

Newton, l'esordio della scienza del colore

Il “filosofo naturale” Isaac Newton è stato il principale artefice del passaggio dalle antiche concezioni scolastiche e aristoteliche alla moderna concezione sperimentale della scienza. Con Newton lo studio della sensazione del colore entra nella modernità, perché è stato il primo a comprendere che la relazione tra uno stimolo luminoso isolato (un fatto fisico) e la relativa sensazione di colore (un fatto psicologico) può essere rappresentata con un modello matematico.

14.1 Biografia di Newton

Isaac Newton è nato il 25 dicembre 1642 del calendario giuliano a Woolsthorpe-by-Colsterworth, nella campagna del Lincolnshire (Inghilterra), circa 170 chilometri a nord di Londra.¹ Nel gennaio 1661

¹ Durante l'intera esistenza di Newton, in Inghilterra si usava ancora il calendario giuliano (con l'inizio dell'anno al 25 marzo) mentre nel resto d'Europa si usava già il calendario gregoriano, entrato in vigore nel 1582 sopprimendo i dieci giorni dal 5 al 14 ottobre (il giorno successivo a giovedì 4 ottobre è stato indicato come venerdì 15 ottobre). Secondo il calendario giuliano Isaac Newton è nato il 25 dicembre 1642 e morto il 20 marzo 1726/1727; secondo quello gregoriano è nato il 4 gennaio 1643 e morto il 30 marzo 1727. La presunta “coincidenza” secondo la quale Newton è nato lo stesso anno della morte di Galileo in realtà non si è

entra come *subsizar* (studente povero) al Trinity College di Cambridge e nel 1665 si laurea *bachelor of arts*. Nella primavera dello stesso anno, trent'anni dopo la peste di Milano (descritta da Alessandro Manzoni nei *Promessi sposi*) anche a Londra scoppia la peste (descritta da Daniel Defoe, l'autore di Robinson Crusoe, nel suo *Journal of the Plague Year*) che presto dilaga in provincia. Il Trinity College chiude e Newton torna nella sua casa natale di Woolsthorpe, probabilmente il 7 agosto 1665. Dopo un breve ritorno al College da marzo a giugno 1666, aperto perché l'epidemia pare affievolirsi, è costretto a tornare a Woolsthorpe il 22 giugno.

In questo anno 1666 Newton esegue importanti esperimenti e inizia a formulare alcune delle sue fondamentali idee, compresa la teoria dello stimolo e della sensazione di colore (che è del gennaio 1666) perché, come scrive in una lettera a Pierre des Maizeaux (1673-1745) trovata tra le sue carte dopo la sua morte e mai spedita,

in quei tempi [i due anni della peste, 1665 e 1666] ero nel fiore dell'età creativa, e curavo la matematica e la filosofia più che non abbia mai fatto in seguito.

Quando il Trinity College riapre definitivamente nell'aprile del 1667 Newton torna a Cambridge e diventa *junior fellow* del College, nel 1668 ottiene il *master of arts* e diventa *senior fellow*. Nello stesso anno progetta e costruisce un telescopio a riflessione (cioè con specchi invece di lenti). Il 29 ottobre del 1669 viene nominato titolare della cattedra lucasiana, creata grazie al lascito del reverendo Henry Lucas nel

verificata. In questo capitolo le date, ove non indicato, si intendono nel calendario giuliano, come in uso in quel periodo in Inghilterra.

1663, ed ancor oggi esistente.² Newton succede a Isaac Barrow (1630-1677) e terrà la cattedra lucasiana per 33 anni. Nel 1671 Barrow illustra alla Royal Society il telescopio a riflessione progettato e costruito da Newton. L'idea è apprezzata e Newton viene eletto membro della Society. In un paio di lettere espone le sue innovative ricerche sulla luce e sul colore, ma resta impegnato in alcune polemiche e decide di non pubblicare più nulla sullo stesso tema.

Si dedica ad altro e nel 1687 pubblica in latino la *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* un'opera grazie alla quale la sua statura di scienziato viene riconosciuta universalmente. Nel 1696 si trasferisce a Londra per assumere la posizione di *warden* (direttore) e successivamente *master* (governatore) della Zecca Reale e nel 1703 viene nominato presidente della Royal Society. Finalmente nel 1704 pubblica il trattato *Opticks* sulla luce e sul colore nel quale inserisce anche gran parte degli appunti delle lezioni tenute dalla cattedra lucasiana più di trent'anni prima, dal 1669 al 1671. Gli appunti stessi rimarranno negli archivi del Trinity College fino al 1729, quando verranno pubblicati postumi col titolo *Lectiones Opticæ*. Negli anni successivi usciranno altre tre edizioni dell'*Opticks* in inglese (1717, 1721, 1730), due in latino (*Optice*, 1706, 1719) e una in francese (*Optique*, 1720).

Newton muore a Londra il 20 marzo 1727 e viene sepolto nell'abbazia di Westminster. Non si è mai sposato, né ha avuto figli riconosciuti e la sua erede è Catherine Barton, figlia di Robert Barton e della sua seconda moglie, Hannah Smith, sorellastra di Newton. Oggi è considerato uno dei massimi scienziati della storia dell'umanità, ma ai

² Dal 1979 al 2009 è stato titolare della cattedra il fisico teorico Stephen Hawking, che è nato l'8 gennaio 1942, esattamente 300 anni dopo la morte di Galileo (8 gennaio 1642).

suoi tempi era noto per la sua modestia e riservatezza. In una lettera a Hooke del 1676 scrive “se ho potuto vedere più lontano degli altri, è perché sono salito sulle spalle dei giganti”.³

14.2 La luce e il colore ai tempi di Newton

Quando Newton arriva a Cambridge nel 1661 l'aristotelismo è ancora parte integrante del sistema educativo e i manuali sulla luce e sul colore si basano sulle idee sviluppate nella scolastica. Da millenni si discute se la luce del sole sia sostanza o accidente, ma è indiscusso che sia una entità semplice, omogenea, non composta, incolore, anche se capace di differenti “qualità” secondo la sua interazione con la materia. La rifrazione è nota fin dai tempi di Tolomeo, la legge che la governa è stata formulata da Cartesio nel 1637, e non discrimina tra un singolo raggio e un fascio di raggi. Tutti sono tacitamente convinti che un fascio di raggi nella rifrazione si comporti come un singolo raggio. Nessuno pensa che i diversi raggi di un fascio possano avere diversa rifrangibilità.

Un'altra opinione comune tra gli studiosi dell'epoca è che lo studio del colore non appartenga all'ottica. L'ottica è matematica applicata mentre il colore è un'appendice, una materia per filosofi che non ha alcuna relazione con i numeri e con la matematica. Tutti gli studiosi del tempo distinguono tra colori reali (quelli dei corpi) e colori apparenti (quelli dell'arcobaleno e del prisma) e questi ultimi sono

³ Una delle prime formulazioni di questa immagine pare sia di Giovanni di Salisbury (1120-1180) che nel suo *Metalogicon* del 1159 scrive “diceva Bernardo di Chartres che noi siamo come nani issati sulle spalle di giganti, cosicché possiamo vedere più e più lontano di loro, non per l'acutezza dello sguardo o per la statura del corpo, ma perché siamo sollevati in alto dalla loro mole gigantesca”.

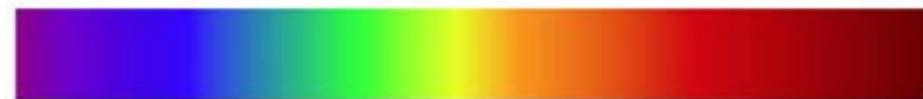


Figura 18 Lo spettro dei colori di Newton.

generati dalla modificazione della luce. Inoltre le leggi che governano la mescolanza di luci sono le stesse che regolano la mescolanza di pigmenti.

Tuttavia i filosofi meccanicisti iniziano a sostenere ipotesi su luce e colore che fanno apparire infondate alcune distinzioni scolastiche e che attirano la curiosità del giovane Newton, che legge Cartesio e Boyle. Ma se da una parte questi filosofi propongono nuove idee, per esempio relative ai generi dei colori, d'altra parte continuano a sostenere alcune vecchie idee, principalmente quella del modificazionismo. La teoria della luce e del colore di Newton si sviluppa in questo contesto culturale e sarà una rivoluzione contro il modificazionismo, condotta con il concetto di rifrangibilità del singolo raggio. Poiché tutti allora erano modificazionisti e ne sostenevano una variante o l'altra, Newton avrà molti oppositori.⁴

14.3 Nuova teoria sulla luce e il colore

La rivoluzione di Newton inizia con due lettere al segretario della Royal Society, Henry Oldenburg (1619-1677).⁵ La prima è del 18 gen-

⁴ Sull'ottica durante la rivoluzione scientifica si può leggere l'articolo di Alan Shapiro “La rivoluzione scientifica: i domini della conoscenza. Ottica” in *Storia della Scienza* Treccani 2002.

