

«la notte oscura e il silenzio profondo, si oppongono e si succedono nel corso di una esperienza mistica sempre più perfetta, nella quale hanno un ruolo importante l'ombra e la luce, il rumore e il silenzio» (M.Laffranque, cit in G.Baroncini, *Colori e suoni tra Newton e Goethe*, Giornale di Fisica, gennaio-giugno, 1989)

**Abstract.**

“Luce” significa per noi visione e, secondo l'incipit di una conferenza di Clerk Maxwell, “vedere è vedere a colori” (Maxwell, 1971). Partendo da un famoso brano del Saggiatore di Galileo Galilei, quello nel quale le qualità vengono divise in oggettive e soggettive, divisione divenuta poi tra qualità primarie e secondarie (Locke), cercheremo di percorrere la strada che ha visto prima I. Newton (col suo *Experimentum Crucis* e “cerchio dei colori”) e poi tanti altri scienziati, impegnati nel tentativo di trasformare il colore in argomento per geometri e matematici. Solo per citarne alcuni più famosi: Descartes, Boyle, Hooke, Newton, Goethe, Young, Grassmann, Helmholtz, Maxwell. L'esperienza del colore rimane irriducibilmente qualitativa, chiama in ballo mente e coscienza. Il colore è frutto di un “algoritmo” cerebrale. L'immagine percepita è dovuta al lavoro inconscio della interazione di diverse zone della corteccia (Zeki). Inoltre la percezione di uno stesso colore non è una relazione uno a uno tra stimolo e risposta. A stimoli diversi può corrispondere una medesima esperienza di colore. Se poi passiamo dalla percezione di un colore isolato a quello di ambienti colorati, a stimoli fisici identici può corrispondere una diversa percezione (Land). Grazie al fatto che, salvo anomalie, tutti funzioniamo allo stesso modo, è possibile una trattazione del colore che riesca a navigare nelle acque incerte della distinzione tra oggettivo e soggettivo. Tecnica e industria sono fortemente interessati ad una scienza del colore. Di conseguenza quello del colore è un tema fortemente pluridisciplinare e interdisciplinare. Filosofia, fisica, matematica, fisiologia, biologia, neuroscienze, intelligenza artificiale, tecnica, industria, conoscenze empiriche sono coinvolte nello studio di uno dei modi più ricchi di informazione con i quali interagiamo col reale.

## **Luce, colore, percezione, realtà. Da Newton a Land (Newton, Young, Grassmann, Helmholtz, Clerk Maxwell, Zeki, Land)**

### **Sintesi**

#### **Le domande.**

Le domande che hanno ispirato la scienza del colore vengono da lontano.

Cosa è la luce? Cosa sono i colori? Era la domanda che si erano sempre posti filosofi e scienziati e che potevano essere specificate in questo modo:

- qual è il percorso dallo stimolo fisico alla immagine mentale?
- il colore è una qualità del vettore estrinseca (velocità, rotazione di particelle? ad esempio) o è intrinseca ai raggi di luce (grandezza di particelle o vibrazione dell'etere, non alterabile da parte del mezzo trasmettente o riflettente)?
- il colore è nei raggi o nella mente? E' un fatto fisico o fisiologico?
- qual è, in generale, il ruolo della mente nella rappresentazione del reale?

#### **Matematizzare il colore**

Con I.Newton comincia un tentativo di rispondere ad alcune di queste domande richiamando il problema dei colori all'interno delle scienza seicentesca.

Vedremo che la divisione di Galileo Galilei tra qualità soggettive e qualità oggettive è stata messa in discussione sia dalla fisica (vedi meccanica quantistica) che dalle neuroscienze. Ma già filosofi come Berkeley e Hume avevano contestata la possibilità di operare una simile

divisione. Newton non si interessa di questa distinzione, essendo suo scopo precipuo rendere il colore argomento per i matematici.

“*Misurare il colore*” è il titolo di uno dei tanti manuali che riguardano, oggi, la scienza del colore (vedi bibliografia).

Sembra una provocazione, se facciamo riferimento a tutte le discussioni filosofiche su qualità primarie e qualità secondarie, cui abbiamo fatto cenno.

Le prime, misurabili, sono state le regine della rivoluzione scientifica, della cosiddetta “filosofia meccanica”, indiscussa *standard view* della rivoluzione scientifica del Seicento e di tutte le filosofie riduzioniste. Le altre, soggettive, non misurabili, sono state affidate al gusto, alla percezione estetica, ai pittori, alla decorazione di ambienti, all’oggettistica, all’industria, alla moda ... ma non alla scienza.

