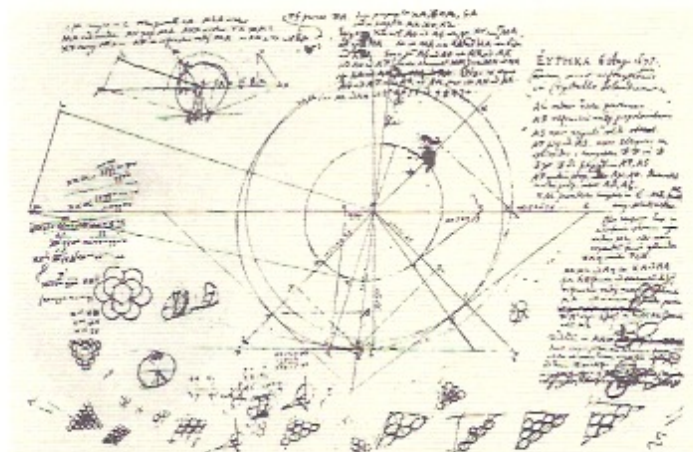


Alessandro Catà

LA LUCE



ila palma

La costruzione della luce

di Alessandro Catà

Ho fatto un esperimento in una camera oscura, illuminando alcuni corpi con luce non composta (pura) di diversi colori. Infatti in questo modo ogni corpo può essere fatto apparire di qualsivoglia colore. Non hanno un colore proprio, ma appaiono sempre del colore della luce che si proietta su di essi, con questa sola differenza: essi hanno colori più brillanti e vivi quando vengono illuminati con i raggi di quel colore che hanno alla luce del giorno.

I. Newton

«Dixitque Deus: Fiat lux. Et facta est lux».

Su un mondo freddo, deserto e vuoto, sull'abisso e la tenebra, Dio creò la luce, e chiamò giorno la luce che separò dal buio, e notte la tenebra.

La creazione si compie per movimenti immensi: la parola di Dio separa e crea e orna ciò che ha separato, dando origine al cosmo e alla vita, al grandioso disegno che ha per culmine l'uomo.

Al di là della loro altezza spirituale e poetica, i primi versetti della *Genesi* rendono testimonianza di una concezione della luce appartenuta alla cultura sacerdotale ebraica del VI secolo a.C., periodo nel quale il racconto della creazione viene datato.

La luce, nella narrazione biblica, precede sorprendentemente la nascita del Sole, creato nel quarto giorno, e quella degli animali e dell'uomo, creati nel sesto giorno. Essa è cioè indipendente tanto dalla sorgente che la emette quanto dalla presenza di chi la osserva, e tale circostanza sembra conferirle una realtà oggettiva, una realtà fisica che assume il senso di un'esistenza in sé.

Stabilire che cos'era l'ente luminoso e quale fosse la sua natura ha costituito, per la cultura occidentale, quel formidabile problema che ha affaticato per millenni la mente dei più grandi filosofi e scienziati.

A partire dal V secolo a. C., i filosofi greci concentrarono la loro attenzione sull'effetto più cospicuo che la luce ha sull'uomo: la visione,

che essi indagarono nell'ambito delle loro ricerche sulla conoscenza sensibile.

La scuola pitagorica propende per l'emissione di un «fuoco» che, uscente dagli occhi, andrebbe a raggiungere gli oggetti determinandone la forma e il colore.

Gli atomisti, da Leucippo di Mileto, Democrito, Epicuro, fino a Lucrezio, professarono una teoria di tipo opposto: dal corpo luminoso o illuminato si distaccano effigi, scorze, simulacri più o meno materiali, copie dell'oggetto che viaggiano nell'aria senza consumarsi fino a raggiungere la pupilla dell'occhio osservatore, dove all'interno danno luogo alla sensazione visiva.

Platone, nel *Timeo*, concepisce la visione come l'incontro del fuoco visuale del soggetto col fuoco fisico esterno, e Aristotele teorizza una luce immateriale, di natura meccanica, che egli identifica con l'effetto prodotto dal «fuoco» nel mezzo diafano interposto tra l'oggetto e l'occhio.

Teorie ingegnose, affascinanti, per nulla ingenue, tenuto conto delle conoscenze del tempo, considerato che gli studi di Galeno sulla struttura dell'occhio risalgono solo al II secolo d.C.; teorie che però non potevano avere alcuna possibilità di successo, in quanto la visione, come sappiamo oggi, è un fenomeno più complesso di quello immaginato dai Greci, che coinvolge aspetti geometrici, fisici, fisiologici e psicologici.

Intanto mancava a quei tempi una chiara distinzione tra luce e atto visivo, tra causa e effetto, tra ente capace di rendere possibili le apparenze e percezione, in noi, delle medesime.

