

Capitolo II

La Luce

Che cos'è la luce.

Dato che la parola fotografia deriva dal greco photo grafia che significa disegnare con la luce, analizziamo innanzi tutto che cos'è la luce.

La luce è una forma di energia raggiante cioè è una forma di energia che viene irradiata nello spazio circostante. Come ogni forma di energia, è generata da una sorgente e si propaga nello spazio per mezzo di onde elettromagnetiche. A differenza delle onde di tipo meccanico, come quelle sonore, le onde elettromagnetiche possono propagarsi anche nel vuoto come lo spazio interstellare. Le onde meccaniche hanno invece bisogno di un mezzo che ne consenta la propagazione come ad esempio l'aria.

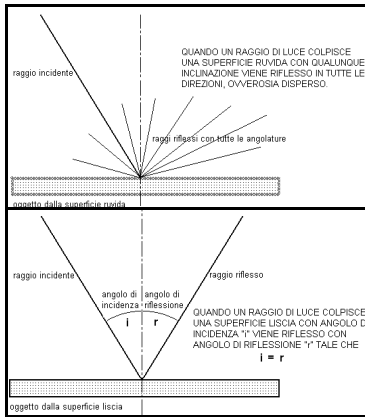
La luce non ha corpo, non si tocca, si propaga alla velocità di circa 300.000 Km/s ma nonostante tutto interagisce con la materia che la genera, la trasmette, l'assorbe, la riflette o la diffonde.

L'idea che la luce si potesse trasmettere nel vuoto fece molta fatica ad essere accettata, tanto che nel XVII secolo, per spiegare il mistero della propagazione luminosa attraverso gli spazi interstellari, prese corpo l'ipotesi dell'esistenza dell'etere, una sostanza misteriosa, diversa dalle sostanze fino ad allora conosciute, non percepibile ai sensi umani, ma presente in tutti i punti dello spazio. Infatti gli scienziati del '600 sapevano benissimo che il sole, le stelle e i pianeti erano costituiti dalla stessa materia con cui era fatta la Terra, e che tra essi non c'era aria, né altre sostanze materiali conosciute. Nonostante tutto non riuscivano ad accettare l'idea che nello spazio ci fosse solo il vuoto, che secondo le conoscenze dell'epoca non avrebbe consentito la trasmissione della luce, del calore e della forza gravitazionale. Così come la materia permetteva la propagazione delle onde acustiche e quindi dal suono, l'etere avrebbe consentito la propagazione della luce. L'etere comunque era non osservabile e la sua esistenza veniva presa come un atto di fede.

Nella seconda metà del '600 lo scienziato Robert Hooke ipotizzò che la propagazione della luce avvenisse per moto "ondoso" dell'etere, avanti e indietro lungo il cammino della luce. Le oscillazioni, secondo Hooke potevano essere più o meno rapide, e a ciascun colore corrispondeva una determinata velocità di oscillazione.

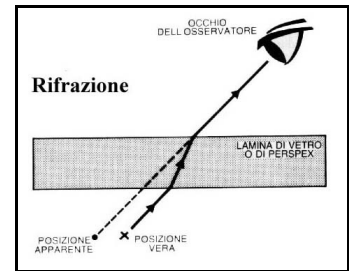
L'olandese Christian Huygens, che è considerato il vero fondatore della teoria ondulatoria della luce, riprese le idee di Hooke e riuscì a dimostrare diversi fenomeni ottici come la riflessione e la rifrazione.





Newton, contemporaneo di Huygens, mise in discussione questa teoria perché se è vero che le onde riescono a superare ostacoli (un paravento non blocca il suono così come uno scoglio non impedisce all'onda di ricostruirsi dietro di lui) un ostacolo posto tra un muro e la sorgente di luce da origine ad un'ombra. Newton propose dunque l'idea che la luce fosse costituita da un fascio di piccolissime particelle "sparate" ad altissima velocità dalla sorgente luminosa e che colpendo gli oggetti li faceva apparire illuminati.

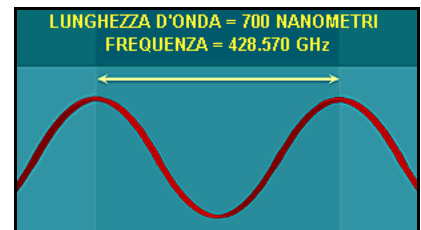
Ciascun colore avrebbe dovuto avere velocità di queste particelle diversa; le più veloci avrebbero dato origine al colore viola, mentre le più lente avrebbero originato il rosso.



