



Università degli Studi di Cassino
Facoltà di Ingegneria - Polo di Frosinone

Lezioni del Corso

Tecnica del Controllo Ambientale

lezione n.01

A.A. 2005-2006 docente: ing. Giorgio Ficco



Indice

1. Introduzione
2. L'occhio umano e la visione
3. La Fotometria
4. La Trasmissione della Luce
5. Le Grandezze Fotometriche
 - *Flusso Luminoso (ϕ)*
 - *Intensità Luminosa (I)*
 - *Luminanza (L)*
 - *Radianza (M)*
 - *Illuminamento (E)*





L'**Illuminotecnica** è la parte di Fisica Tecnica che studia i problemi di illuminazione, sia naturale che artificiale al fine di assicurare le condizioni di benessere ambientale e di confort visivo

La **Fotometria** si occupa della misura della quantità di energia raggiante emessa da una sorgente, o ricevuta da una superficie, in relazione alle sensazioni prodotte nell'individuo attraverso l'occhio.

Cenni Storici

Huygens (1670), teoria ondulatoria – Bouguer (1729) e Lambert (1760) *...l'occhio è influenzato non dalla quantità di energia che lo investe, ma dal rapporto di questa con il tempo, quindi dalla potenza del fascio delle radiazioni incidenti...* - Maxwell (1873), teoria delle onde elettromagnetiche

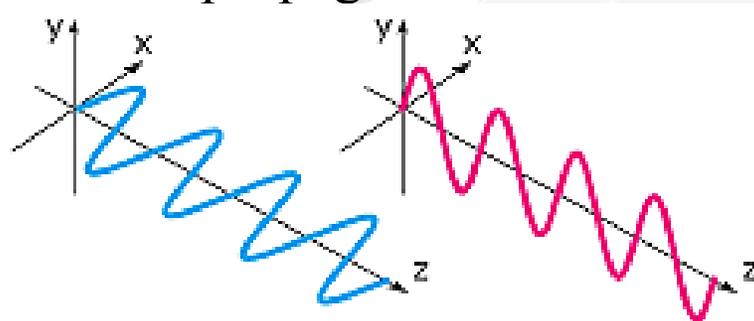
1. Introduzione

Le **onde elettromagnetiche** sono il fenomeno fisico attraverso il quale l'energia elettromagnetica può trasferirsi da luogo a luogo per propagazione.

Tale fenomeno di **trasferimento di energia** può avvenire nello spazio libero (via etere) oppure può essere confinato e facilitato utilizzando appropriate linee di trasmissione (guide d'onda, cavi coassiali ecc.).

Le onde elettromagnetiche, secondo la teoria di Maxwell, sono fenomeni oscillatori, generalmente di tipo sinusoidale, e sono costituite da due grandezze che variano periodicamente nel tempo: il **campo elettrico** ed il **campo magnetico**.

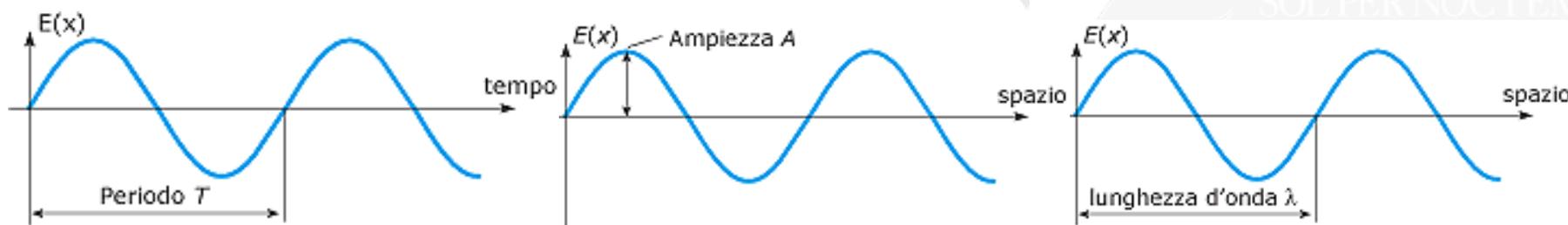
In condizioni di campo lontano i due campi sono in fase, ortogonali tra loro e trasversali rispetto alla direzione di propagazione.



la **frequenza** rappresenta il numero di oscillazioni effettuate dall'onda in un secondo (unità di tempo);

la **lunghezza d'onda** è la distanza percorsa dall'onda durante un tempo di oscillazione e corrisponde alla distanza tra due massimi o due minimi dell'onda.

l'**energia** associata alla radiazione elettromagnetica è direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda stessa.





La classificazione delle onde elettromagnetiche viene fatta in base alla frequenza o alla lunghezza d'onda.

Le onde elettromagnetiche sono classificate in base alle loro frequenze caratteristiche all'interno dello spettro elettromagnetico.

Lo spettro elettromagnetico viene suddiviso in:

- ✚ zona **ionizzante**, comprendente raggi X e raggi gamma, aventi frequenza molto alta (> 3000 THz) e dotati di energia sufficiente per ionizzare direttamente atomi e molecole,
- ✚ zona **non ionizzante** (NIR), le cui radiazioni non trasportano un quantitativo di energia sufficiente a produrre la rottura dei legami chimici e produrre ionizzazione.

La luce solare contiene tutte le lunghezze d'onda che provocano la sensazione cromatica.

**1. Introduzione**

| Denominazione | | Sigla | Frequenza | Lunghezza d'onda |
|------------------------------|--|-------|---------------|------------------|
| Frequenze Estremamente Basse | | ELF | 0 - 3kHz | > 100 km |
| Frequenze Bassissime | | VLF | 3 - 30kHz | 100 – 10 km |
| Radiofrequenze | Basse Frequenze (Onde Lunghe) | LF | 30 - 300kHz | 10 – 1 km |
| | Medie Frequenze (Onde Medie) | MF | 300kHz - 3MHz | 1 km – 100 m |
| | Alte Frequenza | HF | 3 - 30MHz | 100 – 10 m |
| | Frequenze Altissime (Onde Metriche) | VHF | 30 - 300MHz | 10 – 1 m |
| Microonde | Onde Decimetriche | UHF | 300MHz - 3GHz | 1 m – 10 cm |
| | Onde Centimetriche | SHF | 3 - 30GHz | 10 – 1 cm |
| | Onde Millimetriche | EHF | 30 - 300GHz | 1 cm – 1 mm |
| Infrarosso | | IR | 0,3 - 385THz | 1000 - 0,78 mm |
| Luce Visibile | | | 385 - 750THz | 780 – 400 nm |
| Ultravioletto | | UV | 750 - 3000THz | 400 – 100 nm |
| Radiazioni Ionizzanti | | X | > 3000THz | < 100 nm |



Esperienza di Newton:

quando un raggio di luce solare entra in un prisma di vetro, le componenti cromatiche associate alle lunghezze d'onda subiscono una rifrazione che è diversa per ciascuna di esse.

Ogni colore subisce, all'interno del prisma, una deviazione dalla propria direzione di propagazione che risulta essere tanto maggiore quanto più piccola è la lunghezza d'onda ad essa associata.

Il rosso, che ha la lunghezza d'onda maggiore, è deviato meno del violetto. Utilizzando uno schermo dopo il prisma la luce sarà dispersa, colore per colore, su una vasta zona.

E' possibile ricombinare i colori ottenuti dalla dispersione con il prisma per tornare alla condizione iniziale di luce bianca, ponendo in prossimità del piano di formazione dello spettro un secondo prisma uguale al primo ma capovolto, il quale ricompone i colori restituendo il fascio iniziale di luce bianca

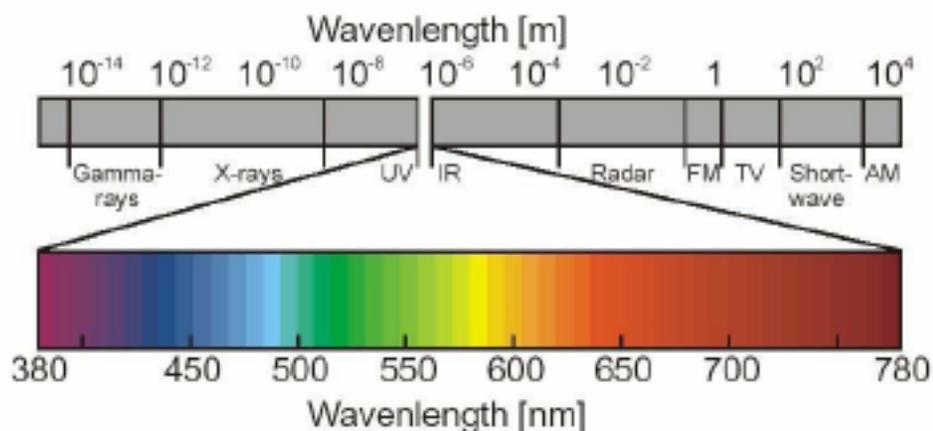
1. Introduzione



La regione a destra dello spettro elettromagnetico è quella tipica utilizzata nelle trasmissioni radiofoniche, quella centrale è lo spettro visibile, le rimanenti sono le frequenze di lavoro dei radiotelescopi, dei satelliti per l'infrarosso, l'ultravioletto, i raggi X, e la radiazione gamma.