Eppure molti scienziati, che hanno lasciato ai posteri il loro nome, si sono cimentati con la matematizzazione del colore.

Fare del colore un argomento da affidare ai “geometri” è stato, come già detto, un impegno specifico e consapevole di I. Newton (vedi *Lezioni di ottica, tenute dalla cattedra lucasiana negli anni 1669, 1670, 1671 presso le scuole pubbliche di Cambridge*, UTET, 191). Newton riprendeva la domande sulla natura del colore e della luce, che vantava una lunga storia: il colore è effetto del passaggio dei raggi di luce in un mezzo materiale (Cartesio, Hooke, Huygens), oppure il colore è intrinseco ai raggi luminosi (Newton) e il prisma semplicemente lo rivela (*experimentum crucis*)? Il colore è effetto secondario rispetto al contrasto luce – ombra, o, al contrario, i colori sono primari e il bianco dipende da una mescolanza di colori?

La disputa tra Newton e Hooke, per difendere la concezione di un colore intrinseco ai raggi e non frutto di alterazione dei mezzi di trasmissione sul vettore della luce, fu aspra. Dopo Newton ci fu bisogno di Young per riprendere lo studio del colore e portarlo avanti su altre direttive.

Con Young si comincia a comprendere che bisognava affrontare il difficile confine tra oggettivo e soggettivo, per fare una “scienza del colore”. Occorreva cominciare a fare ipotesi, basate su osservazioni, sulla struttura dell’organo visivo e sul modo in cui il colore è percepito. Questa “fecondazione incrociata” tra scienze fisiche e “scienza della mente” è esplicitamente auspicata e messa a frutto da Clerk Maxwell.

Grassmann, Helmholtz, Clerk Maxwell si misero su una strada di ricerca che non sarebbe più stata abbandonata dagli studiosi del colore. Oggi, l’anatomia e la fisiologia della retina sono abbastanza conosciute, il sistema visivo è la parte del cervello più studiata dalle neuroscienze e le intuizioni dei tre scienziati menzionati sono state confermate, approfondite e arricchite di nuove ipotesi per spiegare ciò che Helmholtz e Clerk Maxwell non riuscivano a spiegare.

Per spiegare, ad esempio, la costanza cromatica non basta la teoria dei tre recettori di Young. La percezione di un ambiente colorato è il risultato dello stimolo fisico, proveniente non solo da una superficie colorata ma anche dall’ambiente che la circonda, e della interpretazione inconscia operata dalla interazione tra diversi moduli cerebrali.

Clerk Maxwell bene illustra questo passaggio dalla misura fisica alla mente e dalla mente alla scienza esatta in *On colour vision*, conferenza pubblica, tenuta alla *Royal Institution*, nel 1871:

*“To bring a quality within the grasp of exact science, we must conceive it as depending on the values of one or more variable quantities, and the first step in our scientific progress is to determine the number of these variables which are necessary and sufficient to determine the quality of a colour. We do not require any elaborate experiments to prove that the quality of colour can vary in three and only in three independent ways.*

*One way of expressing this is by saying, with the painters, that colour may vary in hue, tint, and shade.”* (Scientific Papers, vol. II, 271).

Ma, continua Clerk Maxwell, si può andare oltre.

*“Let us go a step farther and suppose the colour sensations measured on some scale of intensity, and a point found for which the three distances, or coordinates, contain the same number of feet as the sensations contain degrees of intensity. Then we may say, by a useful geometrical convention, that the colour is represented, to our mathematical imagination, by the point so found in the room; and if there are several colours, represented by several points, the chromatic relations of the colours will be represented by the geometrical relations of the points.”* (ivi, 272).

I lavori di Helmholtz, Grassmann, Clerk Maxwell hanno permesso, grazie a leggi psicofisiche valide per tutti gli uomini (salvo piccole deviazioni o anomalie), di trasformare in scienza empirica la sensazione di colore e di far uso della geometria per trattare la mescolanza dei colori. La somma di due sensazioni di colore corrisponde a operazioni in uno spazio lineare con base i tre colori fondamentali. Il colore viene così trasformato in un vettore e le composizioni di colori sono operazioni in questo spazio. H. Grassmann, dal momento che gli stimoli di colore godono delle proprietà riflessiva, simmetrica e transitiva, grazie al metamerismo, definirà i colori come classi di equivalenza per le quali valgono proprietà ben precise.