Nei primi anni dell'800 si avanzò l'ipotesi che ci potesse essere una forte correlazione tra luce ed elettromagnetismo e nella seconda metà dell'800 i fisici scozzesi James Clerk Maxwell e tedesco Heinrich Rudolf Hertz conclusero che la luce fosse un particolare tipo di radiazione elettromagnetica. La teoria dei quanti proposta da Max Plank e da Albert Heinstein all'inizio del '900 conciliò le ipotesi ondulatoria e corpuscolare della luce spiegando in maniera esauriente i fenomeni di interazione tra luce e materia.

Parlando di un'onda è possibile introdurre alcuni termini che ci aiutano a descriverla. Questi termini sono la lunghezza d'onda (λ), la frequenza (f) e l'intensità dell'onda (I).

La lunghezza dell'onda (λ) è definita come la distanza tra due punti omologhi dell'onda (due massimi, due minimi o altro) ed essendo una lunghezza viene espressa in metri [m] con i suoi multipli e sottomultipli. In particolare parlando di onde luminose, le lunghezze d'onda di nostro interesse hanno lunghezze dell'ordine dei nm (10^{-9} m cioè 0,000000001 Hz).



La frequenza dell'onda è definita come il numero di oscillazioni che l'onda compie in un secondo. La frequenza si misura in Hertz [Hz] che corrisponde ad una oscillazione al secondo. Nel caso delle onde luminose le frequenze in gioco sono dell'ordine dei THz (10^{12} Hz cioè 1000000000000 Hz).

L'intensità dell'onda dipende dalla "potenza" della sorgente che emette l'onda.

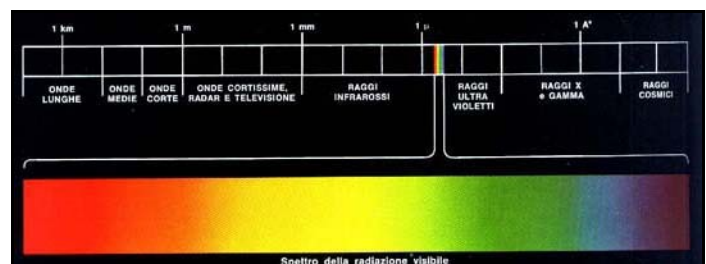
La relazione che lega tra loro lunghezza d'onda e frequenza è la seguente:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

La velocità v dell'onda dipende dal mezzo in cui l'onda si propaga e come abbiamo detto nel vuoto questa velocità è di circa 300.000 Km/s.

Dunque essendo la frequenza fissata dal comportamento della sorgente, quello che cambia quando la luce si propaga da un mezzo all'altro sono le velocità e la lunghezza d'onda in modo tale che la frequenza f rimanga costante.

L'occhio umano è sensibile ad una piccolissima porzione dello spettro elettromagnetico, quello della luce visibile per l'appunto. La frequenza della luce visibile è compresa tra i 790 THz del violetto e i 395 THz del rosso scuro.



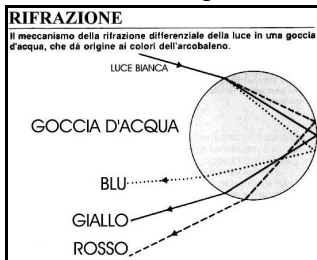
Applicando la formula sopra scritta si trovano le rispettive lunghezze d'onda che sono comprese tra i 380 nm del violetto e i 760 nm del rosso

scuro. Oltre i 760 nm troviamo le lunghezze d'onda dell'infrarosso mentre prima dei 380 nm ci sono le radiazioni ultraviolette.

Il colore della luce

Considerando la regione della luce visibile, la proprietà che varia più evidentemente con il variare della lunghezza d'onda (e della frequenza) è il colore.

La luce solare contiene tutte le frequenze visibili dal nostro occhio, e noi la percepiamo come luce bianca. Facendo passare un fascio di luce bianca attraverso un prisma di vetro questo si scinde nelle sue componenti cromatiche. I colori dello spettro appaiono separati perché ogni colore subisce una rifrazione tanto più grande quanto più è piccola la lunghezza d'onda che gli corrisponde.