Questo fraintendimento possiamo scorgerlo nei bambini. Mentre giocano a nascondino, a volte i più piccoli si "nascondono" coprendosi gli occhi con le mani: sembrano credere che nessuno li possa vedere quando essi non vedono.

Occorrerà un lungo percorso, che, a partire dalla formulazione di queste prime teorie e dalla grande sintesi geometrica della luce operata da Euclide, dovrà giungere fino al '600 per stabilire, definitivamente, che le immagini non risiedono nel mondo esterno, ma si formano sulla retina, all'interno dell'occhio.

Fu merito di Keplero chiarire il meccanismo geometrico con cui i raggi luminosi vanno a formare un'immagine reale, rimpicciolita e capovolta, che sulla retina scambia la sinistra con la destra; proprio come

accade in una camera oscura, dispositivo, notava già Leonardo, a cui l'occhio può essere paragonato.

Da questa immagine, che riproduce in ogni dettaglio la forma del corpo, la psiche riesce a trarre un fantasma colorato, che proietta all'esterno e colloca là dove l'impulso luminoso si è prodotto, cioè dove si trova l'oggetto, che essa, a conclusione di tale processo, vede.

Keplero riesce a risolvere un altro antichissimo, affascinante enigma. Per la prima volta egli dà una spiegazione convincente del meccanismo con cui Narciso, curvo su una sorgente dell'Eliconia, si vede riflesso nell'acqua, ossia del perché, guardando in uno specchio, osserviamo le immagini degli oggetti là dove essi non sono.

Gli studi dello scienziato tedesco sgombrano improvvisamente il campo dagli *éidola* e dai simulacri di lucreziana memoria, dal problema della loro riduzione alle dimensioni della pupilla, da quell'enorme imbarazzo, durato duemila anni, di dover fare entrare le montagne negli occhi.

Riguardo a questi enormi progressi compiuti dall'ottica all'inizio del '600, la storiografia scientifica moderna sottolinea il contributo fondamentale degli scienziati arabi, in particolare di Alhazen, vissuto intorno al 1000 d.C., profondo indagatore di aspetti geometrici, fisici e fisiologici della luce. Come pure dà grande risalto all'opera dell'abate Francesco Maurolico da Messina, scienziato del XVI secolo, le cui concezioni eserciteranno in seguito un forte influsso su Keplero.

Questi, magistralmente, ne svilupperà le idee sia nel volume *Ad Vitellionem Paralipomena*, in cui risolve il problema della visione, sia nella *Dioptrice*, dove stabilisce la teoria delle lenti, considerate da sempre strumenti fallaci e ingannatori che, pochi mesi prima della pubblicazione della *Dioptrice*, avevano richiamato l'attenzione del mondo scientifico a causa delle scoperte astronomiche di Galileo, scoperte che suscitarono una polemica senza precedenti negli ambienti accademici.

Galileo fu il primo a credere nel cannocchiale (a patto che questo fosse costruito in modo «esquisito»). In aperto contrasto con la cultura ufficiale, egli ribaltò la millenaria opinione secondo la quale in alcun modo si poteva dar credito alle immagini formate da specchi, lenti e simili.

Il silenzio scientifico che ancora ai tempi del fisico pisano avvolge-

va le lenti (già in uso presso i Greci, come documentato da Aristofane nelle *Nuvole*), strumenti che dal Medioevo in poi consentiranno la correzione della presbiopia e della miopia, si spiega col fatto che su di esse nessuno, fino al '600, era riuscito a formulare una teoria plausibile. Gli scienziati, per non rivelare la loro incompetenza, avevano taciuto da sempre sull'argomento.

»

Stabilite con Keplero le linee essenziali della visione, restava da indagare cosa fosse l'ente fisico, esterno, che la rendeva possibile.

Il Medioevo aveva operato una preziosa distinzione nominale riguardo alla luce, a cui faceva riferimento adoperando due termini: il *lumen* e la *lux*.

Il primo rappresentava la luce fisica, esterna, oggettiva; e il secondo la luce vista, psichica e soggettiva, che però, nel Medioevo, era ancora confusa coi simulacri e le *species* degli oggetti, e dunque, in parte, immaginata all'esterno.

Anche a motivo dell'impronta soggettivistica impressale da Avicenna, l'indagine della *lux* condurrà alla *perspectiva* medioevale, a una sorta di metafisica della luce che vide in primo piano i nomi di Roberto Grossatesta, di san Bonaventura, di san Tommaso e di Ruggero Bacon.

Lo studio del *lumen* assunse al contrario contorni decisamente fisici, e nei secoli seguenti, soprattutto nel '600, sotto l'influsso della nuova filosofia naturale, andrà arricchendosi di molti risultati sperimentali e teorici.