⁵ Per la teoria del colore di Newton mi baso tra l'altro su [Giudice 2006] e [Giudice 2009].

naio 1672 e annuncia “la più straordinaria [scoperta filosofica] che sia stata compiuta finora sulle operazioni della natura”. La seconda è del 6 febbraio e contiene la descrizione dell’annunciata scoperta messa a punto con gli esperimenti sulla luce compiuti tra il 1665 e il 1666. La lettera viene pubblicata (con alcuni emendamenti) il 19 febbraio nelle *Philosophical Transactions* della Royal Society con il titolo “New Theory about Light and Colors” e consta di due parti: una descrizione della diversa rifrangibilità dei raggi della luce del sole e una sintesi in tredici punti sull’origine dei colori (senza distinzione tra “reali” e “apparenti”).

Newton dimostra per la prima volta che anche i colori si possono trattare con il linguaggio matematico e quindi il loro studio può essere considerato parte dell’ottica e non più della filosofia. In realtà la lettera di Newton, ancora oggi considerata un capolavoro della letteratura scientifica, più che una teoria dei colori propone una teoria della luce intesa come fenomeno fisico oggettivo (cioè il *lumen* medievale): infatti tratta di raggi, rifrazione, prismi e lenti. Solo nell’*Opticks* del 1704 Newton avvanzerà una fondamentale ipotesi sul rapporto tra stimolo luminoso e sensazione di colore, ma bisogna aspettare l’Ottocento affinché Helmholtz, Grassmann e Maxwell, partendo da questa ipotesi, considerino la sensazione di colore un fenomeno da esplorare scientificamente.

Newton aveva mostrato interesse per il colore fin da giovane. Nel 1659, quando aveva 17 anni, aveva acquistato una copia di *The Mysteries of Nature and Art*, un manuale divulgativo scritto nel 1634 da un certo John Bate (del quale si conosce solo il ritratto pubblicato nella II edizione del 1635) dove vengono indicati i pigmenti da me-

scolare per ottenere un colore desiderato.⁶ Ma la teoria di Newton è basata sulle luci, non sui pigmenti, e i suoi esperimenti, condotti con il metodo induttivo indicato da Francis Bacon, si basano sul fatto che la luce del sole, fatta passare attraverso un prisma triangolare di vetro, si separa e si disperde in una serie di luci colorate (Figura 19). Il fenomeno non è nuovo ma Newton decide di analizzarlo a fondo e inizia con il dare un nome a questa immagine variopinta, che chiama “spettro” (in latino *spectrum*, “immagine”, “visione”, anche “fantasma”). Quindi, per cercare la spiegazione del fenomeno, esamina tre ipotesi modificazioniste che erano state precedentemente avanzate: attraversamento della luce di tratti di vetro più o meno lunghi, passaggio nel prisma prima o dopo un foro, irregolarità nel vetro.

Dopo averle indagate a fondo conclude che nessuna di queste può essere la causa della formazione dello spettro e arriva ad avanzare l’ipotesi, fino ad allora mai considerata, che i diversi raggi della luce del sole vengano rifratti dal prisma con angolazioni diverse. Lo spettro cioè si forma perché la luce del sole è composta di diversi tipi di raggi, ogni tipo con un diverso grado di rifrangibilità e dunque è la rifrazione stessa a separarli, causando la sensazione di diversi colori. La cosa importante è che tra questi diversi colori dello spettro (sensazioni soggettive, non misurabili) e i diversi gradi di rifrangibilità dei raggi che li producono (stimoli fisici oggettivi, misurabili) vi è una corrispondenza biunivoca, che Newton enuncia nel secondo e terzo punto della lettera del 6 febbraio con queste parole:

Allo stesso grado di rifrangibilità appartiene sempre lo stesso colore [dello spettro], e allo stesso colore [dello spettro] appartiene sempre

⁶ [Giudice 2009] p. 63.

lo stesso grado di rifrangibilità. I raggi meno rifrangibili hanno la tendenza a mostrare un colore rosso [...] Allo stesso modo, i raggi più rifrangibili hanno tutti la tendenza a mostrare un colore violetto scuro [...] E questa analogia tra colori [dello spettro] e rifrangibilità è molto precisa e stretta.

Quando un dato genere di raggi [cioè quelli con un dato grado di rifrangibilità] sia stato ben separato da quelli di altre specie [cioè da quelli con gradi di rifrangibilità diversi], in seguito esso ha ostinatamente mantenuto il suo colore, nonostante i miei massimi sforzi per cambiarlo.

Questa è la prima relazione tra stimolo oggettivo e sensazione soggettiva di colore che sia mai stata proposta. Newton stesso si rende conto della grande novità e della sorpresa che questa osservazione avrebbe potuto provocare, e nella parte introduttiva della lettera, in un brano non pubblicato a stampa, scrive che

un naturalista non si aspetterebbe di vedere la scienza di quelli [cioè dei colori] diventare matematica, e tuttavia oso affermare che in essi vi è altrettanta certezza che in qualsiasi altra parte dell'ottica.

14.4 I colori semplici e i colori composti

Nella lettera del 6 febbraio Newton introduce la terminologia man mano che procede, senza dare definizioni formali. Per indicare il colore generato da raggi di uguale grado di rifrangibilità, cioè uno dei colori dello spettro, Newton usa indifferentemente i termini “semplice”, “originario”, “primario” (oggi si dice “spetttrale”). I colori “semplici” sono molti, anche se sono solo una parte dei colori che possiamo vedere, e in qualunque lingua non ci sono abbastanza nomi per

indicarli tutti. Nel quinto punto della lettera Newton ne nomina sette, i sette principali colori semplici che ritiene di vedere nello spettro, e aggiunge che ce ne sono molti altri tra l'uno e l'altro:

i colori originari o primari sono rosso [*red*], giallo [*yellow*], verde [*green*], azzurro [*blew*] ed un violetto-viola [*violet-purple*], assieme ad arancio [*orange*], indaco [*indico*] ed una indefinita varietà di gradazioni intermedie.

Nella letteratura popolare è un luogo comune affermare che i colori dello spettro siano sette, ma in realtà Newton pensava e vedeva che erano molti di più (“una indefinita varietà”) e forse per simpatia con il numero sette individuava nello spettro sette colori principali. Nel quarto e sesto punto della lettera ribadisce che i colori semplici dello spettro (quanti essi siano) non esauriscono tutti i colori che possiamo vedere, sono solo una parte di essi, perché esistono anche i colori “composti”, ottenuti dalla composizione di raggi di diverse rifrangibilità. Queste composizioni danno origine a colori diversi da quelli semplici dello spettro, diversità che è centrale nella teoria di Newton. Nel sesto punto della lettera Newton scrive che con la composizione si possono ottenere colori composti ma “identici in specie” a quelli semplici (oggi si direbbe della stessa “tinta” di quelli spettrali):

colori identici in specie a questi primari possono anche essere prodotti per composizione, poiché una mescolanza di giallo [*yellow*] e azzurro [*blew*] produce il verde [*green*], di rosso [*red*] e giallo produce l'arancio [*orange*] e di arancio e giallo-verde [*yellowish green*] produce il giallo. E in generale, se vengono mescolati due colori qualsiasi, che nella serie di quelli generati dal prisma non sono troppo lontani l'uno dall'altro, essi [...] compongono quel colore che nella detta serie appare intermedio tra loro.

La composizione di raggi di diverse rifrangibilità di cui parla Newton è la sovrapposizione delle luci, e questa composizione non è permanente perché “quando vengono di nuovo separati [con il prisma] essi esibiranno assolutamente i medesimi colori che possedevano prima di essere composti”. La regola con la quale si formano le mescolanze di colori verrà chiarita quando Newton pubblicherà, più di 30 anni dopo, lo schema del cerchio dei colori nella sua *Opticks* del 1704.

Al settimo e ottavo punto della lettera Newton descrive la “luce bianca” del sole. Questa è la parte più innovativa (e problematica) della teoria. La luce del sole non è una entità omogenea ma un “confuso aggregato di raggi dotato di tutti i generi di colori”. La luce appare bianca quando i raggi del sole sono aggregati in una data proporzione, mentre quando viene dispersa dal prisma appare colorata.

la composizione più sorprendente e meravigliosa fu quella del bianco [*whiteness*]. Non esiste alcun genere di raggi che da solo lo possa mostrare. Esso è sempre composto e per la sua composizione sono richiesti tutti i suddetti colori primari, mescolati in qualche proporzione. Ho spesso osservato con meraviglia che tutti i colori del prisma, essendo fatti convergere ed essendo così di nuovo mescolati come erano nella luce prima che incidesse sul prisma, riproducevano la luce interamente e perfettamente bianca e per nulla diversa dalla luce diretta del sole, a meno che i vetri usati non fossero sufficientemente trasparenti.

Da quanto detto segue, dunque, che il bianco è l'usuale colore della luce [...] se esiste una data proporzione degli ingredienti; se però uno qualsiasi predomina, la luce deve inclinare verso quel colore, come accade nella fiamma azzurra dello zolfo, nella fiamma gialla della candela, e come accade nei vari colori delle stelle fisse.