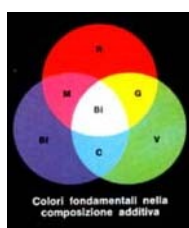
Il rosso è il colore meno deviato rispetto la direzione del fascio, mentre il violetto risulta il più deviato. In mezzo a questo due troviamo tutti gli altri colori: l'arancione, il giallo, il verde ed il blu.

Lo stesso fenomeno si ottiene quando un raggio di luce bianca incontra nel suo cammino una goccia d'acqua. Il raggio viene scomposto dando così origine ai colori dell'iride. Ecco perché, molto spesso, quando piove e nello stesso tempo c'è anche il sole si ha la formazione dell'arcobaleno. Anche se il numero di colori è virtualmente infinito, la sensazione visiva si può ridurre a queste sei famiglie di colori principali. Ogni colore comunque si avvicina sempre di più (fondendosi) con i colori alle estremità. Ad esempio il verde si avvicina sempre più al blu in una direzione ed al giallo all'altra. La tonalità di colore (o tinta) e dunque la particolare sensazione visiva che produce in noi la radiazione luminosa. Essa è diversa per ogni possibile lunghezza d'onda dello spettro visibile, ma un normale occhio umano riesce a distinguere circa duecento tonalità.

I colori che posseggono una tinta sono detti cromatici, mentre il bianco, che è dato dalla somma di tutte le tinte è detto acromatico. E' acromatico anche il nero, che corrisponde all'assenza di luce.

Tutte le tinte dello spettro visibile possono essere ottenute per sintesi additiva di tre colori detti primari: il rosso, il verde e il blu. Sovrapponendo tre fasci di questi colori si otterrà il bianco. Dalla sovrapposizione del rosso con il verde si ottiene il giallo, dalla sovrapposizione del rosso con il blu si ottiene il magenta (un violetto fucsia) e da quella del blu con il verde si ottiene il ciano (un turchese). Da quanto detto prima si otterrà il bianco dalla sovrapposizione di uno dei colori primari più il colore ottenuto dalla sovrapposizione degli altri due colori primari, dunque da rosso e ciano, verde e magenta e dal blu con il giallo.

La coppia di colori ottenuta da un colore primario più il colore ottenuto dalla sovrapposizione degli altri due è detta coppia di colori complementari. Così il colore complementare del rosso è il ciano, il complementare del verde è il magenta, mentre il complementare del blu è il giallo. Giallo, magenta e ciano sono detti colori primari sottrattivi. Il perché di questo è presto detto: il definizione corrisponde alla totale assenza di luce. Si è pensare che per ottenerlo non si debbano sommare colori tra debba sottrarre luce a luce. Il ciano assorbe la componente (cioè il suo colore complementare) e per questo la luce che facciamo passare un fascio di luce bianca attraverso un filtro color ciano. Analogamente se facciamo passare della luce bianca attraverso un filtro magenta che assorbe la componente verde della luce, si otterrà una luce color magenta. Così se il filtro



sono detti nero, per quindi portati a di loro, ma si rossa della luce otteniamo, se ciano, è di color ciano. Analogamente se facciamo passare della luce bianca attraverso un filtro magenta che assorbe la componente verde della luce, si otterrà una luce color magenta. Così se il filtro

è giallo, verrà assorbita la componente blu della luce bianca e quello che otterremo sarà una luce gialla. Se ora sovrapponiamo due filtri primari sottrattivi verranno assorbiti due colori primari additivi ed in uscita al filtro otterremo una luce che ha il colore del terzo colore primario additivo. Così se sovrapponiamo Magenta e giallo verranno assorbite le componenti verdi e blu e la luce in uscita sarà rossa; se si sovrappongono Magenta e ciano verranno assorbite le componenti rossa e verde ed in uscita otterremo il blu, mentre se si sovrappongono giallo e ciano verranno assorbite le componenti rossa e blu ed in uscita otterremo in verde.

E' ovvio quindi che se sovrapponiamo giallo, ciano e magenta verranno assorbite le componenti blu, rossa e verde, ovvero sarà assorbita tutte le componenti disponibili ottenendo così in uscita il nero.