Lo Spettro Visibile:

E' una porzione dello spettro elettromagnetico compresa tra 380 e 780 nm.



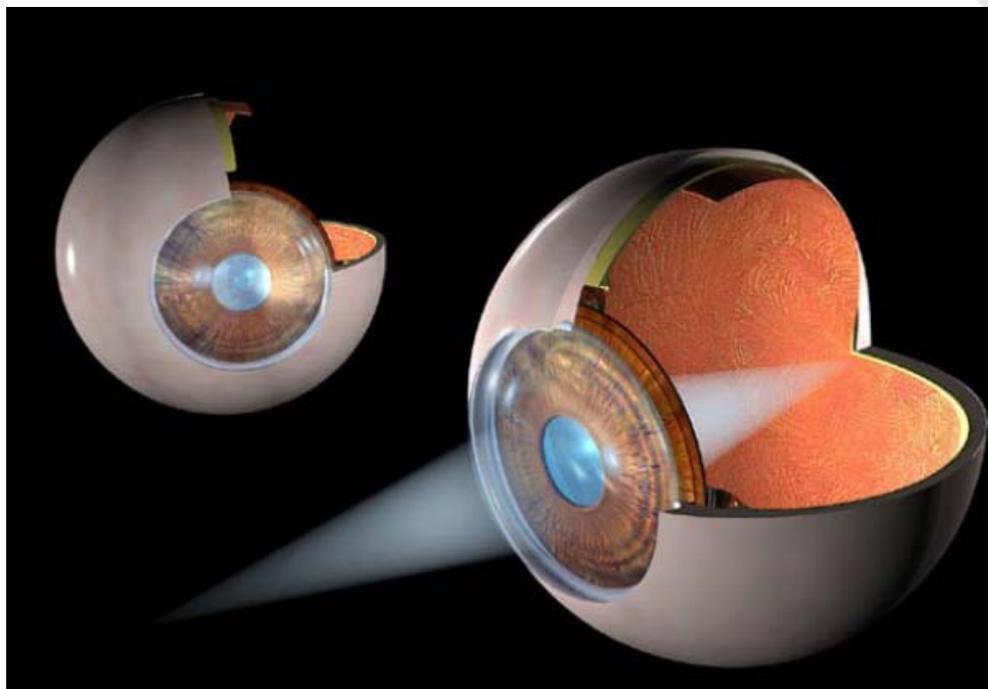
L'occhio umano è maggiormente sensibile alle lunghezze d'onda a cavallo dei 550 nm (luce giallo-verde). A 380 nm si ha luce viola (a sinistra della quale si hanno i raggi ultra violetti, non visibili) e a 780 nm si ha il rosso (a destra del quale si hanno i raggi infrarossi, non visibili).

Le pellicole fotografiche hanno sensibilità diverse dall'occhio umano, ed è per questo che talvolta rivelano particolari che sfuggono al nostro occhio.



2. L'Occhio Umano

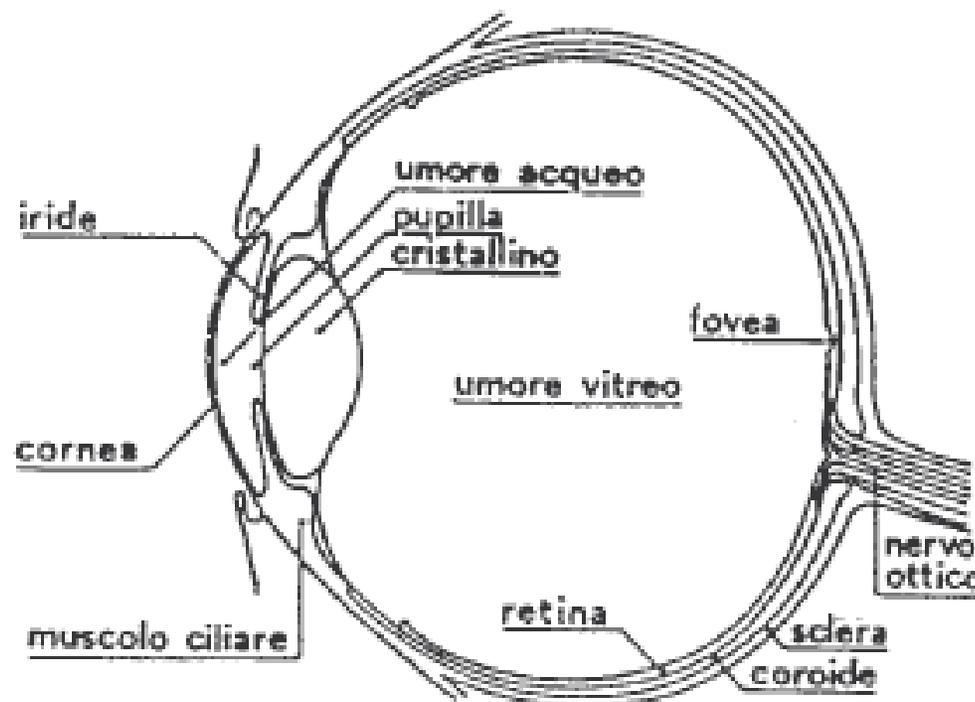
La luce, dopo essere penetrata nel cristallino, passa attraverso l'umore vitreo (sostanza gelatinosa limpida che riempie il bulbo oculare) fino a incidere sulla retina ove si forma l'immagine.



2. L'occhio umano

Sulla retina sono presenti due tipi di cellule fotosensibili, dette *bastoncelli* e *coni*, sensibili alla quantità di luce che incide nell'unità di tempo sulla retina. Coni e bastoncelli contengono particolari sostanze fotosensibili (pigmenti), la cui struttura chimica può essere alterata dalla luce.

La maggiore o minore quantità di pigmento distrutta nell'unità di tempo provoca stimoli nervosi che passano al cervello attraverso il *nervo ottico* per l'interpretazione della visione.



I segnali nervosi sono in parte elaborati nella *retina* che risulta, dal punto di vista fisiologico un vero e proprio tessuto celebrale.



Retina centrale

percezione dei dettagli, visione ad alta definizione, acuità visiva, perc.contrasto, perc.cromatica, visione fotopica



Retina periferica

percezione dello spazio circostante, visione a bassa definizione campo visivo, percezione del movimento, visione scotopica).

2. L'Occhio Umano

I bastoncelli sono concentrati ai bordi della retina, mentre i coni sono ammassati in una piccola area centrale detta *fovea*.

- ✚ i ***bastoncelli*** (circa 125 milioni) sono responsabili della visione in bianco e nero a bassa intensità (visione *notturna*) nei bastoncelli è presente un unico pigmento (*porpora retinica*)
- ✚ i **coni** (circa 7 milioni) sono responsabili della distinzione dei colori forniscono una visione precisa alla luce intensa del giorno; nei coni sono presenti tre pigmenti diversi (**iodopsine**), ciascuno per la regione spettrale del rosso, del blu e del verde.

I tre stimoli (rosso, blu e verde) sono elaborati dal cervello e danno la percezione del colore.

La **pupilla** è un diaframma naturale al centro dell'iride di diametro variabile, simile a quello di una macchina fotografica, il cui compito è quello di modulare la quantità di luce che va a incidere la retina.

L'**iride** è responsabile del colore degli occhi, che dipende dalla pigmentazione naturale più o meno intensa a cui corrispondono rispettivamente gli occhi scuri o chiari che abbiamo geneticamente ereditato.

Il **cristallino** è la seconda lente naturale che la luce incontra dopo la cornea, prima di raggiungere la retina. È una lente elastica, può cioè variare il suo spessore ed il suo potere convergente consentendo la visione da vicino.

L'**umore vitreo** è una sostanza gelatinosa, trasparente che occupa la cavità oculare, compresa tra il cristallino e la retina. E' trasparente e aderisce perfettamente alla retina.