Cartesio scopre la legge esatta della rifrazione¹ e suggerisce la spie-

¹ Cambiamento di direzione e di velocità subito generalmente da un raggio luminoso quando attraversa due mezzi trasparenti posti a contatto.

La rifrazione, eventualmente accompagnata da altri fenomeni, è all'origine di molti effetti ottici. Per esempio, lo stelo di un fiore appoggiato in un bicchiere d'acqua ci appare "spezzato" e il mare meno profondo quando guardiamo obliquamente verso il fondale. Gli astri, sulla volta del cielo, ci appaiono leggermente più in alto di quanto lo siano in realtà. D'estate, quando

gazione di uno dei fenomeni più imponenti della natura: l'arcobaleno; Fermat enuncia il principio di tempo minimo che regola il percorso dei raggi luminosi; Galileo, che ha sempre dichiarato di sentirsi in tenebre riguardo alla natura della luce, tenta per la prima volta di misurarne la velocità. Padre Grimaldi, scienziato bolognese che per tutta la vita si dedicò allo studio dei fenomeni luminosi, scopre che essa può propagarsi, oltre che nei modi allora conosciuti (in maniera diretta, per riflessione e per rifrazione), anche in un quarto modo che chiama *diffrazione*. Davanti a corpi sottili come fili, capelli o spilli, oppure davanti a strette fessure, la luce mostra un comportamento simile a quello delle onde dell'acqua e del suono, che riescono ad aggirare i fori e gli ostacoli, e a pervenire in zone che, se la propagazione fosse rigorosamente rettilinea, sarebbero loro proibite. Vengono a formarsi delle frange colorate, delle strane strisce luminose là dove dovrebbe esserci soltanto ombra, e ombre inattese dove ci aspetteremmo luce.

L'ampliamento di conoscenze prodottosi durante la prima metà del '600 concorrerà, nella seconda parte dello stesso secolo, alla nascita di due grandi e contrapposte teorie della luce: quella corpuscolare e quella ondulatoria, che si contenderanno aspramente il campo nei secoli successivi e che portano il nome, rispettivamente, di Isaac Newton e di Christiaan Huygens.

Huygens immagina la luce come una perturbazione ondosa indotta

viaggiamo in automobile, sull'asfalto della strada si formano lucenti, tremolanti "pozze d'acqua" che poi, avvicinandoci, scompaiono (miraggio inferiore); e in certe condizioni atmosferiche, soprattutto in mare aperto, l'uomo ha il privilegio di vedere le rare, bellissime immagini, sospese nel cielo, di navi, di isole o di parti di costa (fata morgana o miraggio superiore). Così non posso fare a meno di fantasticare che in un angolo di qualche antica saga vichinga si nasconda il ricordo di ciò che i bardi del tempo, nel narrare le imprese dei loro eroi del mare, avrebbero di certo chiamato "Terre volanti", "Terre del cielo" per indicare – sospesa in una nuvola di ghiaccio – il modo in cui io immagino sia apparsa loro l'Islanda.

La legge approssimata della rifrazione risale a Claudio Tolomeo, vissuto nel II secolo d. C.; quella esatta fu stabilita dall'olandese Snell e, indipendentemente, da Cartesio.

nell'etere dal rapido movimento dei corpuscoli che costituiscono le sorgenti luminose, quali le fiamme delle candele o la superficie del Sole.

Di tale perturbazione, di cui fino ad allora si ignorava il tempo di propagazione, viene misurata la velocità, dirimendo l'antica controversia circa il suo valore finito o infinito.

La luce, infatti, come mostrato dalle misure astronomiche effettuate in quel periodo da Ole Römer, non si propaga istantaneamente: sommando gli apparenti ritardi di tempo che si producono nelle eclissi dei satelliti di Giove, quando queste vengono osservate dalla Terra in un periodo di sei mesi, si ottiene il tempo che la luce impiega per attraversare uno spazio pari al diametro maggiore dell'orbita terrestre, distanza approssimativamente nota agli astronomi.

Questi dati fornirono per la velocità del lumen un valore enorme, dell'ordine delle centinaia di migliaia di chilometri al secondo.

Nonostante le difficoltà matematiche, il modello di Huygens riusciva a rendere conto dei fenomeni a quei tempi osservati: propagazione rettilinea della luce, riflessione su superfici lucide, rifrazione dovuta a differenti mezzi trasparenti posti a contatto. Soprattutto, a più di un secolo dalla scomparsa del grande scienziato olandese (che paradossalmente non prese mai in considerazione le scoperte di Padre Grimaldi, come del resto questi non credette alla teoria ondulatoria), si mostrò come l'unico strumento capace di penetrare i complicati fenomeni della diffrazione, le *series lucidae* e quant'altro aveva arrovellato la mente del sacerdote bolognese.

