

## 02. FONDAMENTI DI FOTOMETRIA – GRANDEZZE FOTOMETRICHE E FONDAMENTI DI ILLUMINOTECNICA

Il nostro sistema visivo non ha una sensibilità costante in tutte le condizioni di illuminazione ma si adatta: se c'è poca luce diventa più sensibile e questa situazione di poca luce è detta situazione scotopica. Mentre la situazione in cui c'è abbastanza luce è detta situazione fotopica. La curva scotopica è più alta e ciò implica che siamo più sensibili alla luce quando c'è poca luce. Ma ha anche un'altra caratteristica: il massimo non è in corrispondenza di 555 nm ma di 507 nm, e questo significa passare dal colore giallo al colore verde. C'è un esperimento che si chiama effetto Purkinje che rappresenta la tendenza dell'occhio umano a percepire diversamente i colori in relazione alla quantità di luce presente nell'ambiente (es. in presenza di pochissima luce il sistema visivo umano è in grado di distinguere le cose ma non è in grado di vedere i colori, questo perché in condizioni scotopiche non sono in azione i coni della retina ma solo i bastoncelli che tuttavia non ricevono i colori. In questa situazione di scarsa illuminazione, in presenza di un cartoncino giallo e di uno verdino il sistema visivo è in grado di riconoscere il cartoncino verde come quello dal colore più chiaro. Questo è l'effetto dell'aumento di sensibilità).

Esistono due versioni normalizzate delle curve di efficacia (cioè dividere la curva per il suo valore massimo. Quindi le efficienze hanno sempre valore massimo uguale a 1). Grandezze fotometriche:

- Per descrivere le sorgenti di luce: FLUSSO LUMINOSO (lm) e INTENSITÀ LUMINOSA (cd)
- Per descrivere le superfici illuminate: ILLUMINAMENTO (lx)
- Per descrivere l'osservatore umano: LUMINANZA [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

Il FLUSSO LUMINOSO (lm) è la quantità totale di radiazione luminosa (luce) emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo.

Una lampadina a incandescenza da 100 W emette un flusso di circa 1350 lm. Una lampadina a incandescenza da 60 W emette tra i 600-700 lm; è esattamente equivalente a una lampadina a led da 11 W che emette 620 lm.

Il flusso luminoso emesso da una sorgente si misura con una sorta di battisfera del diametro di 2 m, fattore di riflettività 97% con relativa testa fotometrica. La sorgente viene appesa nel centro di questa battisfera e tramite la quantità di luce che esce tramite un forellino laterale dove è applicato uno strumento di misura si determina quant'è il flusso luminoso in lumen emesso da quella sorgente di luce. Questo strumento è in grado di misurare il flusso di lampade a scarica, ad incandescenza e fluorescenti lineari; di misurare il rendimento luminoso degli apparecchi illuminanti; di determinare il fattore di trasmissione e riflessione dei materiali traslucidi in condizione di luce diffusa.

L'INTENSITÀ LUMINOSA (cd) è il flusso luminoso radiato per unità di angolo solido in una determinata direzione. Si misura con il goniometro, dotato di un braccio capace di descrivere a 360° tutte le direzioni attorno all'apparecchio d'illuminazione. La luce viene riflessa nello specchio (uno specchio particolare il cui supporto è fatto dello stesso materiale indeformabile con cui si fanno i supporti dei pannelli solari e dei satelliti per le telecomunicazioni che mandano in orbita). Vi è poi uno strumento di misurazione che misura quanta luce arriva in quel punto da quello strumento. Tutti gli apparecchi di illuminazione hanno un regime di funzionamento: se viene utilizzato diversamente emette la luce in maniera diversa per due ragioni: questi prodotti non sono fatti con materiale di alta qualità per la bionica ma con lo scopo di contenere i prezzi; quindi le deformazioni geometriche (dovute alla gravità) che avvengono in un prodotto di queste dimensioni quando è tenuto in un certo modo sono diverse. Deformandosi il prodotto cambia il modo in cui viene emessa la luce. Ma anche il tubo fluorescente al cui interno ci sono vapori di mercurio a seconda che lo tenga in orizzontale o verticale si accorge del campo gravitazionale della terra ed emette luce in maniera diversa. Ecco la ragione per cui è stato inventato questo meccanismo che serve a far in modo che l'apparecchio d'illuminazione durante la misura sia installato nella stessa posizione in cui viene applicato quando è utilizzato nei progetti.