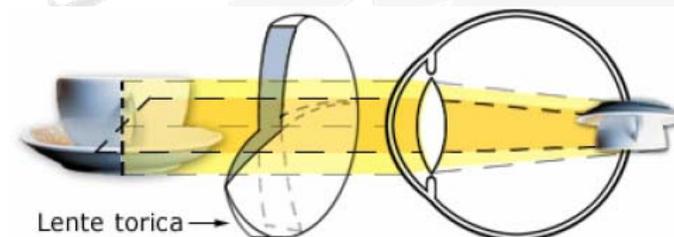
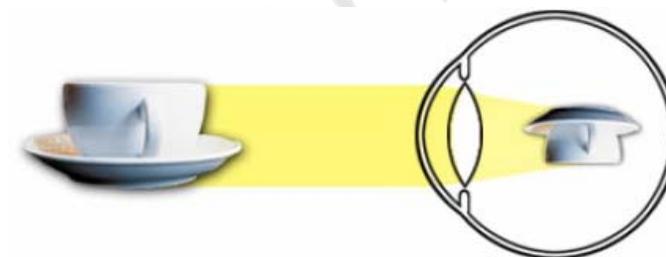
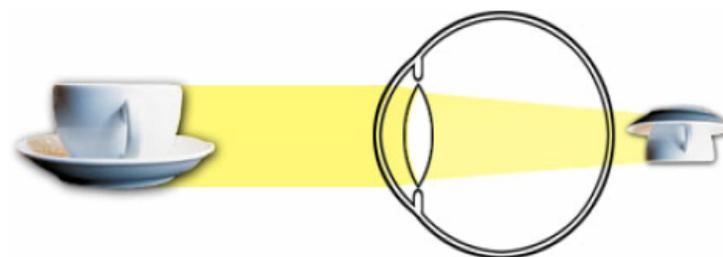
2. L'occhio umano

Ipermetropia: i raggi di luce paralleli provenienti dall'infinito vanno a fuoco dietro la retina, in accomodazione rilassata (lunghezza assiale del bulbo oculare inferiore alla norma, riduzione del potere diottrico di cornea e/o cristallino, riduzione dell'indice di rifrazione del cristallino).

Miopia: i raggi di luce paralleli provenienti dall'infinito vanno a fuoco davanti alla retina (lunghezza assiale del bulbo superiore alla norma)

Presbiopia: il potere di accomodazione decresce dopo l'infanzia, fino a diventare insufficiente dopo 40 anni e nullo dopo 60 anni. E' necessario correggere la mancanza di potere convergente del diottero oculare nella messa a fuoco di oggetti vicini.

Astigmatismo: la curvatura della cornea è diversa su diversi assi.



- La **fotometria** studia il legame tra sensazione visiva (soggettiva) e proprietà fisiche (oggettive) delle radiazioni luminose

$$0,38 \mu\text{m} < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$$

- La sensazione visiva non dipende dalla quantità di energia raggiante incidente, ma dalla *potenza incidente* sulla retina.
- Quando una radiazione luminosa di potenza costante investe l'occhio, la conseguente sensazione raggiunge rapidamente il suo valore definitivo che rimane poi costante (*adattamento*).
- Il valore di regime della sensazione si raggiunge in tempi assai rapidi (dell'ordine di 0,1 s) per cui nei problemi di normale tecnica dell'illuminazione non si prendono normalmente in considerazione fenomeni luminosi di carattere transitorio.



3. La Fotometria

L'occhio umano non è ugualmente sensibile alla potenza energetica di due fasci monocromatici a diversa λ , ossia due fasci luminosi con la stessa potenza energetica [W] potranno essere giudicati più o meno luminosi a seconda del valore di λ .

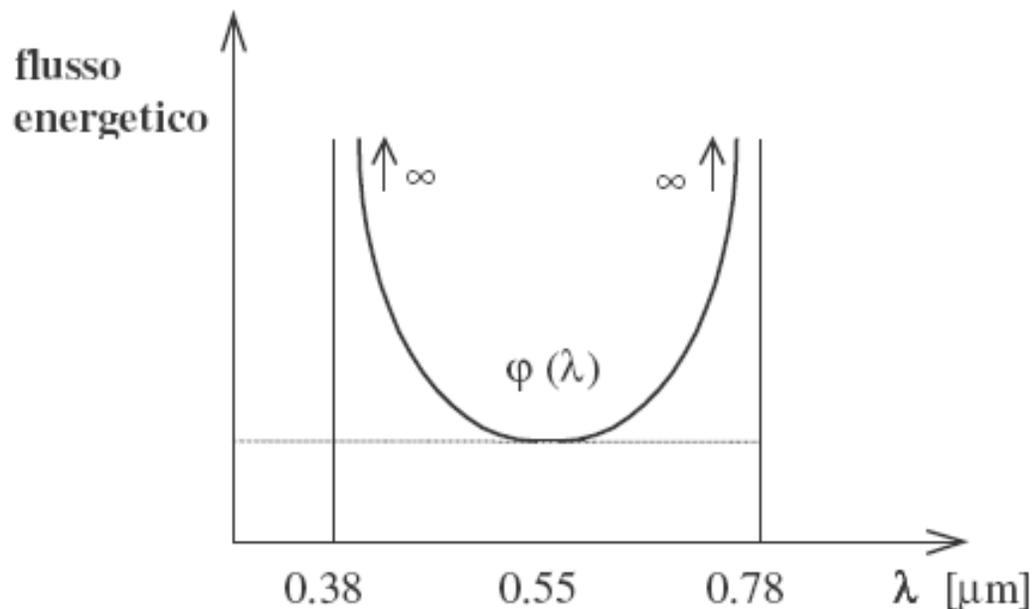
La potenza emessa per ogni singola lunghezza d'onda deve essere "*pesata*" secondo la sensibilità dell'occhio a quella lunghezza d'onda.

A tale scopo è stata studiata la risposta dell'occhio alle radiazioni di varie lunghezze d'onda sia in condizioni di luce diurna (visione fotopica) sia in condizioni di minore intensità luminosa (visione scotopica).

Il CIE ha codificato un occhio con una sensibilità media, risultato di una elaborazione statistica condotta su un gran numero di soggetti.

3. La Fotometria

- ✚ L'osservatore percepirà come più intensa la luce a $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$, dove l'occhio presenta quindi massima sensibilità, mentre stimerà progressivamente meno intensa la luce con λ maggiore o minore.
- ✚ Muovendosi verso i due limiti inferiore ($0,38 \mu\text{m}$) e superiore ($0,78 \mu\text{m}$) dello spettro visibile, per ottenere una sensazione di equivalenza dei due fasci luminosi, occorrerà incrementare la potenza della radiazione
- ✚ Per $0,38\mu\text{m} < \lambda$ e superiore di $0,78\mu\text{m} < \lambda$ non si avrà percezione visiva.



3. La Fotometria

si definisce il **coefficiente di visibilità** V_λ variabile con la lunghezza d'onda (V_{max} è il massimo coefficiente di visibilità che si ha a $\lambda=0,55 \mu\text{m}$)

$$V_\lambda \cdot \phi_\lambda = V_{max} \cdot \phi_{\lambda=0,55}$$

misure eseguite su campioni di persone hanno consentito di valutare il rapporto V_λ/V_{max} o **fattore spettrale di visibilità** v_λ e cioè:

$$v_\lambda = \frac{V_\lambda}{V_{max}} = \frac{\phi_{\lambda=0,55}}{\phi_\lambda}$$