La sintesi additiva gioca un ruolo fondamentale nel meccanismo della visione ed è alla base del funzionamento della televisione a colori. La sintesi sottrattiva invece, interviene nell'esperienza quotidiana di osservazione dei colori. Infatti la colorazione degli oggetti è basata sulle proprietà d'assorbimento di alcune componenti cromatiche piuttosto che altre. In altre parole il colore di un oggetto è dato dalla componente cromatica che non viene assorbita. Ad esempio se consideriamo un oggetto di colore rosso, questo apparirà rosso se illuminato da luce rossa o bianca, mentre apparirà nero se illuminato con una sorgente luminosa che non contiene il rosso. Lo stesso oggetto poi apparirà di un rosso diverso a seconda che la sorgente luminosa abbia componenti spettrali diverse dalla luce solare, come la luce di una lampada ad incandescenza o la luce di una candela.

Un corpo opaco, cioè capace di diffondere bene tutte le radiazioni luminose che lo colpiscono apparirà sempre dello stesso colore della luce incidente. Apparirà quindi bianco se la luce incidente è bianca, rosso se la luce incidente è rossa e così via.

Se il corpo in oggetto assorbe tutte le radiazioni luminose che lo colpiscono, esso apparirà nero indipendentemente dal colore della sorgente luminosa. Proprio per questo motivo un simile oggetto viene detto "corpo nero".

Temperatura cromatica della luce

Come abbiamo detto la luce bianca può essere suddivisa nelle tre componenti primarie. La luce delle varie sorgenti luminose può essere composta da quantità diverse di ciascuna delle tre componenti primarie. Ad esempio, la luce del sole, alle diverse ore del giorno, per raggiungere la Terra attraversa spessori diversi dell'atmosfera. A causa della diffusione, quanto maggiore è l'aria da attraversare tanto minore sarà la quantità di luce blu che rimane, e perciò quando il sole è basso sull'orizzonte, il rapporto dei colori si sposta verso il rosso, cioè verso i colori caldi dello spettro, mentre verso le ore centrali della giornata, lo strato d'atmosfera da attraversare è molto ridotto e quindi la quantità di luce blu assorbita è quasi nulla. Ecco che il rapporto dei colori si sposta verso il blu ossia verso i colori freddi.

Per determinare allora il colore della luce si è introdotto un nuovo concetto che è la "temperatura cromatica" della luce. Questa temperatura viene misurata in gradi Kelvin (°K). La scala Kelvin misura la temperatura assoluta di un oggetto, il cui zero corrisponde allo "zero assoluto", che è pari ai -273,15°C che è la temperatura più bassa fisicamente raggiungibile.

Consideriamo ora un corpo nero e cominciamo a scaldarlo. Comincerà ad assumere diversi colori (dalle lunghezze d'onda dell'infrarosso, al rosso, verso l'azzurro, il viola e l'ultravioletto), sino a divenire bianco ("luce bianca"). E' proprio misurando la temperatura del corpo nero nel corso dei vari passaggi che si deduce la "temperatura cromatica" dei vari colori. Contrariamente a quanto si immagina, minore è la loro temperatura cromatica, più "caldi" (rosso, giallo, arancione...) risultano i colori e viceversa.

Il valore convenzionale, sulla scala Kelvin, per la luce media del giorno è di 5500°K. Questo valore può cambiare moltissimo durante la giornata, e si può andare dai 3500°K della luce solare un'ora prima del tramonto o un'ora dopo l'alba ai 12000°K del cielo limpido di mezzogiorno. Per quanto riguarda la temperatura cromatica della lampade ad incandescenza si può andare dai 2800°K di una lampada da 75W ai 3200°K di una lampada alogena al quarzo.

La tabella sottostante dà un'indicazione della temperatura di colore delle varie sorgenti e della luce solare nei vari momenti della giornata e nelle diverse condizioni del cielo.

TIPO DI SORGENTE	TEMPERATURA CROMATICA
Cielo Limpido	12000 °K
Cielo Velato	9500 °K
Cielo Coperto	7000 °K
Misto di cielo e sole	5500 °K
Luce Flash	5500°K
2 ore dopo l'alba	4000°K
2 ore prima del tramonto	4000 °K
1 ora dopo l'alba	3500 °K
1 ore prima del tramonto	3500 °K
Lampade al quarzo	3200 °K
Alba e Tramonto	3100 °K
Lampada ad incandescenza da 100 W	2900 °K
Lampada ad incandescenza da 75 W	2800 °K