Nel tredicesimo e ultimo punto Newton tratta del colore degli oggetti opachi e scrive molto lucidamente:

concluderò con questo [punto] di carattere generale: il colore di tutti i corpi naturali non hanno altra origine che la seguente: essi sono variamente qualificati a riflettere un tipo di luce più abbondantemente di un altro. Ho sperimentato questo in una camera oscura illuminando questi corpi con luce omogenea di diversi colori. Infatti con quel mezzo si può far apparire qualsiasi corpo di qualsiasi colore. Essi non hanno un proprio determinato colore perché sempre appaiono del colore della luce proiettata su di essi.

I colori dunque non appartengono agli oggetti opachi, che sono solo in grado di riflettere una parte della luce che ricevono e di assorbire la parte rimanente:

stando così le cose, non si disputerà più a lungo se nel buio ci sono i colori, né se sono qualità degli oggetti che vediamo e nemmeno, forse, se la luce è un corpo [o una qualità].⁷

Nel 1664 Newton aveva letto *Diottrica* e *Meteore* nei quali Cartesio aveva rifiutato la distinzione tra colori che gli scolastici chiamano “reali” (quelli dei corpi opachi) e quelli che chiamano “apparenti” (cioè quelli dell'arcobaleno e del prisma); i colori sono tutti come quelli del prisma, che dunque assume un ruolo nuovo e centrale. Newton conferma l'idea di Cartesio: i colori sono tutti di un unico genere, e studiando i colori del prisma e le mescolanze si studiano tutti i colori.

⁷ Qui Newton usa il termine “qualità” in senso aristotelico, ma intende svincolarsi da questo termine e preferirà il termine “proprietà” quando replicherà alle critiche che gli verranno mosse. [Guerlac 1986] pp. 3-20.

La lettera termina affermando di non voler fare ipotesi sulla natura della luce, perché “determinare più esattamente cos’è la luce, in che maniera viene rifratta e per effetto di quali modalità o azioni essa produce nella nostra mente i fantasmi dei colori, non è tanto facile. Ed io non mescolerò congetture con cose certe”.

14.5 Controversie con i contemporanei

Commenti e critiche alla lettera di Newton non tardano ad arrivare. La convinzione di Newton di aver offerto una “rigida conseguenza” e non una ipotesi, viene immediatamente attaccata da Hooke, che era allora l’esperto riconosciuto di luce e colore della Society (mentre Newton era solo un giovane professore di Cambridge). La recensione di Hooke, presentata pochi giorni dopo l’arrivo della lettera, è molto critica. Inizia con una breve sintesi dell’ipotesi su luce e colori esposta nella sua *Micrographia* (pubblicata sette anni prima):

la luce non è altro che un impulso o un moto propagato attraverso un mezzo omogeneo, uniforme e trasparente e il colore non è altro che la perturbazione di quella luce dovuta [...] alla sua rifrazione; il bianco e il nero non sono altro che l’abbondanza o la scarsità dei raggi imperturbati della luce e i due colori [rosso e azzurro] [...] non sono altro che gli effetti di un impulso composto [...] causati dalla rifrazione.

Hooke non condivide l’idea di un gran numero di colori “primari”, perché reputa del tutto inutile

moltiplicare le entità senza necessità: dal momento poi che ho dimostrato altrove [*Micrographia*] che tutte le varietà dei colori nel mondo possono essere formate con l’ausilio di due [rosso e azzurro].

Ma i concetti di colori “primari” di Newton e di Hooke sono diversi. Per Newton i colori primari sono le componenti irriducibili ed elementari della luce, componenti che vengono disperse dalle proprietà fisiche di rifrazione della luce stessa. Per Hooke i colori primari sono quelli tradizionali dei pigmenti, che consentono di ottenere per mescolanza tutti gli altri colori e che non possono essere ottenuti da altri colori. Hooke non è d’accordo nemmeno sulla composizione della luce bianca per la quale Newton richiede i raggi di tutti i colori, mentre la luce di Hooke è quella tradizionale, semplice, omogenea e uniforme.

In definitiva per Hooke gli esperimenti di Newton sono validi, ma la loro spiegazione è solo un’ipotesi, così come è un’ipotesi la sua, di Hooke, il quale termina la recensione scrivendo che “se il sig. Newton avesse [...] una dimostrazione assoluta della sua teoria, sarei molto lieto di essere convinto con essa”. Newton, cercando di evitare la controversia, risponderà quattro mesi dopo con una lunga lettera suddivisa in dodici punti, nella quale si mostra infastidito dalle considerazioni di Hooke e ribadisce la propria spiegazione dei colori semplici e composti.

Nel frattempo era arrivata anche una lettera di un gesuita francese, Ignace-Gaston Pardies (1636-1673), che contestava a Newton la sua teoria ricordando anche (in una seconda lettera) che il confratello Grimaldi aveva ipotizzato che la luce procedesse, almeno qualche volta, in modo ondulatorio. La questione si era risolta velocemente perché la risposta di Newton aveva soddisfatto Pardies. All’inizio del 1673 nasce una nuova disputa con Christiaan Huygens (1629-1695) scienziato olandese già allora famoso, che aveva appena concepito la teoria ondulatoria della luce ma l’avrebbe pubblicata solo nel 1690 (la

sua teoria tuttavia non considera in alcun modo il colore). Oldenburg aveva sollecitato il parere di Huygens sulla teoria di Newton e in risposta Huygens osserva che potrebbero essere sufficienti soltanto due colori per generare tutti gli altri, il giallo (*yellow*) e l'azzurro (*blew*), perché questi

essendo soltanto più carichi (come sembrerebbe dai prismi del sig. Hooke) produrrebbero il rosso e l'azzurro scuro, e da questi quattro si può comporre il resto dei colori. Non capisco quindi perché il sig. Newton non si accontenti di due colori, giallo e azzurro.

I “prismi del sig. Hooke” sono contenitori in vetro di forma prismatica, descritti in *Micrographia*, che contengono liquidi gialli e azzurri. Anche per quanto riguarda la formazione della luce bianca Huygens scrive che “è possibile che il giallo e l'azzurro siano ancora sufficienti allo scopo”. Newton aspetta due mesi e infine risponde che dal giallo e dall'azzurro non possono essere derivati gli altri colori semplici “e se egli [Huygens] può mostrare con l'esperimento come ciò possa accadere, riconoscerò di essere in errore”. Newton aveva sostenuto che il bianco “è sempre composto e per la sua composizione sono richiesti tutti i suddetti colori primari, mescolati in qualche proporzione” ed ora risponde che ha già provato “a mescolare tutte le coppie di colori semplici e [...] nessuna tuttavia poteva veramente essere detta di color bianco”.

A questo punto Huygens non intende continuare la corrispondenza poiché gli pare che Newton “sostenga la sua dottrina con qualche fervore” e non intende polemizzare. La corrispondenza con Huygens (quattro lettere tramite Oldenburg nella prima metà del 1673) avrà tuttavia grande influenza su Newton, che sarà portato a riformulare

la propria teoria nell'*Opticks* in modo più rigoroso secondo il metodo assiomatico, con definizioni e proposizioni. Anche sulla composizione della luce bianca la corrispondenza con Huygens lo induce a scrivere che potrebbero essere sufficienti “pochi colori”. Oggi è noto che per ottenere una luce acromatica bastano due luci monocromatiche opportunamente scelte, per esempio giallo e azzurro, e dunque Huygens, su questo punto, aveva in parte ragione. In realtà, la questione è complicata dal fatto che la luce può essere quella del sole o di altri corpi luminosi e dal fatto che Newton non tiene conto, come dimostrerà Helmholtz, delle mescolanze dei due colori estremi dello spettro, cioè rosso e violetto (che mescolati danno i vari colori viola).

Nell'autunno del 1674 Oldenburg riceve un'altra lettera critica verso Newton. Arriva da Liegi e chi scrive è un anziano gesuita inglese, Francis Line alias Hall (1595-1675, latinizzato Franciscus Linus), che insegna nel collegio della città. Linus ipotizza che l'esperimento dello spettro sia stato fatto in un giorno nuvoloso o disturbato da qualche nuvola e forse con un posizionamento del prisma sbagliato. Newton si rifiuta di rispondere perché detesta questo genere di discussioni e l'insistenza di Linus lo irrita.

Nel dicembre del 1675 un'altra lettera da Liegi scritta da uno studente di Linus, John Gascoines, informa Oldenburg che Linus è morto, e che Gascoines stesso intende difendere l'onore del suo professore. Nel giugno 1676 arriva ancora una lettera da Liegi. Questa volta è un terzo gesuita inglese, Anthony Lucas (1633-1693) che, sollecitato da Gascoines, descrive una serie di esperimenti che, secondo lui, mettono in difficoltà la teoria di Newton. Gli esperimenti di Lucas non sono banali (avranno anche l'apprezzamento di Goethe) ma Newton è ormai stanco di essere coinvolto in dispute e non risponde. Nel 1676

si lamenta con Oldenburg

di essere diventato schiavo della filosofia, ma se riuscirò a liberarmi della questione del signor Linus, la saluterò risolutamente per tutta l'eternità, a parte quello che farò per mia privata soddisfazione, oppure farò in modo che venga pubblicata dopo di me.

Newton tiene fede alla sua parola, non pubblica più nulla sul colore, si dedica al tema della gravitazione e nel 1687 pubblicherà la sua opera più famosa *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* un'opera fondamentale per la fisica moderna. Solo 17 anni dopo, nel 1704, pubblicherà il trattato sulla luce e sul colore *Opticks* che contiene le basi della moderna scienza del colore.