3. La Fotometria

Curva A) - visione fotopica

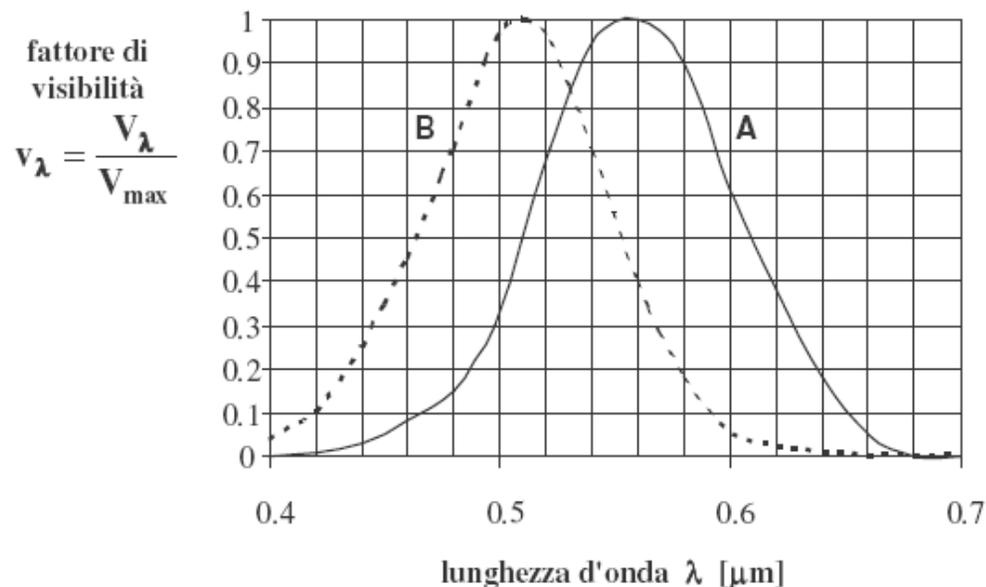
- percezione piena dei colori e delle differenze cromatiche
- l'andamento di v_λ è indipendente dai livelli di potenza degli stimoli solo sopra un certo valore e cioè per luci piuttosto intense corrispondenti a buona illuminazione

Curva B) - visione scotopica

- luci molto deboli e visione praticamente in bianco e nero
- scarse illuminazioni (bassi valori di luminanza)

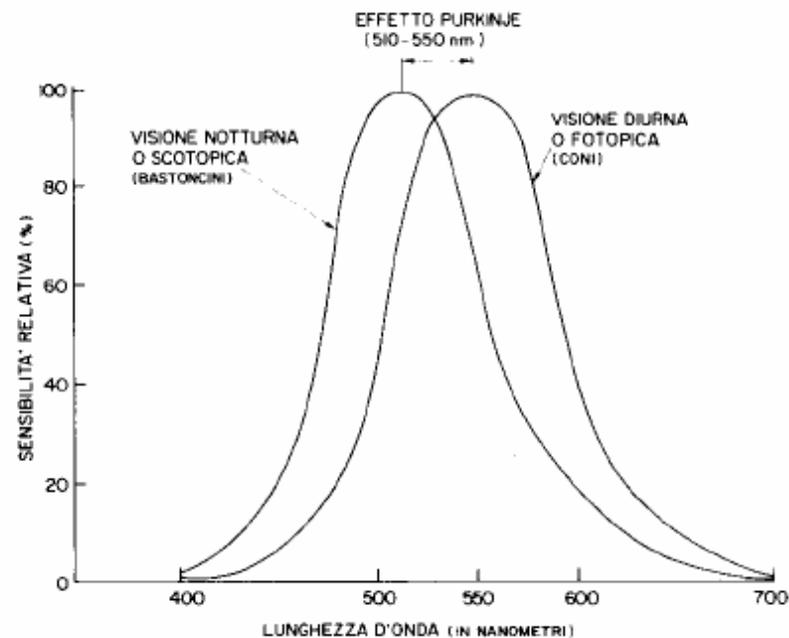
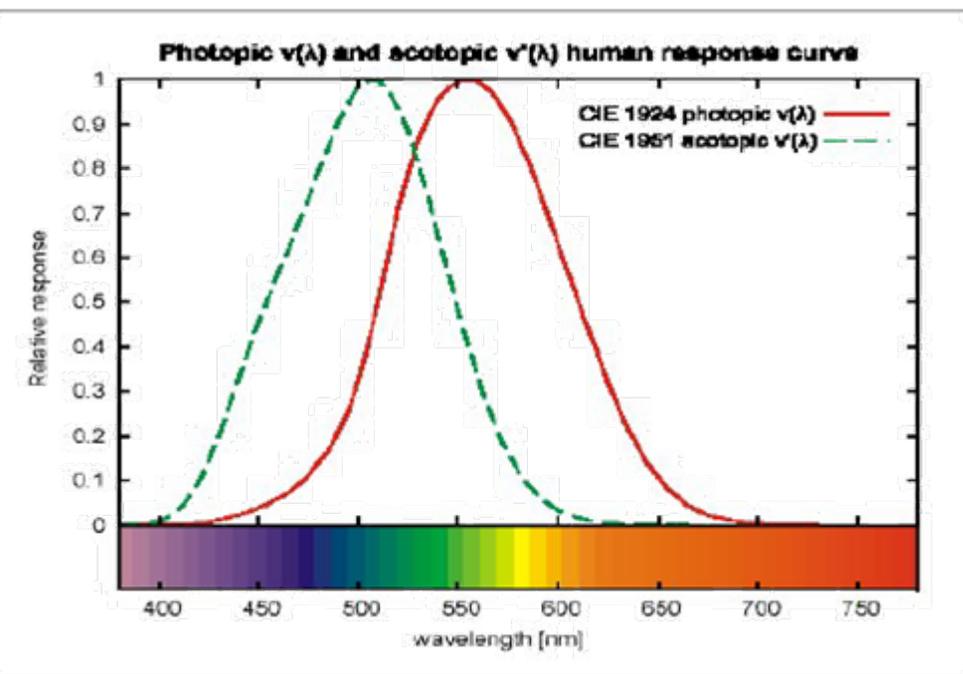
Nota:

nell'impiantistica a luce artificiale si persegue la condizione di massimo comfort visivo in visione fotopica.



3. La Fotometria

La curva di visibilità relativa può essere considerata come rapporto fra effetti prodotti da radiazioni di data lunghezza d'onda rispetto a quella di massima emissione.



4. La Trasmissione della Luce

La luce visibile quando interagisce con una lastra di materiale trasparente oppure una superficie opaca, traslucida o trasparente è soggetta a fenomeni di riflessione, rifrazione, assorbimento, trasmissione.

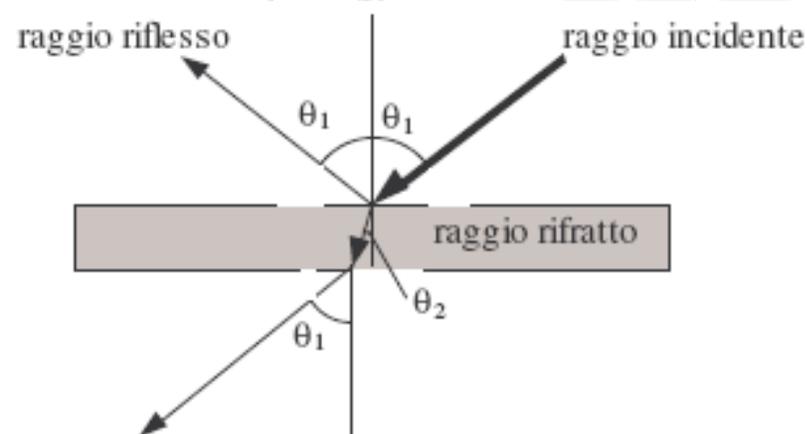
Il fattore di *riflessione/trasmissione/assorbimento* di una superficie è il rapporto tra la quantità di luce *riflessa/trasmessa/assorbita* e la quantità di luce incidente.

La riflessione può essere :

regolare: superficie è speculare e angolo di incidenza uguale all'angolo di riflessione;

diffusa: superficie opaca, distribuzione uniforme in tutte le direzioni;

mista: combinazione di riflessione regolare e diffusa (la luce si distribuisce in tutte le direzioni, con maggiore intensità nella direzione della riflessione regolare).





4. La Trasmissione della Luce

la **rifrazione** della luce è la deviazione che i raggi luminosi subiscono nell'interfaccia di separazione tra due mezzi trasparenti (ad esempio aria-vetro). Quando un fascio di luce che incontra un prisma o un corpo trasparente, esso devia dal percorso iniziale. Se la luce è policromatica, essa si scompone nei colori dell'iride (caso del Prisma).

Il valore dell'angolo di deviazione dipende sostanzialmente da una proprietà del mezzo (indice di rifrazione) e dall'angolo di incidenza del raggio luminoso sulla superficie.

La **rifrazione** si definisce:

- **diretta**, quando il mezzo (vetro, plastica) lascia passare gran parte del flusso luminoso
- **diffusa**, quando la luce uscente dal mezzo si diffonde in tutte le direzioni (materiale traslucido)
- **mista**, quando la luce si diffonde secondo una direzione privilegiata.