Newton, dal canto suo, pur essendo considerato l'artefice della teoria corpuscolare, non espresse mai un parere definitivo sulla natura della luce.

L'interpretazione dei primi grandi successi sperimentali di ottica, ottenuti dalla scomposizione e ricomposizione della luce solare per mezzo di prismi, gli consentì di svelare al mondo l'enigma dei colori, i quali, contrariamente a quanto si era sempre supposto, non risiedono alla superficie dei corpi, ma sono già contenuti nella luce naturale, che percepiamo bianca soltanto a causa della loro mescolanza.

Newton coniò il nome di *spettro* per indicare l'insieme dei colori ottenuti col prisma; egli ne individuò sette, che ordinò dal rosso, quello che subisce la deviazione minore, fino al violetto. Essi non sono ulte-

riormente scomponibili: se per esempio si isola dagli altri un fascio arancione e lo si invia su un prisma, esso riemerge arancione, dopo averlo attraversato.

Quanto al colore degli oggetti, questo dipende dall'assorbimento che opera la materia nei confronti delle componenti spettrali: un prato appare verde perché i fili d'erba assorbono prevalentemente il rosso e il blu, rinviando all'occhio una luce che, impoverita di tali componenti, provoca la sensazione del verde.

*

A questo punto occorre fare una precisazione, che potrebbe prendere le mosse dal termine *appare*. Infatti, dei colori e della luce che vediamo possiamo dire solo che appaiono, ma non che sono.

In altre parole, essi sono sensazioni o rappresentazioni, ancorché provocate da un agente fisico esterno, il quale, per altro, nemmeno sempre è necessario, come ci insegna l'esperienza dei sogni.

In quanto tali, i colori e la luce non possiedono un'esistenza oggettiva, e il loro grado di realtà è limitato alla nostra coscienza.

Il mondo esterno è attraversato dal lumen, che però non è luminoso, né tanto meno colorato: è buio; è quello strano buio al contatto del quale la psiche crea la luce e i colori.

Dalla maggiore o minore intensità del lumen, dal fatto di essere alla presenza di una giornata limpida oppure immersi in un giorno di pioggia, dipende il grado di chiaro e di scuro di ciò che vediamo, cioè la maggiore o minore brillantezza delle immagini cerebrali, che sono fatte di luce (*lux*) e, dunque, esistono solo alla presenza dell'uomo (e degli animali).

*

Newton fu a più riprese criticato per aver spezzettato e ricucito la luce, negandole, a detta di alcuni filosofi dell'800, il suo carattere soggettivo; basti ricordare, a tale proposito, l'atteggiamento assunto nei suoi confronti da Goethe.

La luce e i colori, che ne rappresentano l'intima natura, diventano

nelle mani dello scienziato inglese qualcosa di tangibile: il raggio rosso, per il fatto di essere meno deviato, deve viaggiare nel vetro più lentamente degli altri raggi evidenziati dal prisma; i suoi corpuscoli devono cioè possedere una massa maggiore rispetto a quelli che compongono gli altri fasci dello spettro, ammesso che la forza attrattiva esercitata dal vetro rimanga sempre la stessa.

Egli giunge così a stabilire una corrispondenza biunivoca tra i colori e le proprietà fisiche delle particelle che costituiscono la luce, compiendo quell'operazione di oggettivazione e di materializzazione del lumen che gli varrà, oltre a una sconfinata ammirazione, anche le critiche di uomini come Hooke e Goethe.

In definitiva, la luce di Newton consiste di sette colori, di sette toni puri non scomponibili ulteriormente, a cui corrispondono altrettante sostanze, altrettante particelle che differiscono tra loro soltanto per il valore della massa.

Va ricordato che lo scienziato inglese era del tutto consapevole degli aspetti soggettivi inerenti alla visione e ai colori: egli parla per esempio di raggi *rubrifici*, per indicare quei raggi che sono atti, in noi, a provocare la sensazione del rosso.

Proseguendo le sue ricerche, Newton conseguirà ancora numerosi e brillanti risultati sperimentali, la cui interpretazione diverrà però sempre più innaturale e difficoltosa dal punto di vista della sua teoria.

È questo probabilmente il motivo per cui non ha mai espresso un giudizio netto sulla natura del lumen: studiando il fenomeno degli anelli iridescenti che porta il suo nome, alle prese con i fenomeni della diffrazione e della riflessione parziale,² egli dovrà fare alla fine delle con-

² Giunta alla superficie di separazione di due mezzi trasparenti diversi (per esempio aria e vetro), la luce penetra in parte nel secondo mezzo e in parte viene riflessa nel primo. Se la immaginiamo, con Newton, come uno sciame di corpuscoli, si pone il problema di come faccia la singola particella, una volta arrivata in prossimità della superficie di separazione, a decidersi se deve attraversare il vetro oppure ritornare indietro nell'aria.