Tutti questi valori, queste intensità luminose lette a 360° attorno all'apparecchio di illuminazione vanno a costituire il solido fotometrico. Si tratta di un diagramma che indica come esce la luce da una sorgente di illuminazione, ad esempio nel caso di una lampadina. Questi vettori hanno lunghezza proporzionale all'intensità della luce emessa in quella direzione. La sorgente non emette luce in maniera uniforme in tutte

le direzioni, ma ne emette un massimo verso il basso, una quantità minore sui lati e, mano a mano che procedo verso l'alto, la luce diminuisce sino a diventare nulla in corrispondenza del metallo.

**SOLIDO FOTOMETRICO** una sorgente puntiforme reale emette luce con la stessa intensità luminosa in tutte le direzioni. Gli apparecchi reali emettono luce con intensità luminosa differente in funzione della direzione rispetto ad un asse di riferimento. L'asse di riferimento coincide in genere con l'asse geometrico dell'apparecchio o della sorgente. Le aziende illuminotecniche usano presentare questa caratteristica tramite un diagramma detto solido fotometrico.

Il solido fotometrico viene rappresentato per sezioni e indica l'intensità luminosa in cd per tutte le direzioni 3D attorno al centro di emissione della luce rispetto ad un asse di riferimento. Dalla sezione di un solido fotometrico è possibile notare che è emessa molta luce sui lati e poca luce verso il basso; questo perché per illuminare uniformemente tutta la superficie sottostante da un punto centrale occorre maggior intensità sui lati dove la distanza dalla superficie e l'inclinazione sono maggiori (mentre al centro per illuminare bene è il punto dove mi basta l'intensità minore).

L'**ILLUMINAMENTO** ( $lx$ ) indica la quantità di luce, o flusso luminoso, che ricade su un'area unitaria di superficie (quanta luce arriva su una superficie non vuol dire quanto questa superficie è chiara o scura). La **LEGGE DELL'INVERSO DEL QUADRATO** (legge fondamentale dell'illuminotecnica) mette in relazione la luce che esce da una sorgente luminosa con la luce che si può ottenere su una superficie; quindi mette in relazione due elementi fondamentali del progetto cioè sorgenti di luce e superfici da illuminare. Maggiore è l'intensità luminosa maggiore sarà l'illuminamento ottenuto (più luce mando più luce ottengo). Inoltre più mi allontano e meno luce ottengo: la luce decade con il quadrato della distanza (quindi molto velocemente). All'aumentare dell'angolo di inclinazione con cui il raggio giunge sulla superficie (cioè al diminuire del coseno), l'illuminamento diminuisce. Moltiplicare i termini della formula per questa quantità minore di uno significa far diminuire il risultato. Ciò significa che all'aumentare dell'angolo alfa diminuisce l'illuminamento. La legge dell'inverso del quadrato è anche la legge dell'alba e del tramonto: quando il sole sorge i raggi arrivano in modo tendenzialmente parallelo alla superficie e l'illuminamento è minimo; a mezzogiorno si ha il massimo illuminamento; l'illuminamento sulla superficie decade man mano che il sole comincia a tramontare. L'illuminamento si misura con il luxmetro. (La presenza di chi effettua la misurazione può influire sulla misurazione stessa, in due modi: a causa della proiezione della propria ombra e a causa dell'eventuale aumento dell'illuminamento dovuto alla luce riflessa dall'abbigliamento bianco).

La **LUMINANZA** [ $cd/m^2$ ] è l'intensità luminosa emessa per unità di area da una superficie in una direzione specifica. È il rapporto tra l'intensità che mi arriva da un'area e la sua area apparente. L'area apparente è il prodotto tra l'area  $A$  e il coseno dell'angolo di rotazione. L'area apparente dipende dalla posizione dell'osservatore, quindi la luminanza dipende dalla posizione. Entra in gioco una regola fondamentale che mette in relazione la superficie con l'osservatore umano (diversamente dalla legge dell'inverso del quadrato che mette in relazione la sorgente di luce con la superficie).