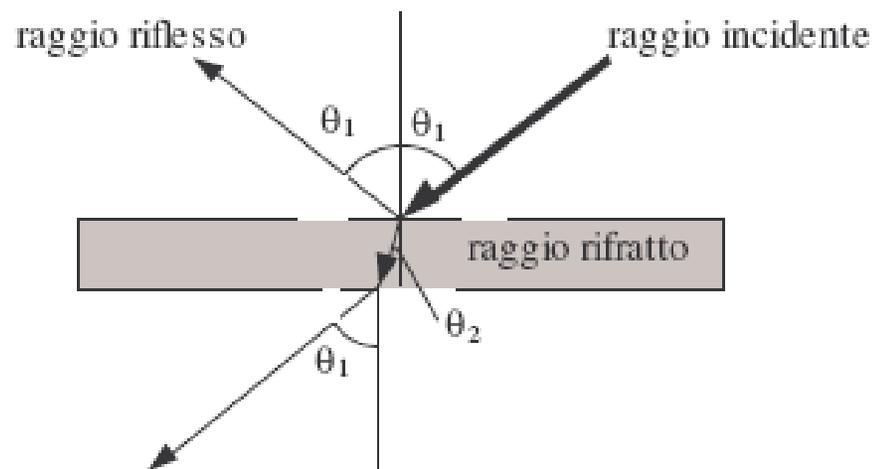
4. La Trasmissione della Luce

Nel caso in figura (*riflessione regolare*) il raggio incidente e quello riflesso giacciono nello stesso piano formando (con la normale alla superficie) angoli d'incidenza e di riflessione eguali.

Il raggio rifratto nel mezzo giace nello stesso piano e vale la relazione:

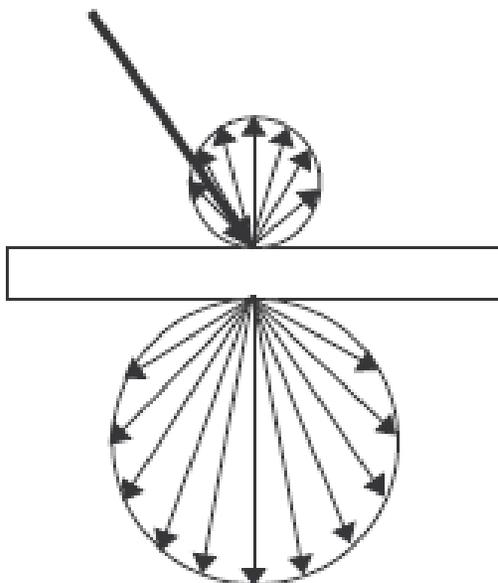
$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

dove n_1 , n_2 sono gli *indici di rifrazione assoluti dei due mezzi* (rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e nel mezzo 1 (aria) e 2 (vetro))



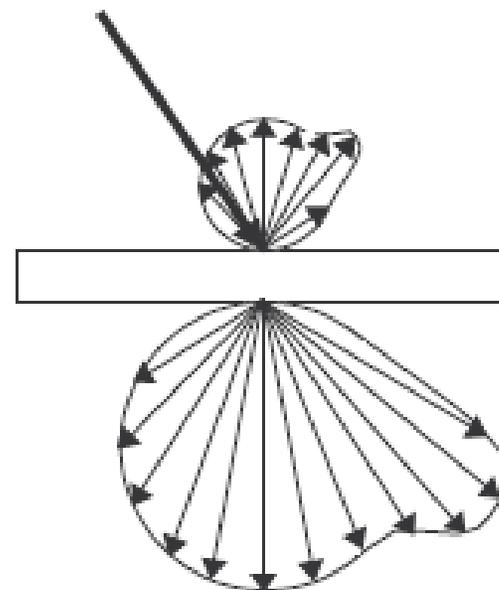
4. La Trasmissione della Luce

Superficie Lambertiana



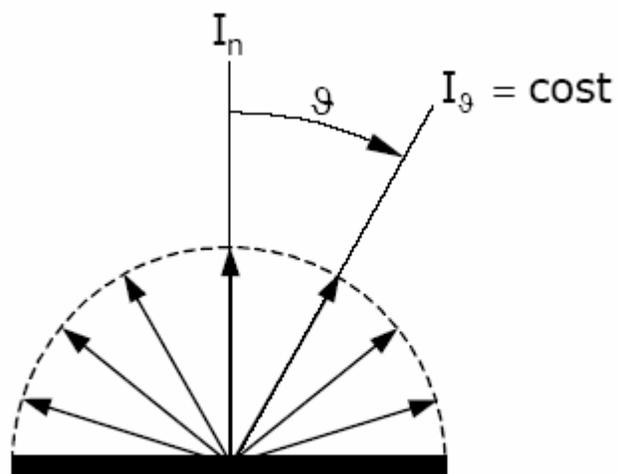
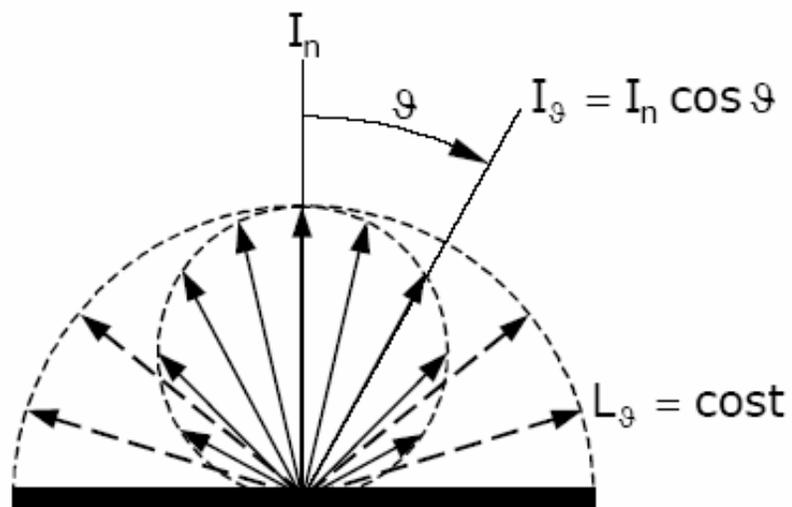
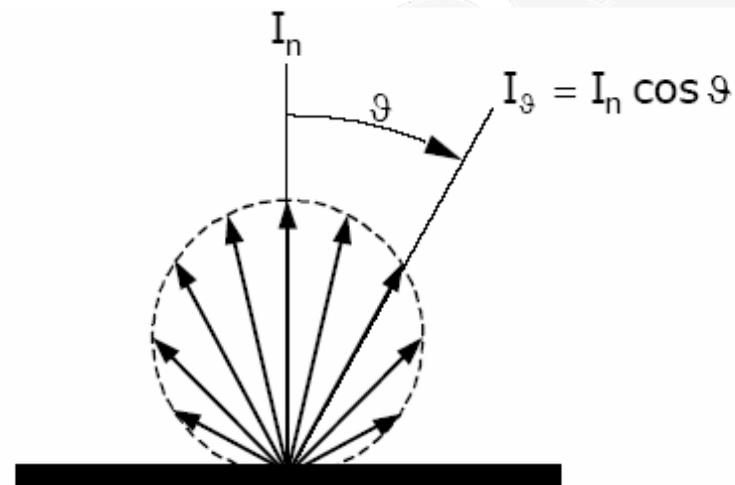
Riflessione e Trasmissione perfettamente diffusa: i raggi riflessi e trasmessi sono emessi in tutte le direzioni in eguale misura (per unità di area normale alla direzione di propagazione). La luminanza è la stessa in ogni direzione

Riflessione e trasmissione mista



I raggi riflessi e trasmessi presentano, almeno in parte, il ricordo delle direzioni preferenziali che caratterizzano i casi della riflessione speculare e della rifrazione regolare.

4. La Trasmissione della Luce

Superficie isotropa: $I_\vartheta = \text{cost}$ Superficie lambertiana: $I_\vartheta = I_n \cos \vartheta$



5. Le Grandezze Fotometriche

l'**intensità luminosa** (I , cd) è la grandezza fotometrica fondamentale e la *candela* (cd) è una delle 7 unità di misura fondamentali del SI.

intensità e **flusso** (ϕ , lm) sono caratteristiche proprie della sorgente luminosa, mentre l'illuminamento rappresenta l'effetto da questa prodotto su una superficie ricevente

luminanza (L , cd/m^2) e **radianza** (M , $lm\ s.b.$) sono rappresentative sia delle sorgenti illuminanti che delle superfici riceventi

illuminamento (E , lm/m^2) e luminanza sono le grandezze utilizzate nelle normative per il benessere visivo



5. Le Grandezze Fotometriche

1, 2) intensità luminosa e *flusso luminoso* (ϕ , *lm*) sono caratteristiche proprie della sorgente luminosa, mentre l'illuminamento rappresenta l'effetto da questa prodotto su una superficie ricevente - l'*intensità luminosa* (I , *cd*) è la grandezza fotometrica fondamentale e la sua unità di misura, la *candela* (*cd*), è una delle 7 unità di misura fondamentali del SI.