### Protagonisti

Una svolta nello studio dei colori, dunque, ha come protagonista I. Newton col suo famoso *experimentum crucis*: la scomposizione e ricomposizione della luce bianca attraverso un prisma “dimostra” (alla pretesa di una vera e propria dimostrazione Newton rinuncerà, via via, per le obiezioni dei suoi oppositori) che il colore è intrinseco ai “raggi” (qualunque cosa fossero) e il bianco non è un colore ma il risultato di una mescolanza di tutti i colori.

Michel Meulders si chiede se Newton si sia reso conto della gravità del passo che compiva. Il colore diventava oggetto di studio della fisica.

“Immateriale e cangiante al tramonto del sole o legato indissolubilmente alla pietra preziosa o ai petali di un fiore, il colore è sempre stato caricato di significati simbolici e persino religiosi. L’ocra dei tatuaggi primitivi o dei bovindi di Lascaux, il bianco dei paramenti liturgici, il nero del lutto, il rosso del pericolo, il verde della speranza, la dicono lunga sul ruolo che, da tempo memorabile, il colore ha avuto come veicolo di significati culturali e fattore di coesione sociale. Suddividendo la luce, come fosse una torta, in una serie di porzioni di colore diverso, uguali in numero alle diverse sfumature cromatiche visibili nell’arcobaleno, Newton suscitò uno

scandalo, poiché di lì in avanti il mondo dei colori venne a trovarsi a cavallo tra due culture: quella della fisica e quella delle scienze umane.”

Newton, però, era ben consapevole di consegnare ai “geometri” il colore. Lo si evince chiaramente dalle sue *Lezioni di Ottica*, tenute nella *Cattedra Lucasiana*, nella seconda parte, dove chiarisce quale fosse, a suo parere, la natura del colore. Fu nell'Ottocento che si comprese come, per andare oltre, bisognasse mettere insieme fisica e fisiologia, lo stimolo fisico e la mente. Un lungo periodo, tra Newton e Young, visti i progressi fatti in altri settori nel Settecento.

Tra la seconda metà del Settecento e i primi decenni dell'Ottocento Goethe si assunse il compito di chiudere la via che Newton aveva aperto, dedicando allo studio del colore un trattato di più di mille pagine. Il colore, essendo legato allo spirito umano, non poteva, secondo Goethe, essere dissezionato con l'analisi corrosiva dei matematici. Goethe voleva arrestare il processo di matematizzazione. Il colore doveva essere trattato a partire da una analisi accurata del fenomeno soggettivo e con gli strumenti della *Natürphilosophie*: individuazione di polarità e di contrasti, in una visione ecologica dell'unità della natura. Le analisi di Goethe, aborrite dagli scienziati, furono utili ai pittori, i quali dovettero tener conto, nella scelta dei colori, del fattore percettivo (ad esempio contrasto simultaneo e colori complementari) e del significato simbolico delle qualità cromatiche. Oggi qualcosa di Goethe viene ripresa negli studi sulla percezione del colore in teorie come quella di Land sulla permanenza cromatica (vedi articolo di G. Baroncini in bibliografia).

H. Helmholtz si preoccupò, come aveva tentato di fare Goethe con Newton, di chiudere la via di Goethe sullo studio del colore, che ispirava gli artisti ma confondeva le vie oggettive della scienza.

H. Helmholtz prima rifiutò (1852) poi riprese e approfondì (1860) l'ipotesi di Young. Nel frattempo J. Clerk Maxwell (1855) aveva affinato l'ipotesi dei tre recettori di Young. Clerk Maxwell la rese compatibile con le osservazioni, sostenendo la tesi della attivazione simultanea di più di un recettore alla volta. Secondo R. Heesen, la teoria per gli storici finì per diventare la “tesi di Young Helmholtz”, dimenticando che Maxwell, prima di Helmholtz, l'aveva proposta. «*The stories of victors, however, may conceal as much as they illuminate*». Nel 1860 Helmholtz aveva 39 anni, Clerk Maxwell 29. Helmholtz era noto per la scoperta del principio di conservazione dell'energia, per la misura della velocità dell'impulso nervoso. Per Clerk Maxwell i lavori in fisica famosi dovevano ancora giungere. (Heesen Remco, *The Young – (Helmholtz) – Maxwell Theory of Color Vision*, January 23, 2015, Department of Philosophy, Baker Hall 161, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213-3890, USA).