La luminanza  $L$  di una superficie illuminata con illuminamento  $E$ , è uguale al prodotto di  $E$  per il fattore di riflessione della superficie  $\rho$  diviso  $\pi$ , purchè questa superficie sia lambertiana (lambertiana significa che non è uno specchio, la componente speculare è pressoché nulla). Una superficie lambertiana ideale non esiste (la cosa più lambertiana in natura è il gesso). La luminanza di una superficie lambertiana non varia in funzione dell'osservatore. La chiarezza cioè la luminanza con cui si osserva una superficie lambertiana non dipende dalla posizione dell'osservatore (ciò non accade con una superficie con ad alta componente speculare) ma solo da quanta luce riceve e dal fatto che sia più chiara/scura in funzione di  $\rho$ .

Il fattore di riflessione  $\rho$  è un numero compreso tra 0-1 che indica se una superficie è più chiara o più scura. È 0 per il nero ideale e 1 per il bianco ideale (in generale il muro bianco tirato a gesso ha un fattore di riflessione massimo che arriva a 0,8).

Intervalli consigliati nella EN12464 per i fattori di riflessione all'interno del locale: Soffitto 0.6-0.9, Pareti 0.3-0.8, Piano di lavoro 0.2-0.6, Pavimento 0.1-0.5. Notiamo che la norma prevede che andando dall'alto verso il basso bisogna avere superfici via via più scure perché così è in natura. Verrebbero altrimenti invertiti i naturali rapporti di luminanza cui è abituato il sistema percettivo umano che si è evoluto in milioni di anni stando all'aperto con il terreno scuro sotto e il cielo luminoso sopra.

Attraverso le due formule fondamentali dell'illuminotecnica si può governare la relazione tra luce, superfici, materiali, progetto, individuo.

In realtà la fotometria ha dei limiti: quando si usa il termine luminanza è sbagliato associarla alla nostra sensazione di luminosità. La luminanza è una grandezza fotometrica, la luminosità è un attributo delle superfici visibili. Questo concetto è ben comprensibile attraverso un esperimento figurativo: avendo 3 cartoncini con differente fattore di riflessione, se li illumino tutti e tre con 1000 lx e applicando la formula ottengo 3 valori di luminanza diversi. Il primo riflette tanto quindi lo vedo bianco, il secondo riflette in maniera media e lo vedo grigio, il terzo riflette quasi per niente e lo vedo nero. Supponiamo di illuminare gli stessi 3 cartoncini con differenti e opportuni valori di illuminamento; applicando la stessa formula si può notare che i tre cartoncini hanno esattamente la stessa luminanza, quindi li vedo tutti e tre grigi. Sembrerebbe che l'illuminazione può modificare la percezione della realtà ma il nostro sistema visivo è in grado comunque di distinguere il cartoncino bianco da quello grigio da quello nero, perché entra in gioco la percezione cognitiva, cioè il cervello. L'informazione che arriva ai nostri occhi (sostanzialmente luce e colore) non è qualcosa che viene semplicemente registrato ma è qualcosa che viene interpretato dal nostro cervello. In particolare il cervello non stabilisce che una superficie è bianca o nera solo in funzione di quanta luce vi riflette ma lo fa anche sulla base di una serie di altri fattori, come ad esempio la relazione con l'intorno.

Il concetto di luminosità in psicofisica è distinto in due termini detti CHIAREZZA e BRILLANZA che derivano dalla luminanza ma senza una relazione diretta. Si parla di chiarezza per le superfici che riflettono la luce; si parla di brillantezza per le superfici che emettono la luce. Il concetto di chiarezza è relativo e dipende dall'intorno. La chiarezza è la valutazione soggettiva dell'osservatore che dipende dalla luminanza della superficie e dalla distribuzione complessiva delle luminanze all'interno del campo visivo (nel caso di superfici emittenti la luce si chiama brillantezza).

La luminanza si misura attraverso il luminanzometro e il videofotometro (consente di acquisire un insieme di valori di luminanza realizzando una mappa a falsi colori dei livelli di illuminamento; progettualmente è un'informazione fondamentale per valutare la qualità percettiva di un interno. Ciò è possibile farlo ad oggi anche con una macchina fotografica ad alta dinamica e l'ausilio di un software).