Questo "innocuo" quesito si dimostra insolubile: a meno di non ricorrere, come fece Newton, a una qualche diversità tra le particelle, a qualche *dispositio* (magari acquisita all'atto della loro emissione) per cui alcune si trove-

cessioni più o meno ampie alla rivale teoria ondulatoria; teoria che comunque ritiene errata, perché a suo modo di vedere non riesce a spiegare la formazione delle ombre, cioè la propagazione rettilinea dei raggi luminosi. Inoltre – cosa non meno grave – le onde di Huygens hanno bisogno dell'etere per la loro propagazione, di una ipotetica sostanza che, qualora esistesse, permeando di sé gli spazi cosmici, non produrrebbe altro risultato che quello di frenare gli astri nel loro moto, ostacolando le operazioni della natura.

*

In realtà, non esistono dei veri e propri punti di contrasto tra le due teorie: esse conducono a conclusioni simili nello studio della maggior parte dei fenomeni ottici elementari, fatta eccezione per la velocità che compete alla luce nell'attraversare i mezzi trasparenti. Qui le previsioni si fanno opposte: la teoria corpuscolare prevede che la luce viaggi nell'acqua, per esempio, con una velocità maggiore di quella posseduta nel vuoto, la teoria ondulatoria predice il contrario.

Bisognerà attendere le raffinate esperienze eseguite da Foucault verso la metà del XIX secolo per stabilire chi delle due è nel vero; il verdetto sperimentale si dimostrerà favorevole alla teoria ondulatoria.

Il grande prestigio di Newton e la maggiore semplicità della sua teoria, limitatamente ai fenomeni luminosi elementari, decretarono per tutto il XVIII secolo il trionfo della teoria corpuscolare.

*

Nei primi anni dell'800, un giovane medico inglese, Thomas Young, dà una spiegazione degli anelli di Newton basata sulla teoria ondulatoria.

rebbro nelle migliori condizioni di penetrare nel vetro, altre di ritornare nell'aria.

Posto in questi termini, il problema rimane irrisolto anche nell'ambito della fisica contemporanea, dato che questa, per sua natura, non è in grado di prevedere gli eventi prodotti dalle singole particelle, ma solo la probabilità che essi accadano.

La serie di anelli chiari e scuri, che si osservano appoggiando una lente di grande raggio di curvatura su un piano di vetro, è dovuta, secondo Young, all'interferenza luminosa, cioè al fatto che la luce si sovrappone ad altra luce.

Questo significa che in certe circostanze l'incontro di due luci può dar luogo a una maggiore intensità del lumen (anelli chiari), oppure al buio (anelli scuri), proprio come farebbero due diapason identici, i quali, posti in vibrazione, producono intorno a loro delle zone in cui, alternativamente, il suono si rinforza e altre di assoluto silenzio.

Young esegue esperienze fondamentali, come quella di far passare luce, precedentemente diaframmata, attraverso due piccoli fori, per poi studiare la figura di chiari e di scuri che raccoglie su uno schermo. Utilizzando sorgenti omogenee di diverso colore, riesce a determinare la lunghezza d'onda del lumen: circa 0,7 millesimi di mm per il rosso e 0,4 millesimi di mm per il violetto.

Al nome del medico e fisico inglese è legata un'importante ipotesi di ottica fisiologica: quella della struttura tripartita dell'occhio, che spiega il modo con cui percepiamo i colori.

Secondo questa teoria, che in seguito verrà perfezionata da Helmholtz, nell'occhio sarebbero presenti tre tipi di ricettori, sensibili prevalentemente alla zona rossa, verde e blu dello spettro. Al variare del loro stato fisico, essi sarebbero in grado di farci percepire qualsiasi colore. Per esempio, una radiazione di lunghezza d'onda intermedia a quella del rosso e del verde ecciterebbe i sensori di entrambe le zone, procurandoci la sensazione del giallo.

La stessa sensazione, lo stesso giallo possono però essere prodotti inviando all'occhio due luci diverse: una rossa e una verde, delle quali non si riesca a individuare la provenienza.

Questo prova che non esiste una corrispondenza biunivoca tra colore e lunghezza d'onda, e in definitiva che il colore, diversamente da quanto affermato da Newton, non è definibile oggettivamente.

*

Circa venti anni dopo le esperienze di Young (che subì un duro attacco per aver criticato le idee di Newton), la teoria ondulatoria co-

mincherà a imporsi per opera di un ingegnere francese, Augustin Fresnel, che inizialmente si dedica allo studio dei fenomeni luminosi nei ritagli di tempo che gli consente la sua professione.