Agli inizi dell'Ottocento, dunque, Young, Grassmann, Helmholtz, Clerk Maxwell dettero contributi notevoli per portare avanti il programma di Newton: rendere il colore misurabile. Nello stesso tempo però bisognava dar conto del rapporto ambiguo tra stimolo fisico e sensazione di colore, dato che la relazione non era biunivoca ma molti a uno! Per il colore vale una proprietà, chiamata “metamerismo”, per la quale stimoli diversi possono dare la stessa sensazione di colore.

La colorimetria attuale è un campo di studi complesso e in evoluzione. La matematica vi è impiantata stabilmente. La riproduzione dei colori non solo è un'arte ma anche un settore

delle scienze empiriche. La riproducibilità oggi tiene conto delle leggi della fisica e di quelle della visione, uguali per tutti i soggetti normali, con poche deviazioni statistiche e anomalie ben studiate. Come nelle migliori teorie delle scienze empiriche.

Nel 1971, per spiegare la costanza cromatica, Edwin Land, l'inventore della Polaroid, propose una teoria secondo la quale non solo stimoli diversi possono dare una stessa sensazione, ma anche lo stesso stimolo può dare sensazioni diverse, a seconda del contesto. E con ciò qualcosa delle intuizioni di Goethe viene ripreso.

### Neuroscienze

Clerk Maxwell aveva ben chiaro che lo studio del colore mette insieme la fisica e la scienza della mente. Possiamo dire di comprendere cosa è il colore quando comprendiamo la natura fisica dello stimolo e la risposta dei sensi, organizzata in leggi fisiologiche, che sono il risultato di esperimenti riproducibili. La scienza del colore, se ce n'è una, è pluridisciplinare per natura. Oggi le neuroscienze (vedi ad esempio i lavori di Semir Zeki) ci indicano dove finiscono nel nostro cervello gli stimoli elettrici prodotti nella retina. Già filtrati ed etichettati, attivano il lobo occipitale del cervello di cui occupano quasi tutta l'area. Questa area, deputata a processare lo stimolo, è in connessione con altre aree deputate al riconoscimento (cosa è) e alla localizzazione (dove è) della cosa colorata. Il paradosso apparente della percezione è che, nella percezione di un oggetto colorato, aumenta il ruolo del cervello nella costruzione dell'immagine, ma aumenta anche la consapevolezza di quanta informazione dall'ambiente veicola lo stimolo visivo. Ciò che giunge alla retina non è solo informazione su una determinata area colorata, è anche informazione su ciò che sta attorno. La sensazione di colore diventa così il risultato di un algoritmo inconscio che processa l'input nervoso, tenendo conto di ciò che sta al confine dell'oggetto in questione (Land).

### La questione filosofica

La limpida prosa con la quale Galileo, nel Saggiatore, aveva distinto qualità oggettive e soggettive si è oggi appannata. Relatività, meccanica quantistica e neuroscienze hanno messo in discussione la distinzione galileiana.

Ad esempio l'idea che ciò che è materiale sia inseparabile da una determinata velocità (vedi di contro la relatività einsteiniana e il principio di indeterminazione), dalla localizzazione spaziale (vedi di contro funzione d'onda ed entanglement), dalla forma geometrica (che dipende dalla metrica e dalla topologia), dalla massa (qui, però, i fisici si sono accordati a non parlare di "massa relativistica"), dall'essere uno o molti (vedi di contro teoria dei campi e condensati di Bose) è fortemente messa in discussione, se non confutata. Berkeley e Hume, per motivi diversi e di carattere filosofico, come già detto, avevano messa in discussione tale distinzione.

Tutte le qualità sensibili, rivisitate dalla fisica, dalla psicologia e dalle neuroscienze si sono rivelate contemporaneamente soggettive, ma anche capaci di metterci in relazione corretta con l'ambiente che abitiamo, quindi anche "oggettive". Sono il modo personale di entrare in relazione con l'ambiente. La qualità "colore" quindi non è la qualità propria di un corpo, ma di una relazione tra mondo e mente. Non è quindi solo qualità delle cose o solo ricostruzione mentale. E' il modo in cui la mente risponde alla sollecitazione fisica e *intenziona* il mondo. Senza la sensazione di colore le informazioni che vengono dall'ambiente sarebbero più povere il

nostro rapporto con l'ambiente meno adeguato. Se, come scrive Clerk Maxwell, “*all vision is colour vision*” (articolo citato), cosa sarebbe un mondo senza colori?

In conclusione, quando, guardando una foglia verde, penso: “il verde è solo lo stimolo soggettivo, perché la foglia di per sé non è verde” posso, più correttamente e legittimamente, dire: “ questa foglia qui davanti a me è proprio verde!”, se verde significa tutta l'informazione che lo stimolo fisico porta con sé e che mi situa correttamente nell'ambiente.