3,4) *luminanza* (L , *cd/m²*) e *radianza* (R , *lm s.b.*) sono rappresentative sia delle sorgenti illuminanti che delle superfici riceventi

5) *illuminamento* (E , *lm/m²*) e *luminanza* sono le grandezze utilizzate nelle normative per il benessere visivo:

- quanta luce occorre per un compito visivo (*illuminamento*)
- contenimento dei fenomeni di abbagliamento (*luminanza*)

5. Le Grandezze Fotometriche

Il flusso luminoso (ϕ , lm) è la quantità totale di energia luminosa emessa da una sorgente in un intervallo di tempo (potenza).

Il *flusso luminoso* non dà informazioni sulla qualità della luce, né sulla sua distribuzione nello spazio.

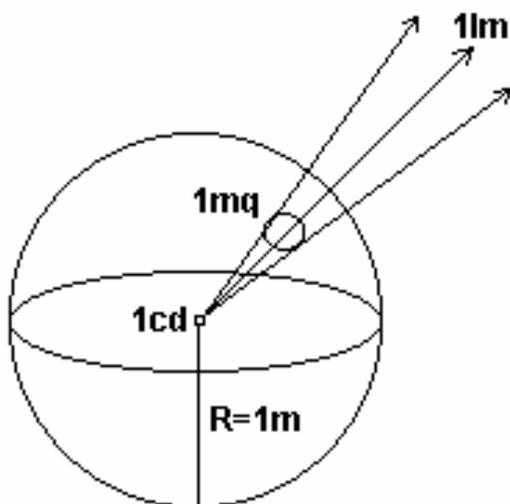


Fig. 2

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 pari ad 1 candela (cd) uscente da una superficie di $1 m^2$, intercettata su una superficie sferica di raggio pari a 1 metro (definizione di angolo solido $1 sr$).

Nota:

Le lampade normalmente utilizzate in illuminotecnica hanno flussi che variano da poche centinaia di lm (lampade ad incandescenza di bassa potenza) ad alcune centinaia di migliaia di lm (lampade a scarica di grossa potenza per esterni).



5. Le Grandezze Fotometriche

Il flusso luminoso (ϕ , lm) misura l'intensità della sensazione luminosa legandola alla potenza dello stimolo

$$\phi_v = K(\lambda)P(\lambda)$$

$$\phi_v = \int_{380nm}^{780nm} \frac{dP(\lambda)}{d\lambda} K(\lambda)d\lambda$$

$\frac{dP(\lambda)}{d\lambda}$ è la potenza energetica per lunghezza d'onda

5. Le Grandezze Fotometriche

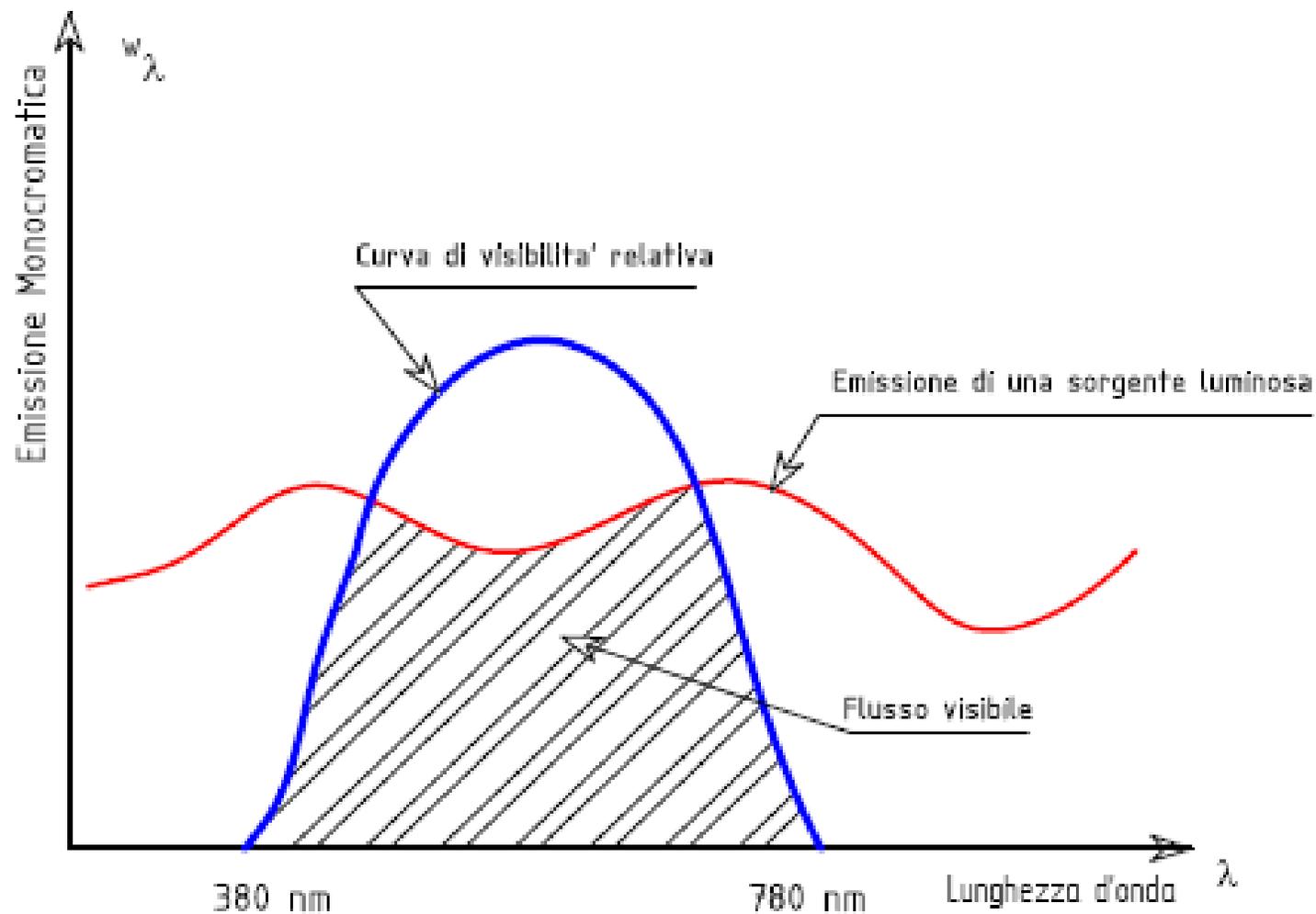
Si può quindi scrivere:

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

Dove:

- ϕ è il flusso luminoso irradiato dalla sorgente (*lm*)
- K_m è una costante che converte watt in lumen, il cui valore è convenzionalmente posto pari a 683 lm/watt
- $v(\lambda)$ è il fattore di visibilità relativa
- $\phi(\lambda)$ è il flusso della radiazione monoenergetica della sorgente

5. Le Grandezze Fotometriche





5. Le Grandezze Fotometriche

L'*intensità luminosa* (I , cd) è il rapporto tra flusso luminoso ed angolo solido.

E' una grandezza fotometrica vettoriale che permette di calcolare la densità del flusso entro un cono ideale che ha il vertice nella sorgente e come asse longitudinale la direzione di propagazione.

E' la densità di flusso luminoso in una assegnata direzione :

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

$$1 \text{ cd} = K_{max} \cdot \frac{1 \text{ W}}{683 \text{ sr}}$$

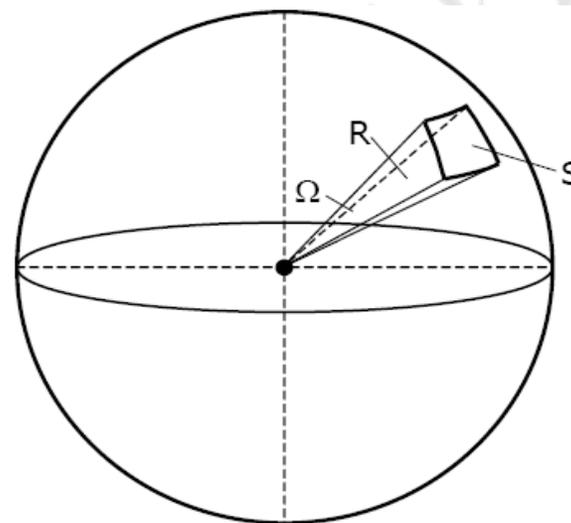
$$K_{max} = 683 \frac{\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{lm}}{\text{W}}$$

5. Le Grandezze Fotometriche

La Candela è l'intensità di una sorgente luminosa emessa nell'angolo solido di 1 sr, con $\lambda=0,55 \mu\text{m}$ e di potenza pari a $1/683 \text{ W}$.

