e B che compongono il pixel.

Normalmente sono possibili 256 colori per ogni primario R, G e B; quindi 256 possibili livelli di R, 256 livelli e G e 256 livelli B. Poiché per memorizzare un livello tra 256 livelli sono necessari 8 bit, in questo caso la profondità di colore (bit depth) per ogni primario è di 8 bit.

Se per ogni primario sono disponibili più bit (per esempio 16) la profondità di colore sarà maggiore (16) e saranno rappresentabili più livelli per ogni primario.

Quindi, quando parliamo di profondità di colore, ci riferiamo al numero di bit con cui viene descritto il valore di luminosità del singolo primario. Se la profondità è 8 bit ogni primario può assumere 256 colori, e ogni pixel  $256 \times 256 \times 256$  colori, che sono 16.777.216 colori.