14.6 Locke, le idee della mente e le qualità dei corpi

Nel 1689 Newton conosce il filosofo britannico John Locke (1632-1704) che proprio quell'anno aveva pubblicato in forma anonima *Two Treatises of Government* dopo la rivoluzione alla quale era seguita la dichiarazione dei diritti *Bill of Rights*. Newton instaura con Locke una duratura amicizia ed una lunga corrispondenza. Nel 1690 Locke pubblica *An Essay Concerning Human Understanding* considerato un manifesto anticipatore dell'Illuminismo, dove viene tra l'altro proposta una riflessione filosofica sulla distinzione tra qualità oggettive e qualità soggettive avviata da Galileo e legata alla critica sulle idee innate.

Inizialmente era stato il britannico Thomas Hobbes (1588-1679) con il suo *Leviathan* del 1651 ad opporsi al pensiero cartesiano che l'uomo fosse portatore di idee o principi innati. Ma il punto di riferimento

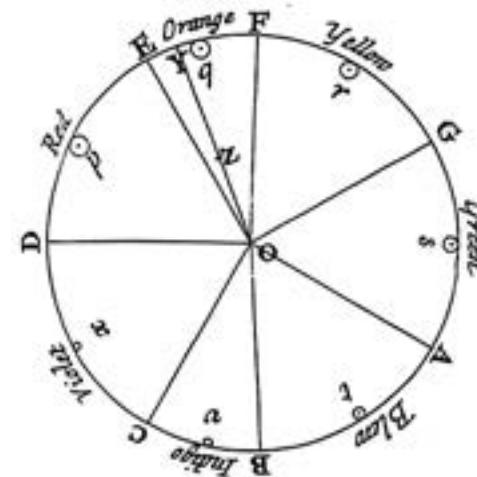


Figura 19 Il cerchio cromatico di Newton. Tratto da [Newton Opticks].

per questo argomento è diventato il saggio di Locke del 1690 al quale sono seguiti gli interventi di Berkeley e Hume. Questi filosofi, esponenti della corrente dell'empirismo inglese, ritengono, in forme diverse, che la nostra conoscenza si basi sull'esperienza dei sensi (come ritenevano i filosofi ellenistici epicurei e stoici) e non su informazioni presenti nella mente anteriormente all'esperienza (come ritenevano i filosofi platonici e cartesiani).

Per Locke la conoscenza della natura non è innata ma deriva dai nostri sensi (esterni e interni) attraverso i quali le qualità degli oggetti diventano nella nostra mente sensazioni. Le qualità primarie risiedono negli oggetti: solidità, estensione, figura, movimento, numero, e possono essere formulate in termini quantitativi e oggettivi. Le distanze (nello spazio) e le durate (nel tempo) possono essere misurate da strumenti (regoli e orologi) che forniscono grandezze oggettive. Altra cosa è la loro sensazione che può non corrispondere alla misura

oggettiva (distanze o durate uguali possono apparire diverse ad un osservatore) ma che mantiene una certa omogeneità con le grandezze oggettive. Le qualità secondarie, invece, non stanno negli oggetti, ma generano ugualmente sensazioni nella nostra mente. Dipendono in qualche modo dalle primarie nel senso che sono i poteri di combinarle producendo varie sensazioni che tuttavia non sono in alcun modo omogenee con le qualità primarie. Non sembrano misurabili e richiedono un riferimento al soggetto che le percepisce, ma non per questo perdono di validità. Galileo aveva fatto rientrare nelle qualità secondarie i colori, i suoni, i sapori e Locke riprende questo elenco.

Rispetto ai suoi predecessori Locke sposta la questione non tanto sul fatto che le qualità primarie stiano nell'oggetto e le secondarie solo nella mente, ma sul fatto che le qualità primarie producono sensazioni che sono simili o omogenee alle qualità che le hanno prodotte (e in questo senso sono oggettive), mentre le qualità secondarie producono sensazioni che assomigliano poco o niente alle qualità che le hanno prodotte (e in questo senso sono soggettive). Ma ciò non significa che siano di minor pregio rispetto alla primarie:

è evidente che esistono corpi [...] così piccoli che ci è impossibile [...] scoprire con i nostri sensi quali siano la loro dimensione, la figura o il movimento, come accade nel caso delle particelle d'aria e di acqua e di altre ancora più piccole [...] a questo punto si può supporre che i diversi movimenti e figure, dimensioni e numero di tali particelle [...] producano in noi quelle diverse sensazioni che deriviamo dai colori e dagli odori dei corpi [...] Infatti non è più difficile ipotizzare che Dio abbia connesso tali idee a quegli stimoli con cui esse non hanno alcuna similitudine, rispetto a quanto non lo sia ipotizzare che egli abbia congiunto l'idea del dolore

al movimento di una lama di acciaio che divide la nostra carne, movimento con il quale tale idea non ha alcuna somiglianza.⁸

Gli studi di Newton dimostrano che gli stimoli di colore sono qualità misurabili (quindi primarie) e generano le sensazioni di rosso, giallo, verde (qualità secondarie secondo Galileo) che sono assai diverse dalla misura dei loro stimoli (qualità secondarie secondo Locke). La sensazione di verde sta nella nostra mente, su questo sono tutti d'accordo, ma secondo Locke non è questo che rende il verde una qualità secondaria, ma il fatto che nel mondo fisico non ci sia nulla che assomigli alla sensazione di verde che sta nella nostra mente.

Nel 1709 il giovane filosofo irlandese George Berkeley (1685-1753) pubblica *An Essay towards a New Theory of Vision* in cui propone che gli oggetti propri della vista non siano gli oggetti materiali ma la luce e il colore. L'anno successivo pubblica *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge* nel quale porta alle estreme conseguenze la riflessione di Locke, sostenendo che non esiste alcuna differenza tra proprietà primarie, che si inserirebbero in un mondo materiale, e proprietà secondarie, che esisterebbero solo nella nostra mente. Per Berkeley le primarie non ci sono senza le secondarie, non c'è un'estensione che non sia colorata, e la solidità, la figura, il movimento, il numero, sono sensazioni esattamente come lo sono i colori e i suoni. Anche Kant nella *Critica della ragion pura* del 1781 sosterrà che non ci sia distinzione tra proprietà primarie e secondarie giacché tutte queste si predicano del fenomeno e non si collocano al di là di esso. Bertrand Russell nella *Storia della filosofia occidentale* del 1946 scrive che la teoria di Locke delle qualità è sbagliata ma è stata utile:

⁸ [Locke Understanding] libro I, cap. VIII, par. 13 "How secondary Qualities produce their ideas".

non solo le teorie valide di Locke, ma anche i suoi errori furono utili in pratica. Prendete, per esempio, la sua dottrina delle qualità primarie e secondarie [...] Le qualità secondarie sono solo in chi percepisce. Senza l'occhio non ci sarebbero colori, senza l'orecchio non ci sarebbero suoni [...] Berkeley rivelò che gli stessi argomenti possono applicarsi anche alle qualità primarie. Da Berkeley in poi il dualismo di Locke su questo punto è passato filosoficamente di moda. Nondimeno, dominò la fisica pratica fino alla recentissima scoperta della teoria dei quanti.

Alla scuola empirista inglese è spesso contrapposta la scuola innatista che fa capo a Cartesio, Spinoza e Leibniz. Il filosofo tedesco Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) protestante ed erede della cosiddetta “mistica renana”, aveva letto in inglese il saggio di Locke e dopo la traduzione in francese del 1700 lo aveva confutato, sempre in francese, nei *Nouveaux essais sur l'entendement humain* completati nel 1704 e pubblicati postumi nel 1765. Leibniz contesta la critica di Locke all'innatismo perché il sensibile è illusorio e va ricondotto a un intelligibile sottostante: la realtà è costituita dalle “monadi”, sostanze spirituali indivisibili, un termine ripreso da Giordano Bruno e un concetto già presente in Plotino.

14.7 L'esperimento mentale dello spettro invertito

Locke è anche l'inventore di un esperimento filosofico mentale sul colore che è passato sotto il nome di “spettro invertito”. Supponiamo che un bambino sia nato con una caratteristica particolare: per lui l'ordine dei colori nello spettro cromatico è invertito. Il bambino percepisce come violetto quello che la mamma percepisce come rosso, ma siccome la mamma lo chiama rosso, anche lui lo chiama rosso.

Questa situazione invertita si verifica per ogni altro colore. Il bambino risponde bene, nel nostro stesso modo, alle domande sui colori dello spettro ma percepisce i colori alla rovescia. C'è un modo per scoprire che il suo spettro è invertito? No, non c'è nessun modo per scoprirlo. Il bambino ha una percezione invertita dello spettro ma parla esattamente come noi. Funzionalmente non vi è alcuna differenza: chiama rossi gli oggetti che per tutti sono rossi e si comporta di conseguenza, e nessuno, lui compreso, potrebbe pensare che c'è un problema nel modo in cui percepisce le cose.