Nel giro di pochi anni, egli perfezionerà le idee di Huygens e di Young, conseguendo risultati straordinari sia sotto il profilo sperimentale che in ambito teorico.

In particolare, riuscirà a costruire lo strumento matematico (principio di Huygens-Fresnel) che gli consentirà di rendere ragione, fino nei minimi dettagli, dei fenomeni di interferenza e di diffrazione, fenomeni il cui orizzonte si era, anche a motivo dei suoi lavori sperimentali, notevolmente ampliato.

Quando Poisson, valente matematico, accademico di Francia e newtoniano convinto, dichiara falsa la sua teoria perché conduce a previsioni assurde, Fresnel, forte delle proprie idee, si appresta a dimostrare che la natura realizza, per l'appunto, tale assurdo.

Al centro dell'ombra che un disco opaco proietta su uno schermo (quando il disco è illuminato da una piccola sorgente di luce i cui raggi formano con questa direzioni poco inclinate) viene a formarsi un'intensa, minuscola zona luminosa, la macchia bianca che Poisson, seguace della teoria corpuscolare, giudicava assurda.

Fresnel, riprendendo gli studi sulla doppia rifrazione, giunge a una fondamentale scoperta.

La doppia rifrazione dello spato d'Islanda, fenomeno scoperto dal danese Erasmus Bartholin, consiste nello sdoppiamento subito dal raggio luminoso quando questo attraversa il cristallo. Se si osserva un piccolo oggetto attraverso lo spato, appaiono dell'oggetto due immagini.

Questo singolare fenomeno fu studiato da Huygens, che ne diede una brillante spiegazione.

La conclusione a cui giunse era che nel cristallo dovessero propagarsi due onde di differenti velocità: una nell'etere che riempiva gli interstizi del corpo trasparente e l'altra direttamente nella materia.

Anche Newton studiò il fenomeno (che costituì per lui un'ulteriore prova contro la teoria ondulatoria), scoprendo che la luce che ha attraversato lo spato possiede proprietà fisiche diverse da quella naturale.

Se infatti si invia uno dei due raggi rifratti verso un secondo cristallo di spato, per una certa rotazione di questo rispetto alla direzione di

incidenza, il raggio non si scinde affatto, cosa che invece succede nelle stesse condizioni a un fascio di luce ordinaria.

Malus, all'inizio dell'800, parlerà a tale proposito di *polarizzazione*: i raggi che hanno attraversato lo spato sono raggi polarizzati.

La teoria di Huygens, che prevede onde longitudinali, non riesce a spiegare la polarizzazione.

La questione, irrisolta, giunge nelle mani di Fresnel, che tenta di indagarla facendo interferire le due luci emergenti dallo spato, le quali però non producono nessuna interferenza.

Fresnel ne deduce che le onde luminose, contrariamente a quanto si era fino ad allora creduto, non sono longitudinali come quelle del suono, ma trasversali, come le onde che si propagano sulla superficie del mare; le loro vibrazioni sono cioè perpendicolari alla direzione di propagazione.

*

L'interpretazione della macchia bianca di Poisson, confortata dalle misure della velocità della luce in aria e in acqua, effettuate da Foucault circa quarant'anni dopo, decreta la fine del modello corpuscolare.

*

La teoria di Fresnel troverà la sua naturale collocazione all'interno della grande sintesi teorica dei fenomeni ottici, elettrici e magnetici realizzata, nel 1873, da J. C. Maxwell.

Quando, quindici anni dopo, H. Hertz riuscirà a produrre in laboratorio le onde elettromagnetiche previste dallo scienziato scozzese, mostrando che esse obbediscono alle stesse leggi di quelle luminose, l'entusiasmo del mondo scientifico salirà alle stelle.

La millenaria indagine svolta dall'uomo al fine di conoscere la natura della luce sembra conclusa.

Riguardo alla radiazione visibile, la teoria di Maxwell suona all'incirca così: la luce che vediamo è una perturbazione elettromagnetica di lunghezza d'onda compresa tra 0,4 e 0,8 millesimi di mm, che si propaga nel vuoto dell'etere cosmico a una velocità di circa 300.000 Km/s.

*

Resta da definire la natura e la struttura dell'etere, di questa misteriosa sostanza che, in fisica, puntualmente appare e scompare, salvo poi riapparire sotto nomi nuovi.

Eteri di volta in volta elettrici, magnetici, termici. Etere luminifero di Huygens-Fresnel, che ora, nella visione di Maxwell, è divenuto elettromagnetico.