L'**angolo solido** unitario (1 sr) è dato dallo spazio racchiuso da un cono che ha il vertice nel centro di una sfera di raggio R e che intercetta una superficie R^2

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$
$$\Omega_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi$$



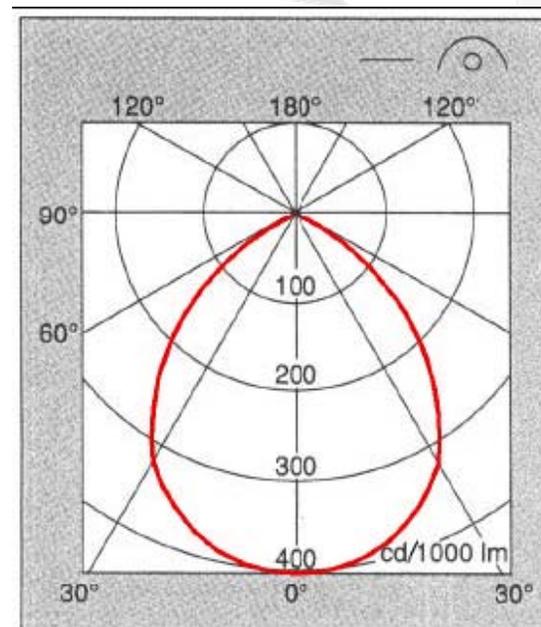
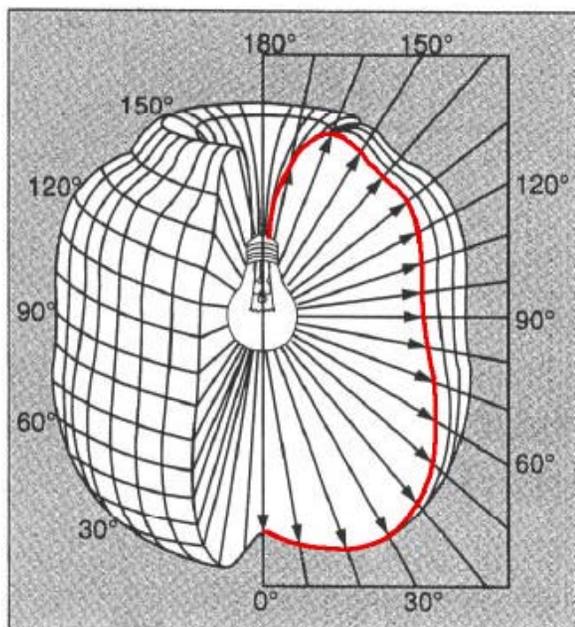
Ne deriva che una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di raggio unitario r emette uniformemente intorno a sé nell'angolo solido $\Omega=1 \text{ sr}$, un flusso luminoso di 1 lm , un'intensità luminosa di 1 cd ; ne deriva che il flusso complessivo su tutta la superficie sferica ($4\pi r^2$) è pari a $4\pi \text{ lm}$.

5. Le Grandezze Fotometriche

Il Solido Fotometrico e la Curva Fotometrica

Il *solido fotometrico* rappresenta la figura geometrica delimitata da una superficie chiusa formata dal luogo dei punti estremi di segmenti aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa e centro nella sorgente.

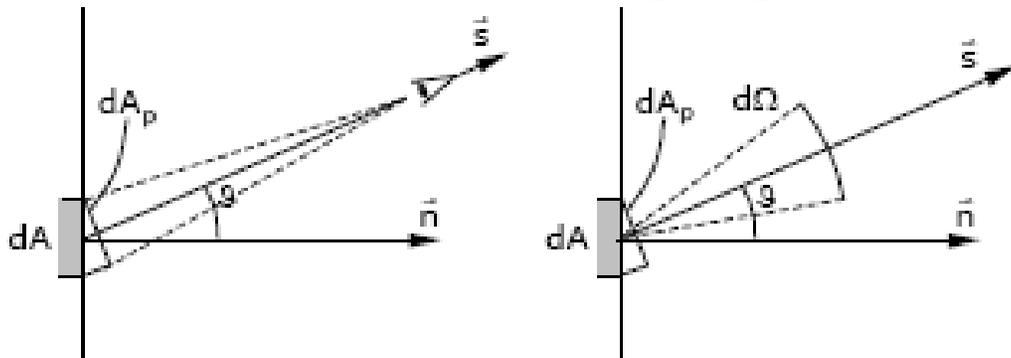
La *curva fotometrica* è l'intersezione del solido fotometrico con un piano passante per il centro (se il solido fotometrico presenta una simmetria di rotazione intorno ad un asse, risulta completamente descritto da un'unica curva fotometrica)



5. Le Grandezze Fotometriche

La *luminanza* (L , cd/m^2) di un punto P di una superficie luminosa, osservata in una certa direzione, è data dal rapporto tra l'intensità luminosa irradiata e la superficie emittente apparente (proiezione della superficie emittente sull'ortogonale alla direzione).

$$L_P = \frac{dI}{dS_{app}}$$



per $L < 10^{-3} \text{ cd}/\text{m}^2$ si ha visione *scotopica*

per $L > 3 \text{ cd}/\text{m}^2$ si ha visione totalmente *fotopica*

Altre unità di misura della luminanza di uso diffuso sono:

- Nit (cd/m^2)
- Stilb (cd/cm^2).

5. Le Grandezze Fotometriche

L'espressione di cui sopra consente di calcolare la luminanza a partire da misure effettuate dalla parte dell'osservatore (illuminamento).

$$L_P = \frac{dI}{dS_{app}} = \frac{d}{dS_{app}} \left(\frac{d\phi}{d\Omega} \right) = \frac{d}{d\Omega} \left(\frac{d\phi}{dS_{app}} \right) = \frac{dE}{d\Omega}$$

Se il flusso luminoso non è perpendicolare alla superficie occorre tenere in considerazione l'angolo tra il flusso luminoso e la perpendicolare alla superficie.

Nota:

due sorgenti luminose possono avere, in una stessa direzione, la stessa intensità luminosa ma valori molto diversi di luminanza. Se ad esempio una delle due ha una estensione molto maggiore dell'altra, il flusso uscente si distribuisce su una superficie maggiore e dunque assume una minore densità.

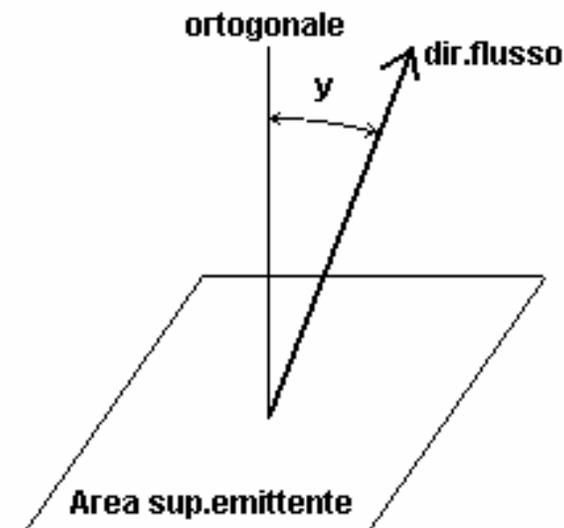
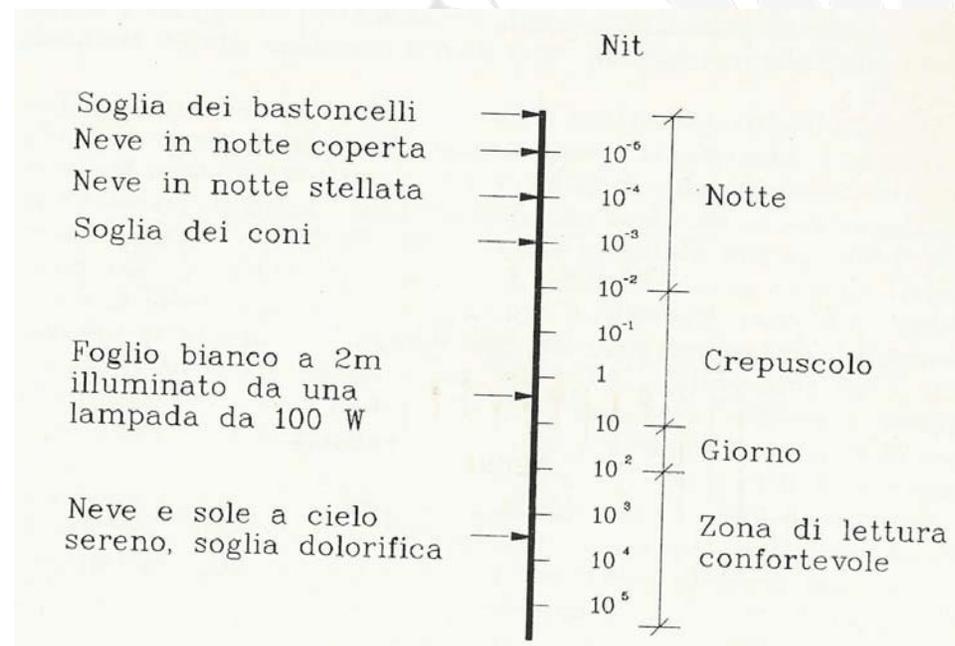