Questo esperimento mentale fa capire che i colori non sono solo il risultato del modo in cui lo stimolo luminoso viene soggettivamente elaborato. Non sono qualità causate dalle cose in sé, né sono costruzioni totalmente mentali. Quel qualcosa di non cognitivo, di non funzionale che contiene la sensazione soggettiva del rosso è quello che i filosofi moderni chiamano qualia.

14.8 *Opticks*, il cerchio cromatico e la regola del baricentro

Vent'anni dopo la celebre lettera alla Royal Society del 1672 Newton inizia a riordinare le sue idee sulla luce e sul colore ripetendo i precedenti esperimenti fatti con gli specchi, le lenti e i prismi e scrive un'opera che verrà pubblicata nel 1704, esattamente cento anni dopo un'altra famosa pubblicazione di ottica, *Ad Vitellionem Paralipomena* di Keplero. L'opera di Newton è scritta in inglese, porta il titolo *Opticks or a treatise on the Reflexions, Inflexions and Colours of Light* e consiste di tre libri: il I (in due parti) si occupa della riflessione, rifrazione e dispersione della luce con analisi e sintesi dei colori, della

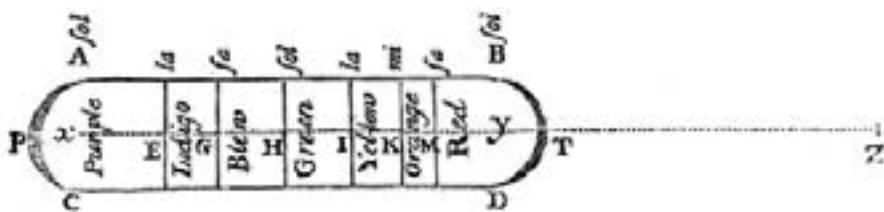


Figura 20 Colori e note musicali secondo Newton. Violetto è indicato come *purple*.

natura dell'arcobaleno e dei telescopi a riflessione; il II (in quattro parti) tratta delle colorazioni delle lamine sottili; il III contiene uno studio sulla diffrazione (che Newton chiama *inflexion*) scoperta da Grimaldi e questioni di carattere tecnico.⁹

Hooke, il suo più tenace contestatore, era morto l'anno precedente e, memore delle obiezioni di Huygens, Newton fa propria la posizione di Locke sul fatto che esiste un mondo fisico, reale, oggettivo che è lo stesso per tutti, e per ognuno di noi esiste anche un mondo personale, soggettivo, interiore. La luce appartiene al mondo fisico esterno e il colore appartiene al mondo personale interiore e

se qualche volta parlo della luce e dei raggi come colorati o come imbevuti di colori, dovrebbe essere chiaro che non parlo filosoficamente [cioè scientificamente] e con proprietà, ma in modo grossolano [*grossly*], e in accordo con quelle concezioni che la gente comune sarebbe portata a formarsi nel vedere tutti questi

9 Da segnalare che nel 1703, un anno prima che Newton pubblicasse l'*Opticks*, il medico danese Caspar Bartholin il Giovane (1655-1738) in *Specimen philosophiæ naturalis, præcipua physices capita exponens* sostiene alcune idee moderne sul colore: c'è una sola categoria di colori, e sono i colori apparenti, perché non esistono fuori dall'occhio, bianco e nero non sono colori perché non derivano dalla riflessione della luce e i colori primari sono rosso, giallo e azzurro.

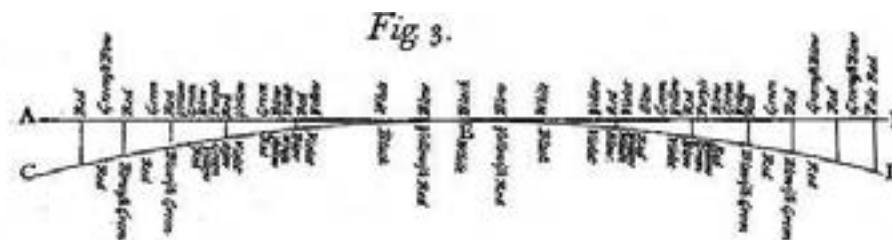


Figura 21 Colori dei film sottili secondo Newton. Tratta da *Opticks*, libro II, parte IV.

esperimenti. Infatti i raggi, parlando con proprietà, non sono colorati. In essi non c'è altro che un certo potere e disposizione a stimolare una sensazione di questo o quel colore.¹⁰

Su questa linea, il I libro dell'*Opticks* inizia con due distinte definizioni, la prima per le luci omogenee ed eterogenee (che sono concetti fisici):

Chiamo semplice [*simple*], omogenea [*homogeneous*] e uniforme [*similar*] la luce i cui raggi sono tutti ugualmente rifrangibili; e chiamo composta [*compound*], eterogenea [*heterogeneous*] e dissimile [*dissimilar*] quella i cui raggi sono diversamente rifrangibili.¹¹

e la seconda per i colori semplici e composti (che sono concetti percettivi):

Chiamo primari [*primary*], omogenei [*homogeneous*] e semplici [*simple*] i colori della luce omogenea; ed eterogenei [*heterogeneous*] e composti [*compound*] quelli della luce eterogenea.¹²

10 [Newton Ottica] Libro I, parte II, Definizione (che precede la proposizione III, problema I).

11 [Newton Ottica] Libro I, parte I, Definizione VII

12 [Newton Ottica] Libro I, parte I, Definizione VII

Chiarita la nomenclatura di base, che aveva procurato qualche guaio nel passato, ed elencati gli assiomi e alcune proposizioni, nella II parte del I libro Newton riformula la teoria sul colore proposta nella lettera alla Royal Society. Ma la novità sta nella proposizione VI, problema II, dove appare per la prima volta nella storia del colore un diagramma circolare da allora detto “cerchio cromatico di Newton” (Figura 20).¹³ È un modello matematico della sensazione del colore con il bianco al centro e i colori dello spettro sulla circonferenza, l'atto di nascita della moderna colorimetria psicofisica.

Newton ha avuto la brillante idea di curvare lo spettro e di far toccare tra loro i colori estremi, il rosso ed il violetto, ovviamente perché ha giudicato che vengano percepiti come colori “contigui” o quasi. Dunque le luci semplici e i relativi colori semplici sono posizionati sulla circonferenza del cerchio e passano gradualmente “l'uno nell'altro, come fanno allorché sono prodotti dai prismi” ma il cerchio è suddiviso in sette settori e l'arco di ogni settore contiene “tutte le gradazioni” di un dato colore semplice. Per esempio l'arco da F a G contiene tutte le gradazioni di giallo, da quelle più tendenti all'arancio a quelle più tendenti al verde, con il giallo più rappresentativo in centro. In G c'è il colore intermedio tra il giallo e il verde e da G ad A ci sono tutti le gradazioni di verde, da quelle più tendenti al giallo a quelle più tendenti all'azzurro, con al centro il verde più rappresentativo. Le ampiezze dei settori sono state disegnate in modo che siano proporzionali ai sette intervalli tonali di una ottava. Newton sa che la divisione del cerchio in sette settori è arbitraria e scrive di aver proceduto così perché questo modo è comodo per i calcoli, “sebbene

¹³ Il cerchio di Newton è simile al cerchio musicale tracciato da Cartesio in *Compendium Musicae* del 1650.

non matematicamente rigoroso”.

I sette gruppi di colori semplici posti sulla circonferenza vanno da rosso (*red* in inglese, *rubeus* in latino) a violetto (*violet, violaceus*) passando in senso orario per arancione (*orange, aureus*), giallo (*yellow, flavus*), verde (*green, viridis*), azzurro (*blew, caeruleus*), indaco (*indigo, indicus*). Tra gli archi del violetto e del rosso Newton pone un ulteriore colore viola (*purple, purpureum*) che non è semplice ma composto appunto da violetto e rosso ed è rappresentato da un singolo punto sulla circonferenza. È un'eccezione, l'unico colore composto che sta sulla circonferenza. All'interno del cerchio ci sono tutti gli altri colori composti, cioè i colori che si ottengono mescolando tra di loro i colori semplici (esclusa la coppia rosso-violetto) in varie proporzioni. Non ci sono altri tipi di colori oltre ai semplici e ai composti. Nell'*Opticks* Newton ribasce questo concetto già presente nella lettera a Oldenburg di 32 anni prima:

tutti i colori dell'universo che sono prodotti dalla luce, e non dipendono dal potere dell'immaginazione, sono o i colori di luci omogenee oppure composti di essi.¹⁴

Al centro del cerchio c'è il bianco (che è composto), e su ogni raggio che unisce il centro con un (grado di) colore semplice o con il viola sono posti i vari gradi di pienezza (*fulness*) o intensità (*intensity*) di tale colore, dal bianco (pienezza nulla) al colore semplice o al viola stesso (pienezza massima).

In definitiva il cerchio cromatico è un modello matematico che mette in relazione ogni luce (stimolo fisico del colore) con la sensazione di

¹⁴ [Newton Ottica] Libro I, parte II, Proposizione VII, Teorema V.

colore da essa generata. Questo fatto si può sistematicamente riassumere nella tabella che segue, nella quale la prima colonna riguarda lo stimolo fisico, la terza gli attributi della sensazione e quella centrale la parte del diagramma che rappresenta la relazione tra stimolo e sensazione.