Esso, come sappiamo dai segnali che ci giungono dalle stelle, deve estendersi ovunque, e possedere le caratteristiche di una sostanza sottile, paragonabile a quella di un fluido estremamente rarefatto, per non frenare, come vogliono le osservazioni astronomiche, il moto dei corpi celesti.

Al tempo stesso, dovendo essere sede di onde trasversali, che come è noto si propagano solo nei solidi, dovrebbe avere le caratteristiche meccaniche di un solido, per di più estremamente rigido, dato l'enorme valore della velocità della luce.

Fino all'ultimo quarto del XIX secolo, sono le vibrazioni di questo ente assurdo, di questa chimerica sostanza metà fluida e metà solida a trasmettere la luce.

L'etere, oltre al suddetto aspetto paradossale, che verrà in seguito eliminato col modello di Maxwell, si presenta sconcertante anche in altre direzioni. Per esempio mostra vistose asimmetrie di comportamento nei confronti della materia: non oppone resistenza al moto dei pianeti ma interagisce coi corpi trasparenti, rallentando la luce che li attraversa.

Ma la caratteristica più straordinaria, che ha implicazioni profonde sulla natura del moto, è dovuta al fatto che le leggi generali della natura assumono la forma più semplice se riferite a tale ipotetico ente considerato a riposo; questa circostanza porta a considerarlo come un sistema del tutto privilegiato rispetto agli altri sistemi di riferimento di cui si avvale la meccanica.

L'etere, qualora esistesse, distinguendosi per la maggiore semplicità delle leggi, assumerebbe il ruolo di sistema *assolutamente in quiete*, al quale andrebbe riferito il moto di ogni altro corpo. Il moto e la quiete diverrebbero in tal modo delle realtà assolute.

In effetti, una conferma di questa ipotesi si presentava possibile: bastava evidenziare – in seguito al cambiamento subito da qualche feno-

meno ottico – il moto assoluto di traslazione della Terra. Per esempio si poteva misurare la distanza focale di una lente in due istanti diversi: quando la Terra viaggiava incontro al Sole, e sei mesi dopo, quando se ne allontanava con velocità opposta.

I tentativi compiuti in tal senso ebbero, tutti, esito negativo. In qualsiasi periodo dell'anno, la distanza focale delle lenti restava sempre la stessa, e le esperienze di ottica, condotte sia con sorgenti astronomiche che con sorgenti di luce terrestri, non mostravano alcun cambiamento, come se il nostro pianeta fosse costantemente a riposo.

Una possibile spiegazione era quella di supporre un trascinamento totale dell'etere da parte della Terra (almeno nelle sue vicinanze); spiegazione che era però in contrasto con l'interpretazione di fenomeni come l'aberrazione stellare³ e con i risultati di altre esperienze di ottica quali, ad esempio, l'esperienza che eseguì Fizeau sui fluidi in moto.⁴

Alla fine del XIX secolo, le teorie escogitate allo scopo di rendere ragione dei fenomeni luminosi sono tante e tali da configurare un intrico di contraddizioni insanabili, un irrisolvibile nodo gordiano.

Di colpo, nel 1905, il nodo verrà reciso da Albert Einstein con una memoria dal titolo: *Sull'elettrodinamica dei corpi in moto*, in cui l'autore, assumendo una decisa posizione antimeccanicistica, rinuncia apertamente alla formulazione di una teoria dell'etere.

L'etere, nella visione einsteiniana, si dimostra un'ipotesi superflua. Le apparenti contraddizioni che riguardano l'ottica dei corpi in movimento vengono ricondotte ai primitivi concetti di spazio e di tempo, mediante i quali è definita la velocità della luce.

Infatti, come mostrato da Einstein, tali concetti, se sottoposti a una critica approfondita, si rivelano errati. In particolare, la lunghezza di un segmento, la durata di un fenomeno, la simultaneità di due eventi che

³ Piccole ellissi descritte dalle stelle quando le si osserva alla stessa ora nel corso di un anno.

⁴ L'esperienza di Fizeau consentì la misura della velocità della luce nell'acqua in rapido movimento. Essa fu interpretata a favore di un trascinamento parziale che il mezzo ottico in moto eserciterebbe sull'etere, confermando una legge precedentemente stabilita da Fresnel.

accadono in luoghi diversi non rivestono un ruolo oggettivo, un carattere assoluto, come vuole il senso comune e come stabilisce la fisica newtoniana, ma assumono un significato relativo, in quanto dipendono dal moto di chi li osserva.

Nella teoria della relatività, tutte le antilogie riguardanti la cinematica della propagazione luminosa, all'improvviso, scompaiono. La luce, libera dalle contraddizioni dell'etere, dello spazio e del tempo assoluti, è un'onda elettromagnetica che si propaga nel vuoto illuminando gli oggetti sempre a 300.000 km/s, qualunque sia la loro velocità.

