



APPUNTI DI TEORIA

ILLUMINOTECNICA

Premessa

L'Illuminotecnica si occupa dello studio e del progetto di dispositivi e di impianti capaci di creare negli ambienti condizioni idonee per una corretta visione. Concetti tipici dell'Illuminotecnica, ad esempio quelli relativi al colore della luce, sono inoltre utilizzati in numerose applicazioni di Ottica. L'Illuminotecnica è una materia eminentemente interdisciplinare, che abbraccia numerosi e differenti ambiti conoscitivi: il funzionamento dell'apparato visivo ed i meccanismi di visione che da esso derivano si fondano su nozioni di Anatomia e Fisiologia umana; la definizione dei requisiti prestazionali dei sistemi di illuminazione è un importante capitolo dell'Ergonomia; lo studio delle sorgenti di luce artificiale riguarda svariate discipline dell'Ingegneria e di Disegno Industriale; il progetto dei sistemi di illuminazione naturale ed artificiale si situa a cavallo fra Ingegneria ed Architettura.

Il programma del corso si articola nei seguenti capitoli:

1. Generalità sulla visione
2. Grandezze fotometriche
3. Colorimetria
4. Sorgenti di luce artificiale
5. Progetto di sistemi di illuminazione

Lo studio dell'Illuminotecnica richiede la conoscenza di nozioni di base di Ottica ed Elettromagnetismo. Analogamente al caso dell'Acustica Applicata, anche l'Illuminotecnica si sviluppa su binari paralleli e complementari: l'aspetto fisico, relativo alla generazione, propagazione e ricezione della luce, l'aspetto psico-fisiologico, relativo alla sensazione che la luce determina, l'aspetto progettuale, relativo alla definizione di soluzioni tecniche idonee a realizzare un ambiente luminoso sicuro e confortevole.



1. Generalità sulla visione

Un corpo eccitato emette onde elettromagnetiche di varie lunghezze d'onda secondo pacchetti di energia detti fotoni. La radiazione elettromagnetica visibile copre una banda molto stretta dello spettro: è infatti compresa nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 380 nm e 780 nm; l'apparato visivo umano "riconosce" la lunghezza d'onda della luce attraverso la tinta (v. cap. 3):

Violetto:	410 nm	Blu:	470 nm	Verde:	520 nm
Giallo:	580 nm	Arancione:	600 nm	Rosso:	650 nm

Punto di partenza dello studio dei meccanismi di visione è stabilire una corrispondenza tra le proprietà dello *stimolo* e le *sensazioni soggettive* che esso determina.

1.1 I meccanismi fondamentali della visione

L'occhio è l'organo periferico della visione: esso svolge la duplice funzione di ricevitore del messaggio luminoso e di processore dello stesso per la sua trasmissione al cervello. La struttura ed il funzionamento dell'occhio presentano evidenti analogie con quelle di un apparecchio fotografico. L'iride ed il cristallino sono i principali componenti ottici dell'occhio: permettono infatti di regolare la quantità di luce che entra attraverso la pupilla e di mettere a fuoco l'immagine che si forma sulla retina, funzioni analoghe a quelle dell'obiettivo e del diaframma dell'apparecchio fotografico.

La parte interna dell'occhio comprende la retina che è collegata, attraverso il nervo ottico, direttamente all'encefalo. Le terminazioni nervose sensibili alla luce presenti nella retina sono classificate in due tipi, a seconda delle funzioni svolte:

- I *coni* (6-7 milioni) sono responsabili della *visione diurna* (o *fotopica*) in cui è possibile il riconoscimento dei colori; esistono infatti tre tipi di coni, sensibili rispettivamente al rosso, al verde e al blu; la soglia di risposta dei coni è di circa 10^{-3} Nit¹.
- I *bastoncelli* (75-150 milioni) sono principalmente responsabili della visione, sostanzialmente acromatica, in condizioni di bassa luminosità (*visione crepuscolare* o *scotopica*); la soglia di risposta dei bastoncelli è compresa tra 10^{-4} Nit e 10^{-5} Nit.

L'occhio ha la capacità di adattare la visione a condizioni di luminosità notevolmente variabili: la condizione minima di luminosità che consente la visione (notte con cielo sereno) è infatti prossima alla soglia di sensibilità dei bastoncelli (10^{-5} Nit), mentre la soglia del dolore per condizioni di eccessiva luminosità è dell'ordine di 10^{+5} Nit.

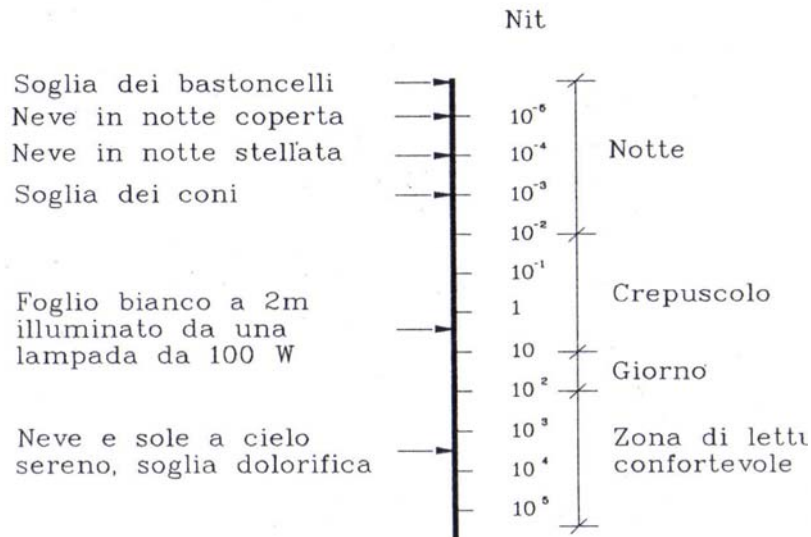
Le *Leggi di Grassmann* costituiscono la base sperimentale per lo studio della visione:

- Per stimoli di durata non inferiore ad alcune decine di secondi, la sensazione dipende per lo più alla *potenza* associata allo stimolo (radiazione elettromagnetica visibile).
- La sensazione dipende dalla *distribuzione spettrale* della radiazione luminosa.
- La sensibilità alle radiazioni monocromatiche è *massima* al centro dell'intervallo del visibile, mentre decade agli estremi.