Stimolo fisico di colore	Cerchio cromatico	Sensazione di colore
luce omogenea	un punto sulla circonferenza, escluso il punto del viola	tinta (<i>hue</i>)
luce eterogenea	un punto all'interno della circonferenza, oppure il punto del viola	
numero di raggi (peso)	piccolo cerchio attorno ad un punto sulla circonferenza	brillanza (<i>brightness</i>)
	distanza dal centro	pienezza (<i>fulness, intensesness</i>)

Newton fornisce anche la regola per calcolare il risultato della mescolanza di due colori qualunque nel cerchio. Ogni colore è rappresentato da un punto nel cerchio e da ciò che Newton chiama *numbers of rays* (il “peso”) senza specificarne esattamente il significato. La regola per trovare la mescolanza (che oggi chiamiamo additiva) di due o più colori consiste nel calcolare il centro di gravità o baricentro dei punti che rappresentano i colori assumendo come masse i rispettivi pesi.

Per esemplificare Newton prende i colori semplici centrali di ognuno dei sette settori e intorno ad ognuno dei sette punti traccia un cerchio la cui area ha il significato di peso del rispettivo colore (nell'esempio in figura il peso del rosso è 1, arancio 6, giallo 5, verde 3, azzurro 2, indaco 1, violetto 1). Il baricentro comune di questi punti si trova nel punto Z, che rappresenta una gradazione di arancio composto, di pienezza medio-bassa. Il che significa che la mescolanza dei sette colori in quei pesi dà quell'arancio composto. Newton fa notare che la

stessa gradazione di arancio ottenuto mescolando i sette colori semplici può essere ottenuta anche mescolando quell'arancio semplice con il bianco, cioè

si tratta di un tale arancio quale può essere formato mescolando un arancio omogeneo con un buon bianco nella proporzione della linea OZ alla linea ZY: questa proporzione essendo relativa non alla quantità di polveri arancione e bianche mescolate, bensì alle quantità delle luci riflesse da esse.¹⁵

È una osservazione molto importante: gli stimoli fisici che generano l'arancio sono diversi ma le due sensazioni sono uguali, sono lo stesso arancio. Il cerchio cromatico con la regola del baricentro ha dunque questa conseguenza: gli stimoli che possono generare una data sensazione di colore sono numerosi e c'è una relazione molti-a-uno tra gli stimoli di colore e le sensazioni di colore. È un fenomeno estremamente importante, al quale nel 1919 Ostwald darà il nome di “metamerismo”.

Il modello spiega anche l'osservazione che Newton stesso aveva fatto nel sesto punto della lettera alla Royal Society del 1672, cioè il fatto la mescolanza di due colori semplici abbastanza vicini tra loro dà luogo ad un colore che ha la stessa tinta del colore semplice intermedio. Infatti il colore che si trova con la regola del baricentro sta sulla corda che unisce i due colori che si mescolano e sta quindi sullo stesso raggio del colore semplice intermedio ma è più vicino al bianco, dunque meno pieno. Tutto ciò vale se il baricentro non cade sul confine tra rosso e violetto, perché in tal caso il risultato è un colore composto, il viola.

¹⁵ [Newton Ottica] Libro I, parte II, Proposizione VI.

Ancora oggi usiamo il cerchio di Newton, in una forma modificata e corretta nel tempo (è il cosiddetto “diagramma delle cromaticità xy ”). Le modifiche più importanti sono tre. La prima riguarda la posizione dei colori spettrali che non sono più in relazione con gli intervalli musicali. La seconda riguarda la forma circolare che è solo una approssimazione. La terza riguarda il viola, il punto in cui Newton ha congiunto i due estremi, rosso e violetto, dello spettro. Questa operazione non è corretta perché mescolando rosso e violetto si possono ottenere diversi colori viola, che Newton trascura, restringendoli ad un singolo punto sul cerchio anche se sa che i viola sono tanti e diversi:

Infine, se vengono mescolati il rosso e il violetto, verranno generati, in accordo con le loro diverse proporzioni, vari viola, tali che non sono simili, all'apparenza, al colore di una qualsiasi luce omogenea.¹⁶

L'incongruenza di Newton verrà corretta da Helmholtz 150 anni dopo ma nel frattempo l'idea del cerchio cromatico accompagnato dalla legge del baricentro non viene invalidata.

14.9 La formazione del bianco

Nella lettera del 1672 Newton aveva insistito sul fatto che la luce del sole non è omogenea (perché costituita da raggi diversamente rifrangibili) e quando viene dispersa appaiono tutti i colori semplici. Per riottenere la luce bianca è necessario riaggregare nella giusta proporzione tutti i raggi che generano i colori semplici.

¹⁶ [Newton Ottica] Libro I, parte II, Proposizione VI.

La prima di queste affermazioni era sorprendente ai tempi di Newton, ma facilmente verificabile. La seconda affermazione invece era stata contestata da Hooke e da Huygens che avevano avanzato l'ipotesi che fosse possibile ottenere luce bianca con due soli colori (giallo e azzurro). Per prudenza nell'*Opticks* del 1704 Newton restringe la propria teoria alla luce del sole. Può essere possibile generare il bianco anche da due colori semplici, ma non sarà il bianco della luce del sole (che contiene tutti i colori) e in ogni caso “[io] non sono mai riuscito” a farlo:

Anche se soltanto due dei colori primari, che nel cerchio sono opposti l'uno all'altro, vengono mescolati in proporzioni uguali, il punto Z cadrà sul centro O e tuttavia il colore composto da quei due non sarà perfettamente bianco, ma alquanto debole e anonimo. Infatti non sono mai riuscito a produrre un bianco perfetto mescolando soltanto due colori primari. Non so se esso può essere composto con una mescolanza di tre, presi ad uguale distanza sulla circonferenza, tuttavia non dubito che il bianco possa essere fatto con quattro o cinque. Ma queste sono curiosità di poco o di nessun conto per la comprensione dei fenomeni della natura. Infatti tutti i bianchi prodotti in natura [cioè dalla luce del sole] sono soliti essere una mescolanza di tutti i tipi di raggi, e di conseguenza una composizione di tutti i colori.¹⁷

Newton passa dunque dal concetto generale di luce bianca al concetto particolare di luce bianca del sole, creando due generi di luce bianca, quella naturale del sole e tutte le altre luci bianche “innaturali”.

¹⁷ [Newton Ottica] Libro I, parte II, Proposizione VI. Problema II, pp. 416-417.

14.10 I colori degli oggetti

Newton basa tutta la sua teoria sui colori della luce ma già nella lettera alla Royal Society aveva scritto che i colori degli oggetti non sono loro proprietà fisiche ma sono generati dalle particelle di luce che vengono riflesse e arrivano al nostro apparato visivo, nel quale c'è qualcosa che permette alla luce di disperdersi come accade col prisma. Nell'*Opticks* precisa che questo è il motivo per il quale possiamo vedere i singoli colori, e i colori al buio non esistono, essendo prodotti dalla luce. I colori degli oggetti sono una loro disposizione

a rifrangere questo o quel tipo di raggio più copiosamente di altri; nei raggi essi altro non sono che la loro disposizione a propagare questo o quel moto nell'apparato sensoriale, e nell'apparato sensoriale essi diventano sensazioni di quei moti sotto forma di colori.¹⁸

Nell'esperimento 15 della II parte del I libro Newton cerca di mescolare polveri colorate in modo da ottenere il bianco. La combinazione più efficace è una mescolanza di arancio, viola, verde e azzurro che diventa "di un colore uguale, quanto al bianco, a quello delle ceneri, o del legno tagliato di recente, o della pelle dell'uomo". La mescolanza non appare bianca come un foglio e ciò è dovuto, secondo Newton, al fatto che le polveri colorate assorbono una parte considerevole della luce che le illumina e ne riflettono una quantità inferiore rispetto ad un foglio bianco e quindi il loro colore appare grigio come se provenisse da una mescolanza di bianco e di nero. Newton assume che non ci sia differenza sostanziale tra mescolare polveri colorate e

¹⁸ [Newton Ottica] Libro I, parte II, Definizione (che precede la proposizione III, problema I).

mescolare luci, ma l'esperienza dimostrerà che l'idea non è corretta e le mescolanze di polveri seguono leggi diverse da quella della mescolanze di luci.