### Bibliografia

[E' possibile reperire diversi articoli sulla fisiologia del colore e su Helmholtz in](#)

<https://philpapers.org/rec/SHECVI>

AAVV ( a cura di P.Rossi), *Storia della fisica*, Gruppo editoriale l'Espresso, Roma, 2006

AAVV (a cura di De Caro M. e Ferraris M.), *Bentornata realtà. Il nuovo realismo in discussione*, Einaudi, Torino, 2012

AAVV (a cura di Marraffa Massimo e Paternoster Alfredo), *Scienze cognitive. Una introduzione filosofica*, Carocci, Roma, 2011

AAVV (a cura di Oleari Claudio), *Misurare il colore. Fisiologia della visione a colori. Fotometria - Colorimetria e norme internazionali*, Hoepli, Milano, 2008

Baroncini G., *Colori e suoni tra Newton e Goethe*, «Giornale di Fisica», gennaio-giugno, 1989

Bellone Enrico, *I corpi e le cose. Un modello naturalistico della conoscenza*, Bruno Mondadori, Milano, 2000

Bellone Enrico, *Qualcosa, là fuori*, Codice, Milano, 2011

Bozzi Paolo, *Fisica ingenua. Studi di psicologia della percezione*, Garzanti, Milano, 1998

Enriques F., Mazziotti M., *Le dottrine di Democrito di Abdera, testi e commenti*, Zanichelli, Bologna, 1948

Frova Andrea, *Luce, colore, visione. Perché si vede ciò che si vede*, Rizzoli, Milano, 2000

Gardner Howard, *La nuova scienza della mente. Storia della rivoluzione cognitiva*, Feltrinelli, Milano, 1985, 2016, Libero Sosio

Giudice Franco, *Lo spettro di Newton. La rivelazione della luce e dei colori*, Donzelli, Roma, 2009

Guicciardini N., *Newton. Un filosofo della natura e il sistema del mondo*, Le Scienze, , 1998 - anno I, n.2

Heesen Remco, *The Young – (Helmholtz) – Maxwell Theory of Color Vision*, January 23, 2015, Department of Philosophy, Baker Hall 161, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213-3890, USA

[http://www.lescienze.it/news/2017/11/18/news/thomas\\_albright\\_visione\\_percezione\\_neuroscienze-3758338/](http://www.lescienze.it/news/2017/11/18/news/thomas_albright_visione_percezione_neuroscienze-3758338/)

Land E., *Una nuova teoria della visione dei colori*, Le Scienze, marzo 1978

Lotto Beau, *Percezioni. Come il cervello costruisce il mondo*, Bollati Boringhieri, Torino, 2017, 2017, Giuliana Olivero

Mamiani M., *Storia della scienza moderna*, Laterza, Roma-Bari, 2002

Marrassa Massimo e Paternoster Alfredo, *Scienze cognitive. Un'introduzione filosofica*, Carocci, Roma, 2011

Muelders M., *Helmholtz. Dal secolo dei lumi alle neuroscienze*, Boringhieri, Milano, 2005, 2001

Newton Isaac (a cura di Franco Giudice), *Scritti sulla luc e sui colori*, BUR, Milano, 2006

Paternoster Alfredo, *La percezione*, in AAVV (a cura di Marrassa Massimo e Paternoster Alfredo), *Scienze cognitive. Una introduzione filosofica*, Carocci, Roma, 2011

Peruzzi Giulio, *I grandi della scienza, anno1, n.5. Maxwell*, Le Scienze, Milano, 1999

Peruzzi Giulio, *Vortici e colori. Alle origini dell'opera di James Clerk Maxwell*, Dedalo, Bari, 2010

Polanyi Michael, *La conoscenza personale*, Rusconi, Milano, 1962, 1990, trad. Rivero Emanuele

Putnam Hilary, *Mente, corpo, mondo*, Il Mulino, Milano, 1999, 2003, Sacchi Sgarbi Elisabetta

Zeki Semir, *L'elaborazione dell'immagine visiva*, Le Scienze, novembre 1992

Zeki Semir, *Con gli occhi del cervello*, Di Renzo Editore, 2011

Zeki Semir, *Splendori e miserie del cervello. L'amore, la creatività e la ricerca della felicità*, Codice -Le Scienze, Torino, 2010, 2009, trad. Silvio Ferraresi