Fig. 5

5. Le Grandezze Fotometriche

La **luminanza** è la grandezza illuminotecnica più direttamente correlata alla visione: essa tiene conto non solo della quantità di energia che raggiunge l'occhio, ma anche della sensazione di abbagliamento o di fastidio che essa può produrre.

La **luminanza** quindi è un parametro importante nel calcolo illuminotecnico, in quanto se essa supera certi valori si crea il fenomeno dell'abbagliamento



5. Le Grandezze Fotometriche

L'**illuminamento** (E , *lux*) esprime la quantità di luce che arriva su una superficie; esso si misura in *lux* (lumen/m^2) e si indica con la lettera E (un illuminamento di 1 *lux* corrisponde ad un flusso di 1 *lumen* su una superficie di 1 m^2)

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

Il *lux* è definito anche come il flusso luminoso emesso da una sorgente luminosa (situata al centro di una sfera) con un'intensità di 1 *cd* che illumina una superficie di 1 m^2 .

$$d\phi = Id\Omega \quad dA = \frac{r^2 d\Omega}{\cos \alpha}$$

$$E_o = \frac{d\phi}{dA} = \frac{Id\Omega}{r^2 d\Omega} \cos \alpha = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

$$E_v = \frac{d\phi}{dA} = \frac{d\phi}{d\Omega} \frac{1}{r^2} \sin \alpha$$

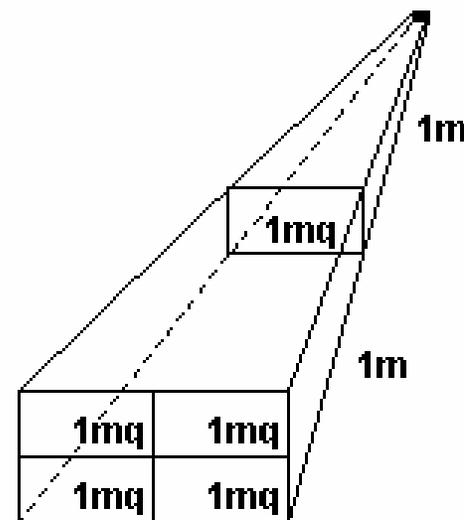


Fig. 4

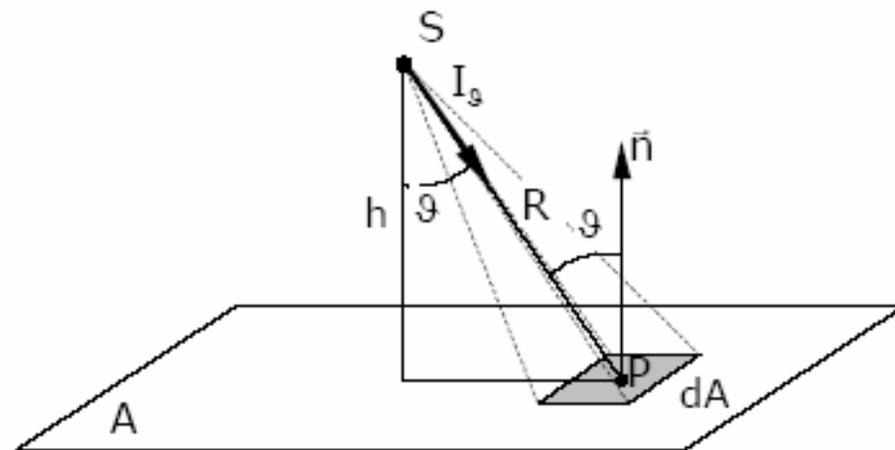
5. Le Grandezze Fotometriche

Calcolo dell'illuminamento di una sorgente puntiforme S in un punto P

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

$$d\phi = I_g d\Omega = I_g \frac{dA \cos \theta}{R^2}$$

$$E = \frac{d\phi}{dA} = I_g \frac{dA \cos \theta}{R^2 dA} = I_g \frac{\cos \theta}{R^2} = I_g \frac{\cos^3 \theta}{h^2}$$



5. Le Grandezze Fotometriche

Se sono presenti più sorgenti luminose si applica il principio di *sovrapposizione degli effetti*, per cui si può scrivere:

$$E_P = E_{P1} + E_{P2} = I_{\varepsilon 1} \frac{\cos \alpha_1}{R_1^2} + I_{\varepsilon 2} \frac{\cos \alpha_2}{R_2^2}$$

L'illuminamento è un parametro fondamentale nel calcolo illuminotecnico; esso è una misura di quanto agevolmente l'occhio può vedere

- ✚ ad illuminamenti più elevati corrispondono funzioni visive più agevolate.
- ✚ in un magazzino sono sufficienti poche decine di lux
- ✚ per lavori di precisione possono essere necessari anche migliaia di lux
- ✚ normative e raccomandazioni prescrivono i livelli di illuminamento per le diverse destinazioni degli ambienti di lavoro



5. Le Grandezze Fotometriche

La *radianza* (M , *lm s.b.*) rappresenta la radiazione visibile emessa da una superficie riflettente ed è pari al prodotto dell'illuminamento (E) ricevuto per il fattore di riflessione della superficie (r):

$$M = \frac{d\phi}{dA} = rE$$

Se $r=1$ (superfici bianche perfettamente riflettenti) $M=E$

Per superfici *lambertiane* (riflessione e trasmissione perfettamente diffuse) vale la relazione $E=\pi L$, e quindi:

$$L = \frac{rE}{\pi}$$



5. Le Grandezze Fotometriche

La *radianza* (M , *lm s.b.*) rappresenta la radiazione visibile emessa da una superficie riflettente ed è pari al prodotto dell'illuminamento (E) ricevuto per il fattore di riflessione della superficie (r):

$$M = \frac{d\phi}{dA} = rE$$

Se $r=1$ (superfici bianche perfettamente riflettenti) $M=E$

Per superfici *lambertiane* (riflessione e trasmissione perfettamente diffuse) vale:

$$E = \pi L \qquad L = \frac{rE}{\pi}$$

Questa relazione lega illuminamento e luminanza



5. Le Grandezze Fotometriche

L'*efficienza luminosa* (E , $lm/watt$) rappresenta l'efficienza di una lampada attraverso il rapporto fra il flusso luminoso (lm) emesso da una sorgente luminosa e la potenza elettrica assorbita ($Watt$)

$$E = \frac{\Phi}{P}$$

- ✚ per lampade ad incandescenza è pari a circa 15 lm/W
- ✚ per lampade a mercurio $40 \div 60 \text{ lm/W}$
- ✚ per lampade agli alogenuri $60 \div 100 \text{ lm/W}$
- ✚ per lampade al sodio ad alta pressione $70 \div 150 \text{ lm/W}$
- ✚ per lampade al sodio a bassa pressione $100 \div 180 \text{ lm/W}$

5. Le Grandezze Fotometriche

| <i>Simbolo</i> | <i>Grandezza</i> | <i>Espressione</i> | <i>Unità di misura</i> |
|----------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| Φ | Flusso Luminoso | $K(\lambda) \cdot P(\lambda)$ | Lumen (<i>lm</i>) |
| E | Illuminamento | $\frac{d\phi}{dA}$ | Lux (lm/m^2) |
| I | Intensità Luminosa | $\frac{d\phi}{d\Omega}$ | Candela (lm/sr) |
| L | Luminanza | $\frac{dI}{dA \cos \alpha}$ | Nit (cd/m^2) |
| M | Radianza | $\frac{d\phi}{dA}$ | Lux s.b. (lm/m^2) |