*

All'inizio del '900, contemporaneamente ai radicali cambiamenti introdotti dalla relatività, diventa chiaro che la teoria ondulatoria non riesce più a rendere conto di tutti i fenomeni osservati.

Quando si vanno a interpretare fenomeni quali la fotoluminescenza⁵ e altri riguardanti le interazioni della luce con i costituenti atomici della materia, la teoria di Maxwell non riesce più a "salvare le apparenze".

Nel 1905, per spiegare l'effetto fotoelettrico,⁶ Einstein ricorre all'ipotesi dei *quanti*, concepita cinque anni prima da Max Planck allo scopo di rendere ragione dei fenomeni che riguardano il corpo nero.⁷

Per far sì che la teoria concordasse con l'esperienza, Planck dovette supporre che gli scambi di energia tra luce e materia (all'interno di una cavità in equilibrio termico con la radiazione) avvenissero in modo discontinuo, per multipli interi di una quantità elementare che denominò *quanto*.

Einstein generalizzò tale idea, assumendo che la discontinuità rappresenti una caratteristica intrinseca dell'energia elettromagnetica, pos-

⁵ Emissione di luce da parte di alcune sostanze provocata dalla loro esposizione a una radiazione luminosa.

⁶ Emissione di elettroni da parte dei metalli quando questi vengono colpiti da luce di determinata frequenza.

⁷ Corpo che ha la proprietà di assorbire completamente le radiazioni che lo investono.

seduta da essa in ogni circostanza, indipendentemente dal tipo di interazione alla quale partecipa.

Questo porta a immaginare la luce come un flusso di corpuscoli o fotoni, come in seguito verranno chiamati, la cui energia dipende unicamente dalla frequenza della radiazione.

La luce, dopo più di due secoli, torna così ad assumere l'antico aspetto corpuscolare assegnatole da Newton; senonché deve mantenere anche il suo carattere ondulatorio, in quanto produce fenomeni di interferenza e di diffrazione, fenomeni che solo la teoria delle onde riesce a spiegare.

Il rinnovato contrasto onda-corpuscolo, che sembra riportare la fisica a uno scenario di fine '600, ma che in effetti è più drammatico di quello, condurrà nella metà degli anni venti alla nascita della meccanica quantistica.

Adesso non si tratta più di operare una scelta tra due teorie rivali, ma di far coesistere due concezioni considerate antitetiche.

La teoria quantistica riesce a descrivere il comportamento della luce e della materia, tuttavia non è in grado di comporre il dissidio che nasce tra l'effettivo svolgersi dei fenomeni e il modo che abbiamo di immaginarli e di concepirli.

In realtà, il conflitto non riguarda la fisica; riguarda, piuttosto, la nostra capacità di raffigurare enti che, oltre a essere lontani dall'intuizione, sono spesso anche in contraddizione con essa.

Diversamente dai modelli di Newton e di Huygens, ereditati e perfezionati dai fisici del XVIII e XIX secolo, per la prima volta viene meno la possibilità di giungere a un'interpretazione univoca della natura della luce.

Infatti, l'essenza dei fenomeni non risiede nei corpuscoli o nelle onde a questi associate, ma consiste nel moto di entità (fotoni) che assumono una forma, corpuscolare o ondulatoria, solo in virtù dell'apparato sperimentale adoperato per "interrogarle".

Questo vuol dire che non è possibile attribuire ai fotoni una natura *definita* prima che essi abbiano interagito con uno strumento di misura.

Ciò non toglie che vorremmo avvicinarci di più alla "sostanza luminosa", che in qualche angolo della teoria vorremmo trovarci di fronte alla crepa, alla stretta fessura, fatta di buio che è niente, da dove cade la polverina di luce.

Ma questo non sembra possibile: non è possibile perché nessuno, per davvero, riesce a immaginare corpuscoli che si comportano come onde. Eppure le particelle di luce fanno così, dice la fisica.

Bibliografia

- Ronchi, Vasco. *Storia della luce*. 5ª ed. Laterza, 1983.
 Born, Max. *La sintesi einsteiniana*. Boringhieri, 1969.
 Straneo, Paolo. "Genesi ed evoluzione della concezione relativistica di Albert Einstein". In: *Cinquant'anni di relatività*. 2ª ed. Coedizione Giuntine Sansoni, 1955.
Progetto fisica, 2ª ed. Zanichelli, 1986, vol. B.
 Caldirola, P.; Casati, G.; Tealdi, F. *Fisica*. Ghisetti e Corvi, 1987, vol. 1.
 Feynman, Richard P. *QED: La strana teoria della luce e della materia*. Adelphi, 1989.