¹ Il Nit è l'unità di misura S.I. della grandezza fotometrica detta *Luminanza* (v. par. 2.4)



- L'intensità della sensazione prodotta da una luce a *spettro complesso* è somma degli effetti soggettivi dovuti alle singole componenti monocromatiche.



E' importante notare che la parte di corteccia celebrale responsabile della decodifica degli impulsi visivi è in grado di ricevere contemporaneamente le sensazioni di entrambi gli occhi; ciò consente di elaborare:

- Informazioni *spazio-temporali* sugli oggetti presenti nel campo visivo (forma, posizione, velocità di spostamento, ecc.).
- Informazioni sulla *luminosità* (o *brillantezza*) degli oggetti.
- Informazioni sul *colore* degli oggetti.

Le grandezze fotometriche (cap. 2) e colorimetriche (Cap. 3) permettono di quantificare le proprietà soggettive della luce.

1.2 Sensibilità della vista alle radiazioni monocromatiche

Come nel caso dell'apparato uditivo, anche la visione è influenzata dal fatto che l'occhio risponde in maniera differente al variare della lunghezza d'onda della radiazione. Lo studio della relazione stimolo-sensazione è stato condotto con riferimento ad un "occhio medio internazionale" che rispecchia le caratteristiche medie della popolazione.

E' stato così possibile determinare, attraverso un adeguato numero di misure soggettive, una funzione, detta *fattore di visibilità* $V(\lambda)$, che esprime la risposta soggettiva al variare della lunghezza d'onda delle radiazioni monocromatiche.

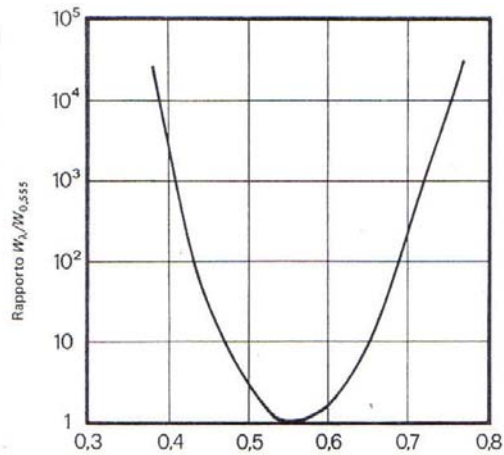
La definizione del fattore di visibilità si basa sul confronto fra coppie di fasci luminosi monocromatici di diversa lunghezza d'onda λ e potenza $W(\lambda)$, tali da determinare sensazioni di



visibilità equivalenti, ovvero di pari intensità luminosa. In tale situazione è soddisfatta la seguente condizione:

$$V(\lambda_1)W(\lambda_1) = V(\lambda_2)W(\lambda_2)$$

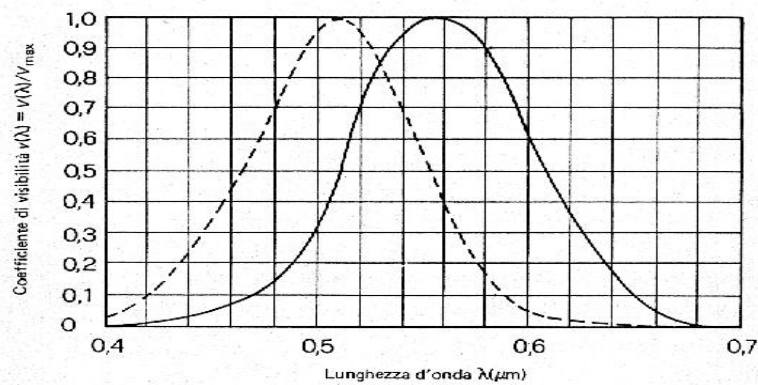
La potenza minima è richiesta alla lunghezza d'onda di massima visibilità $\lambda_{max} = 555 \text{ nm}$, a cui corrisponde il valore massimo del fattore di visibilità $V_{max} = 683 \text{ lm/W}^2$. Il grafico seguente evidenzia che il fattore di visibilità presenta variazioni dell'ordine di 10^5 tra il centro e gli estremi della banda visibile.



Risulta quindi conveniente utilizzare il *fattore di visibilità normalizzato* definito come:

$$v(\lambda) = \frac{V(\lambda)}{V_{max}}$$

L'andamento di $v(\lambda)$ in funzione di λ costituisce la *curva normale di visibilità* stabilita dal CIE (Comité International de l'Eclairage), rispettivamente per le condizioni di visione diurna (flusso luminoso per unità di area $> 10 \text{ lm/m}^2$) e crepuscolare ($< 0,01 \text{ lm/m}^2$). Si osservi come, in quest'ultimo caso, la sensibilità dell'occhio si sposti da 555 nm a 508 nm , corrispondente a una luce di tinta azzurro-verde (fenomeno noto come *effetto Purkinje*).



² Il *lumen* (lm) è l'unità di misura del flusso luminoso; il valore 683 lm/W deriva dalla definizione dell'unità di misura fondamentale del sistema fotometrico e del relativo campione (v. par. 2.5).