

LA LUCE

di Riccardo Pratesi - Museo Galileo

INTRODUZIONE

Cosa significa “vedere”? La visione è un fenomeno complesso, che non riguarda solo la fisica, per la propagazione dei raggi luminosi, ma anche la fisiologia per la comprensione di come le immagini si formano nel nostro occhio e la psicologia per come il nostro cervello le interpreta. Questa complessità è il motivo per cui nell’antichità le teorie sulla visione fossero quasi delle filosofie, in cui tutti questi aspetti erano mescolati insieme, e in cui la luce rimane, per così dire, in ombra.

TEORIE DELLA VISIONE DALL’ANTICHITÀ AL MEDIOEVO

Le varie posizioni riguardo al fenomeno della visione nell’antichità classica possono essere riassunte in due diverse scuole di pensiero. L’una, che possiamo definire “emissionista”, considerava la visione come un fluido che viene emesso dagli occhi e che procede in linea retta. Importanti sostenitori di questa teoria furono Erone Alessandrino ed Euclide. E’ interessante notare che, nonostante la teoria emissionista fosse, ai nostri occhi di oggi, manifestamente sbagliata, pure l’applicazione ad essa dei metodi geometrici permise ad Euclide di formulare i principi dell’ottica geometrica ancora oggi validi e usati, ad esempio, per studiare il comportamento di lenti o di specchi; inoltre Erone spiegò la legge della riflessione, secondo cui l’angolo di incidenza è uguale all’angolo di riflessione, dimostrando che questo è il percorso più breve che può percorrere il raggio visuale per andare da un punto ad un altro riflettendosi in uno specchio. Con questa argomentazione Erone anticipò il metodo del “minimo cammino” che verrà introdotto da Pierre de Fermat solamente nel XVII secolo. L’altra scuola, definibile “immissionista”, pure considerava la visione un fluido, ma che procede dagli oggetti verso gli occhi nella forma di “idoli” o “simulacri”. Nessuna di queste teorie, però, spiegava ad esempio come mai non vediamo al buio.

Solo nell’XI secolo il filosofo persiano Alhazen cominciò ad avere un’idea chiara di quale fosse la relazione tra luce e visione: alcuni oggetti emettono luce, altri la diffondono in ogni direzione e i raggi che entrano nel nostro occhio sono raggi di luce. Il buio, quindi, non è altro che assenza di luce.

TEORIA CORPUSCOLARE E TEORIA ONDULATORIA

La rivoluzione scientifica del XVII secolo non poteva certo esimersi dallo studiare la luce come oggetto di indagine della nascente scienza sperimentale. Superate le teorie antropocentriche immissionista e emissionista, restava stabilito che la luce ha un’esistenza propria indipendentemente dall’osservatore che eventualmente la percepisce. Dall’analogia, che certamente era stata notata, tra il comportamento di una pallina che rimbalza su una superficie e un raggio luminoso che si riflette su uno specchio, prese forma la teoria corpuscolare della luce, di

cui principale sostenitore fu Isaac Newton, secondo la quale la luce è un flusso di particelle velocissime che si muovono in linea retta. Con la teoria corpuscolare era anche possibile fornire una spiegazione del fenomeno della rifrazione: quando un raggio luminoso attraversa la superficie di separazione tra un mezzo meno denso, per esempio l'aria, e un mezzo più denso, per esempio l'acqua, esso devia dalla traiettoria avvicinandosi alla perpendicolare alla superficie. Ciò veniva spiegato ipotizzando che il mezzo più denso esercitasse una sorta di attrazione sulla luce, conferendogli quindi una ulteriore componente di velocità perpendicolare alla superficie di separazione, e quindi avvicinando la traiettoria alla perpendicolare stessa. Negli stessi anni in cui lavorava Newton, un frate gesuita italiano, padre Grimaldi, scopriva un comportamento della luce, da lui denominato *diffrazione*, che lo portò a pensare che la luce avesse piuttosto una natura ondulatoria, che cioè la luce fosse la manifestazione di vibrazioni dell'etere, la quintessenza aristotelica. La diffrazione è un fenomeno tipico delle onde, e si ha quando un'onda attraversa una fenditura oppure investe un ostacolo. Il profilo delle onde che emergono dalla fenditura o dall'ostacolo è segnato da caratteristiche frange, dovute al fatto che in punti determinati le onde giungono in *opposizione di fase*, cioè arriva, ad esempio, una cresta insieme ad una gola, e come risultato in quel punto non c'è vibrazione. Principale sostenitore della teoria ondulatoria della luce fu Christiaan Huygens. I vari colori in cui si scompone la luce bianca, fenomeno studiato approfonditamente da Newton, venivano spiegati come particelle di peso diverso nel modello corpuscolare e come onde di diversa frequenza nel modello ondulatorio. Anche le onde rendono conto sia della riflessione che della rifrazione. In particolare, però, nel caso del modello ondulatorio la teoria prevedeva che nel mezzo più denso la luce procedesse più lentamente. Infatti un fronte d'onda che rallenta nel passare da un mezzo ad un altro, emergerà nel secondo più inclinato verso la perpendicolare. Il valore comunque elevatissimo della velocità della luce rendeva impossibile una verifica diretta con i mezzi sperimentali di allora.