14.11 Colori come note musicali

Newton è convinto che la proporzione dei sette principali colori semplici sia analoga a quella delle sette note musicali e non riesce a sottrarsi a questa analogia. Considera naturale dividere il cerchio cromatico in settori le cui ampiezze sono proporzionali "alle sette note musicali o intervalli degli otto suoni sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol contenuti in un'ottava" ossia proporzionali agli inversi di 9, 16, 10, 9, 10, 16, 9. Ogni settore rappresenta un gruppo di colori semplici. Ne aveva già data una esposizione alla Royal Society (Figura 21) in una lettera del 1675 in cui scriveva che

è possibile che il colore possa essere distinto nei suoi principali gradi, rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto scuro, con lo stesso principio per cui il suono in una ottava è graduato in toni.¹⁹

Nel II libro dell'*Opticks* del 1704, dove discute le lamine sottili (Figura 22), torna sull'argomento:

mi sembra di poter ricavare che lo spessore dell'aria tra i vetri, dove l'anello viene successivamente formato dai limiti dei cinque principali colori (rosso, giallo, verde, azzurro, violetto) [...] sono tra loro con molta approssimazione come le sei lunghezze di una corda

¹⁹ La lettera è stata pubblicata nella *History of the Royal Society of London* del 1757 curata da Thomas Birch, vedi [Gage 1990] p. 140.

musicale che in una sesta maggiore produce le note sol, la, mi, fa, sol, la.²⁰

Questa osservazione è certamente stata di stimolo per gli studi di Castel e Rameau sul colore associato alla musica, e anche Helmholtz due secoli dopo appoggerà l'idea che gli intervalli tra i colori possano essere simili agli intervalli tra le note. Nei suoi esperimenti sui film sottili Newton aveva riconosciuto che certi colori nelle lamine sottili appaiono in opposizione, e che le coppie opposte esibiscono la forma più semplice di armonia. John Gage commenterà che

sembra chiaro che, nonostante gli sforzi di Newton di fare esperimenti "oggettivi", la separazione dei sette colori prismatici era essa stessa il risultato della analogia musicale alla quale si era interessato per alcuni anni. Il concetto del carattere particolarmente armonico della combinazione di oro e azzurro (spostato a indigo nell'*Opticks* dove viola è stato rinominato violetto) e la dissonanza di rosso e azzurro non hanno altra giustificazione di quella della loro posizione relativa nella scala di Newton.²¹

14.12 Terminologia del cerchio cromatico

La terminologia è sempre stata problematica nello studio del colore (lo è ancora oggi). Newton utilizza i termini *fulness* (pienezza) o *intenseness* (intensità) per indicare il grado di mescolanza di un colore semplice con il bianco e *quantity* (quantità) per indicare l'intensità di un colore.

²⁰ [Newton Ottica] Libro II, oss. 14.

²¹ [Gage 1999] p. 140.

Il suo giovane amico e collega alla Royal Society, il matematico Brook Taylor (1685-1731) in una appendice del suo breve libro del 1715 *New Principles of Linear Perspective* intitolata "A New Theory for Mixing of Colours, taken from Sir Isaak Newton's Opticks" chiama *perfect* un colore semplice e *less perfect* o *brocken* un colore semplice mescolato con il bianco. Distingue poi in un colore due attributi: *strength of light and shadow* ("che gli italiani chiamano chiaroscuro") e *hue* (tinta). La tinta a sua volta comprende la *species of colour* (tinta propriamente detta) e la *perfection and imperfection of colour under the same species* (saturazione).

La situazione è riassunta nella seguente tabella nella quale sono riportati anche i termini moderni, in inglese e in italiano.

Newton (1704)	Taylor (1715)		Moderni	
			inglese	italiano
<i>quantity, number of rays</i>	<i>strength of light and shadow</i>		<i>brightness</i>	brillanza
<i>simple color</i>	<i>hue</i>	<i>species of colour</i>	<i>hue</i>	tinta
<i>fulness, intenseness</i>		<i>perfection and imperfection of colour under the same species</i>	<i>saturation</i>	saturazione

14.13 Estimatori ed avversari di Newton

Nella seconda parte del Settecento le idee di Newton sul colore hanno avuto estimatori e avversari. L'elenco degli appartenenti all'una e all'altra parte è lungo e Goethe, che è antinewtoniano, nella *Storia dei colori* li nomina tutti, uno per uno. Tra i sostenitori di Newton ci sono due amici che frequentano il circolo di intellettuali di Federico II di Prussia (1712-1786) a Sanssouci, Voltaire e Algarotti.

Il filosofo francese Voltaire (pseudonimo di François-Marie Arouet, 1694-1778) pubblica ad Amsterdam nel 1738 *Elémens de la philosophie de Neuton mis à la portée de tout le monde*. Goethe scriverà che “l’esposizione è pacata, a volte scherzosa [...] ma è anche per contro incredibilmente scialba e contorta e [...] le figure allegate sono pessime”. Sempre Voltaire nelle *Lettres Philosophiques* scrive che “Newton, con il solo aiuto del prisma ha dimostrato che la luce è un insieme di raggi colorati che assieme danno il colore bianco”. L’omaggio di Voltaire fa parte della tradizione culturale francese che apprezza l’opera di Newton sulla luce e il colore (mentre considera negativamente quella di Goethe).

Il libro di Voltaire era stato ispirato da un’opera divulgativa che il veneziano Francesco Algarotti (1712-1764) aveva concepito verso l’età di 23 anni *Il newtonianismo per le dame ovvero dialoghi sopra la luce e i colori*, pubblicata per la prima volta a Napoli nel 1737 e poi più volte ristampata e tradotta in francese, tedesco, inglese, portoghese e russo. L’opera è composta da sei dialoghi che si svolgono tra un cavaliere e una marchesa in cinque giorni consecutivi in una località vicina al lago di Garda nella Repubblica di Venezia. Contiene la descrizione di alcuni esperimenti di Newton sulla luce e il colore ed è stata uno dei canali attraverso i quali le nuove idee hanno raggiunto il pubblico non specialista in Europa. Gli storici della scienza l’hanno giudicata superficiale ma come testo divulgativo è stato un successo. Savelli scrive che Algarotti

prospetta l’ottica di Newton come il più bello e maturo frutto del metodo di Galileo; contrapponendo questo metodo al dommatismo di Descartes e dei cartesiani, i quali avevano finito per costruire una setta di seguaci non meno testardi e zelanti di quelli di Aristotele, e

tanto più risibili quanto più dello stesso vizio si beffavano in altri.²²

Nel 1752 esce una nuova edizione con il titolo *Dialoghi sopra l’ottica newtoniana* e con dedica a Federico II di Prussia del quale, nel frattempo, Algarotti era diventato amico. Al suo nome è legata anche una vicenda che riguarda i prismi usati da Newton per i suoi esperimenti. Nel 1770 il suo biografo scrive che Algarotti aveva fatto tre viaggi in Inghilterra e in quello del 1734 ebbe in dono da Catherine Conduit, erede di Newton, tre prismi dei quali lo scienziato si era servito per le sue esperienze “i quali prismi si conservano ancora nella casa Algarotti”.²³ Dopo alcune vicende ereditarie i prismi sono stati acquisiti verso la fine del Novecento dal Museo Civico di Treviso, dove sono ancora oggi conservati in una cassetta con impressa la data 1734 e le lettere INPFA (Isaac Newton Present Francesco Algarotti). Non c’è prova che si tratti proprio dei prismi appartenuti a Newton, ma è molto probabile che lo siano.²⁴

Algarotti faceva parte della cosiddetta *Schola riccatiana*, un ambiente di intellettuali cresciuto attorno al matematico e fisico trevigiano Jacopo Riccati (1676-1754) e ai suoi figli. Della *Schola riccatiana* faceva parte anche il matematico e fisico Giovanni Rizzetti (1675-1751) che, al contrario di Algarotti, è tra i primi e più decisi critici di Newton. Rizzetti pubblica a Treviso nel 1727 *De luminis affectionibus, specimen physico mathematicum* dove contesta la teoria dei colori dell’*Opticks*, suggerendo alcuni esperimenti che potrebbero falsificare l’interpretazione. L’opera di Rizzetti trova avversari ovunque,

22 [Savelli 1951] p. 5.

23 [Michelessi 1770]

24 [Bailo 1885], [Ronchi 1957]

in Germania, in Inghilterra, in Francia, in Italia, ma sarà apprezzata da Goethe che nella *Storia dei colori* scriverà “quest’opera non dovrà in futuro rimanere sconosciuta a nessuno studioso della teoria dei colori” e riconoscerà in Rizzetti “il primo ad aver enunciato in modo compiuto ed efficace [...] quelle che in materia di teoria dei colore sono pure le nostre convinzioni”. Infatti Rizzetti cita nella sua opera il colore “immaginario” o “fantastico” intendendo quello che Buffon chiamerà “accidentale” e Goethe “fisiologico”.

Rizzetti aveva dedicato il suo libro al cardinale francese Melchior de Polignac (1661-1741) che era stato inizialmente un avversario di Newton ma successivamente aveva cambiato idea e si era convinto. Membro dell’*Académie royale des sciences*, il cardinale è noto per il poema latino *Anti-Lucretius* che utilizza la struttura del *De rerum natura* per trattare argomenti antimaterialistici, il che aveva fatto dire a Voltaire che “sfortunatamente per lui, combattendo Lucrezio, combatte Newton”. Nel 1741 Rizzetti pubblica a Venezia un *Saggio dell’antinewtonianismo sopra le leggi del moto e dei colori* sui temi dei fenomeni celesti e dei colori e nel 1746 anche Leonardo Eulero (1707-1783) scrive *Nova Theoria Lucis et Colorum* nel quale si oppone alle tesi di Newton e appoggia quelle di Huygens.