IL XIX SECOLO

Il 1800 si apre con una spettacolare conferma della natura ondulatoria della luce. Nel 1801 Thomas Young effettuò il celebre esperimento della doppia fenditura: facendo attraversare alla luce due fenditure poste a distanza piccolissima, osservò le caratteristiche *frange di interferenza*. Dalle osservazioni qualitative di padre Grimaldi si passava così a una misura quantitativa della natura ondulatoria della luce.

Proviamo quindi a effettuare, con mezzi che possiamo avere a disposizione, l'esperienza della doppia fenditura. Allora, per far questo procuriamoci due lamette, che terremo affiancate in modo da poter produrre due fenditure a una distanza di circa un decimo di millimetro, che faremo su un pezzetto di carta stagnola. Ecco adesso la nostra sorgente di luce sarà un puntatore laser e puntando il laser su queste due fenditure, quello che si vedrà al di là, nello schermo, non saranno due puntini, cioè le immagini delle fenditure,

ma una sequenza di molti puntini che sono dovuti all'interferenza fra le onde luminose, in alcuni punti interferenza costruttiva, in altri interferenza distruttiva.

Proviamo dunque con gli strumenti che abbiamo approntato a riprodurre l'esperienza di Young. Abbiamo fatto le due fenditure nella carta stagnola, le illuminiamo con il laser e vediamo quello che otteniamo sullo schermo. Otteniamo non due, ma molti puntini, immagine delle frange di interferenza.

Negli stessi anni un campo di studi del tutto indipendente procedeva speditamente; l'invenzione della pila di Volta nell'anno 1800 rendeva disponibile una nuova grandezza fisica, la corrente elettrica. Non tardò quindi a manifestarsi una parentela insospettata tra fenomeni ritenuti fino ad allora del tutto indipendenti quali l'elettricità, nota fino allora solo come elettrostatica, nella forma di fulmini o scintille e il magnetismo, fenomeno di origine sconosciuta ma già studiato, fra gli altri, anche dallo stesso Galileo. Nel 1820 Oersted scoprì che cariche elettriche in movimento, cioè una corrente elettrica, erano in grado di spostare l'ago di una bussola. Nei termini di oggi, scoprì che un campo elettrico variabile genera un campo magnetico. Subito dopo Ampere precisò, con una serie di famosi esperimenti, gli effetti magnetici della corrente elettrica. Nel 1831 Michael Faraday ottenne la prova sperimentale che, reciprocamente, anche un magnete in movimento genera una corrente elettrica, cioè che un campo magnetico variabile genera un campo elettrico.

Questo esperimento lo possiamo vedere subito e passiamo alla dimostrazione.

Ecco, questo apparecchio è costituito da una calamita, che può essere introdotta, avvicinata o allontanata da questo avvolgimento di spire di rame, in cui può passare una corrente elettrica, collegato con questo misuratore di corrente. Noi vediamo che avvicinando la calamita all'avvolgimento elettrico si genera una corrente, registrata dallo spostamento di questa lancetta e si può notare anche che la corrente c'è solo fintantoché il magnete è in movimento, perché quando il magnete è fermo, sia che sia in vicinanza dell'avvolgimento, sia che sia lontano, non produce nessuna corrente, mentre la si produce solo nel momento dell'avvicinamento o dall'allontanamento della calamita dalla spira.

Nel 1865 Maxwell pubblicò le sue equazioni del campo elettromagnetico, equazioni che prevedevano la possibilità teorica che le induzioni reciproche di campi elettrici e magnetici oscillanti generassero un'onda, un'onda *elettromagnetica*, previsione poi verificata sperimentalmente da Hertz. Dalle equazioni di Maxwell si otteneva anche la previsione teorica della velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche, e tale previsione si accordava magnificamente con il valore della velocità della luce, misurato intorno al 1850 da Fizeau e Foucault in circa 300 mila chilometri al secondo. Se il secolo si era aperto con una conferma sperimentale della natura

IL XX SECOLO

ondulatoria della luce, ora si chiudeva con l'affermazione *la luce è un'onda elettromagnetica*.

Alla fine dell'800 la fisica sembrava prossima alla comprensione completa di tutti i fenomeni. In particolare, la luce sembrava essere completamente compresa in termini elettromagnetici. Ben presto però si presentarono alcune incongruenze.

Se la luce è un'onda, il mezzo in cui si propaga, cioè l'etere, dovrebbe essere rilevabile con opportuni esperimenti sulla luce. Nel 1889 Michelson e Morley, con un famoso esperimento, non riuscirono a rilevare alcuna traccia di presenza dell'etere. Questa incongruenza condusse Einstein a formulare, nel 1905, la Teoria della relatività ristretta, che aboliva di fatto ogni necessità teorica di etere. Inoltre un altro problema era in attesa di una soluzione teorica, il cosiddetto *problema del corpo nero*. Qualunque corpo emette una radiazione che dipende esclusivamente dalla sua temperatura. I calcoli teorici basati sulla natura elettromagnetica della luce arrivavano però a una conclusione paradossale e contraria all'evidenza sperimentale: tali calcoli prevedevano infatti che la radiazione emessa avrebbe dovuto in ogni caso essere infinita (si parlava a questo proposito di *catastrofe ultravioletta*) e ciò, evidentemente, non si verifica. Nell'anno 1900 Plank pubblicò una formula che riproduceva esattamente lo spettro di emissione del corpo nero. Conseguenza inaspettata di questa formula era che la radiazione non veniva emessa con continuità, bensì a "pacchetti", che Plank denominò *quanti*. La natura corpuscolare della luce sembrava risorgere, ma il fatto che fosse *emessa* per quanti, non implicava necessariamente che la luce fosse *composta* di quanti. Un altro fenomeno attendeva una spiegazione, l'effetto fotoelettrico, grazie al quale alcuni metalli emettono elettroni se illuminati con luce ultravioletta, ma non se illuminati con luce rossa.

Nel 1905 ancora Einstein, nell'articolo che gli sarebbe valso il premio Nobel nel 1921, risolse il problema ammettendo che la radiazione fosse anche *assorbita* per quanti. Per coloro che ancora fossero stati restii ad ammettere la risorta natura corpuscolare della luce giunse nel 1922 l'osservazione del cosiddetto *effetto Compton*, dal nome dello scopritore, per il quale nello scontro in volo tra un elettrone e un quanto di luce entrambi emergono come se si fossero scontrate due particelle. Dunque la luce viene *emessa* per quanti (corpo nero), *assorbita* per quanti (effetto fotoelettrico) e si comporta in volo come un flusso di quanti (effetto Compton). La natura corpuscolare della luce era provata, e i quanti di luce furono detti *fotoni*. Gli sviluppi nati da questi e da moltissimi altri studi portarono alla meccanica quantistica, che evidenziò che anche la materia, in particolari condizioni sperimentali, può presentare un comportamento ondulatorio. Gli scienziati furono perciò condotti ad ammettere che sia la luce che la materia possono essere considerate sia onde che corpuscoli, a seconda delle condizioni sperimentali, da allora si parla perciò per entrambe di *dualismo onda-corpuscolo*.