14.14 La nuova scienza del colore

La regola del baricentro per calcolare il risultato della mescolanza dei colori delle luci è la scoperta più brillante che sia mai stata fatta nel campo della scienza del colore. Ha permesso di trattare i colori associati ad uno stimolo, sia quelli spettrali che quelli non spettrali, in modo numerico con un modello che è ancora oggi alla base

della colorimetria. Per la storia del colore, il cerchio cromatico è più importante della stessa spiegazione della dispersione della luce mediante il prisma, che è stata una rivelazione epocale, ma riguardante principalmente lo studio della luce come causa del colore, e più limitatamente la sensazione di colore. Il cerchio cromatico è invece il modello matematico proprio della sensazione di colore, ed è interessante notare quanto la difformità tra questi due modelli, lineare quello della luce, circolare quello del colore, possa suggerire la misura della diversità tra sensazione e stimolo fisico che la causa. Almeno per quanto riguarda il colore, percepiamo il mondo diversamente da come esso è.

Nel cerchio cromatico sono contenuti i principi della moderna colorimetria, ma il modello era da perfezionare e Newton stesso era conscio del fatto che la regola del baricentro fosse “abbastanza rigorosa per la pratica, sebbene non matematicamente rigorosa”.²⁵ Negli anni successivi numerosi scienziati inizieranno a studiare a fondo il cerchio cromatico. Soprattutto a partire dall’Ottocento, da parte di Helmholtz e Maxwell, il cerchio verrà perfezionato, modificato, messo a punto, e il diagramma delle cromaticità che verrà approvato nel 1931 dalla *Commission Internationale d’Eclairage* sarà il punto di arrivo di quasi 250 anni di studi del cerchio di Newton. Il cui merito, in questo percorso, è stato quello di aver fissato i principi della scienza del colore, e di aver lucidamente previsto che

se quei principi sono tali che a partire da essi un matematico può determinare tutti i fenomeni dei colori che possono essere causati dalla rifrazione [...] io suppongo che la scienza dei colori sarà

²⁵ [Newton Ottica] Libro I, parte II, proposizione VI, problema II.

ammessa matematicamente".²⁶

Cristalli e prismi che riproducono l'arcobaleno			
Anno	Autore	Testo	Commento
64	Seneca (4 aC-65 dC)	<i>Naturales quaestiones</i>	"...spesso si costruiscono bastoncini di vetro [<i>virgula</i>] con delle scanalature o nodosi e con molti spigoli simili a una clava: se il sole li colpisce trasversalmente, questi riflettono un colore tale quale di solito appare nell'arcobaleno [...] lì c'è non un'immagine del sole, ma un'imitazione del suo colore per riflessione".
70	Plinio il vecchio (23-79)	<i>Naturalis historia</i> .	"...[una certa pietra di cristallo] prende il nome di iride [<i>iris</i>] perché quando colpita dai raggi del sole in un punto coperto proietta sulla parete più vicina la forma e i diversi colori dell'arcobaleno".
250	Solino (III secolo)	<i>Collectanea rerum memorabilium</i>	"...si trova anche nel mar Rosso la pietra iride esagonale come il cristallo [<i>iridem sicut crystallum sexangulatam</i>]: questa colpita dai raggi solari, riflettendo l'aria di colore rosso, fa apparire la forma dell'arcobaleno.
630	Isidoro (560-636)	<i>Etymologiae sive origines</i>	L' iride [<i>iris</i>] è una gemma che nasce in Arabia, nel mar Rosso. È di colore cristallino e presenta sei angoli [<i>coloris crystallini, sexangulata</i>]. Il suo nome fa riferimento ad un fenomeno caratteristico: questa pietra, infatti, se posta al di sotto di un tetto e percossa dai raggi solari, riflette sulla parete vicina l'immagine ed i colori dell'arcobaleno.
1240?	Alberto Magno (1206-1280)	<i>De mineralibus</i> I, ii, 2	"Diciamo quindi che tutte le pietre trasparenti sono generate da una grande quantità di aria e di acqua[...] e questo è il caso della trasparenza del cristallo, del berillo, del diamante e della pietra che si chiama iride [<i>lapidis qui vocatur iris</i>]."
		<i>De mineralibus</i> II, ii, 8	Cristallo della Renania [<i>montibus Germaniae qui sunt inter Rhenum fluvium et Trevirensis civitatem</i>] che, colpito dalla luce del sole, getta sulla parete opposta un arcobaleno e per questo suo comportamento viene chiamato appunto iride [<i>propter quod Iris vocatur</i>], cioè arcobaleno.
		<i>Commentario alla Meteorologia di Aristotele</i> III, iv, 19	Distingue tra il cristallo esagonale chiamato iris e il cristallo angulosa longa che dovrebbe essere quello triangolare, con le stesse proprietà di quello esagonale.

1247	Roger Bacon (1214-1292)	<i>Opus maius</i> VI, 2	I colori ottenuti con un cristallo esagonale [<i>lapides, qui vocantur irides</i>] non sono apparenti ma oggettivi, stabili e reali come quelli dei corpi. Diverso è invece il caso dell'arcobaleno, il cui colore esiste solo quando c'è qualcuno che lo guarda, ed è quindi causato da un difetto della vista, come avviene in altri casi analoghi: si possono vedere infatti i colori dell'arcobaleno osservando, con gli occhi socchiusi, le gocce di rugiada o un raggio solare che penetra in una stanza buia attraverso un foro.
1269-1272	Witelo (1230-1275)	<i>Perspectiva</i>	Usa un cristallo esagonale e osserva che i raggi azzurri sono rifratti più di quelli rosso, ma si rende conto che si tratta di un sistema troppo complesso. Oscura allora tre facce e identifica tre colori, gli stessi di Aristotele.
1277-1279	John Peckham (1230-1292)	<i>Perspectiva communis</i>	"...cadat radium Solaris per foramen rotundum, certum est, quod erit rotundus: opponatur ei lapis hexagonus , generans colores Iridis , certum est, quod generat iridem, eamque non in figura radij, quae est orbicularis, sed in figura lapidis, quae est columnaris..."
1304-1311	Teodorico di Freiberg (1250-1310)	<i>De iride et radialibus impressionibus</i>	" lapis hexagonalis , quem iridem vocant [...] Modus autem iste dictae radiationis experimento percipitur, si quis lapidem crystallinum sphaericum , quem berillum vocant..."
1503	Gregor Reisch (1467-1525)	<i>Margarita philosophica</i>	"...un berillo [...] che sia di sei angoli opposto..."
1550	Girolamo Cardano (1501-1576)	<i>De subtilitate</i>	I colori del cristallo triangolare o prisma (<i>crystallum trigonam seu prisma</i>) sono dovuti all'immaginazione della vista (<i>oculi aspectus</i>) e non sono veri. Appare per la prima volta il termine "prisma" e l'aggettivo "triangolare".
1557	Giulio Cesare Scaligero (1484-1558)	<i>Exotericarum exercitationum</i>	"Tum subdis crystallum trigonam Soli expositam non fictos, sed veros colores transmissuram."
1558	Giovanni Battista Della Porta (1535-1615)	<i>De refractione</i>	Riporta per la prima volta il disegno di un prisma triangolare .
1559-1611	Marco Antonio De Dominis (1560-1623)	<i>De radiis visus et lvcis in vitris perspectivis et iride tractatus</i>	Cita il cristallo triangolare (<i>chrystallo trigona</i>).
1570	Bernardino Telesio (1509-1588)	<i>De colorum generatione</i>	Cita il cristallo faccettato (<i>serratili vitro</i>).

26 Lettera di Newton a Oldenburg per Hooke dell'11 giugno 1672

Capitolo 14

1581	Filippo Mocenigo (1524-1586)	<i>Universales Institutiones</i>	Cita il crystallo triangolare (<i>vitro terso ac triangulari, solaribus radijs objecto evenire soler</i>).
1601	Guido Scarmiglioni (1550?-1620)	<i>De coloribus</i>	Cita il crystallo triangolare (<i>crystallus triquetra, vitri trigoni, crystallo trigona</i>) e questo potrebbe indicare che con il prisma ha compiuto esperimenti.
1604	Thomas Harriot (1560-1621)	non pubblicato	Misura i gradi di rifrazioni dei raggi verdi, arancio e rossi in un cristallo triangolare di un certo Cope (Mr Cope's Cristall). [Gage 1999], p. 131.
1606	Henry Peacham (1576-1643)	<i>The Gentleman's Exercise</i>	"a most pleasant and delightfull experiment wee may perceiue in a three square cristal prisme "
1609	Louis Savot (1579-1640)	<i>Nova [...] de causis colorum sententia</i>	Cita il vetro prismatico (<i>iucundissimo experimeto ex primate vitreo</i>).
1623	Galileo Galilei (1564-1642)	<i>Saggiatore 21</i>	"...Il prisma triangolare cristallino , appressato agli occhi, ci rappresenta tutti gli oggetti tinti de' colori dell'iride; molte volte si vede l'iride in nubi asciutte, e senza che pioggia veruna discenda in terra."
1671	Isaac Newton	<i>Lettera alla Royal Society</i>	"...in the beginning of the Year 1666 [...] I procured me a Triangular glass-Prisme , to try therewith the celebrated Phenomena of Colours."
1762	Petrus van Musschenbroek (1692-1761)	<i>Compendium physicae experimentalis</i>	" prisma vitreum cujus solidi anguli sint 60 gradum".