
La realtà tra percezione e fisica

Marco Mazzeo

Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi" Università del Salento

Quando contempliamo un dipinto ci soffermiamo su molteplici aspetti: l'estetica, i colori, le simmetrie evidenti, nascoste o assenti, il significato politico e morale o narrativo e mitologico. Raramente però riflettiamo sui processi fisici, fisiologici e cognitivi che sono coinvolti nel processo visivo, in particolare nella percezione dei colori e delle forme. E ancor più raramente ci poniamo domande le cui risposte attendono probabilmente una convergenza di più discipline e aree che vanno dalla fisica, alle neuroscienze, dalla biologia alla filosofia. Quando percepiamo qualcosa non sempre è reale come testimoniano le illusioni ottiche. E allora quale criterio adoperare per stabilire cosa sia reale e cosa invece solo soggettivo? Quando si parla della soggettività, ovvero della percezione, che tipo di spiegazione ci forniscono i grandi schemi interpretativi scientifici della realtà? Che ruolo ha la fisica quantistica nella percezione? Se il cervello è in definitiva l'apparato di misura finale che ruolo ricopre l'interpretazione di Copenaghen nel problema della percezione? In definitiva il problema realtà-

cervello-mente può essere svelato nella sua totalità dalla scienza moderna?

Introduzione

È possibile affermare che la scienza moderna nasca nel momento in cui, con Galileo Galilei, osservatore e osservato vengono completamente separati. Con Galilei infatti lo scienziato si interroga sulla realtà controllando un dato fenomeno attraverso l'esperimento, che, lungi dall'esser semplice osservazione, costringe la natura a funzionare in un apparato ben definito in cui gli *accidenti*, ovvero ciò che complica il quadro sperimentale, ad esempio l'attrito, sono ridotti al minimo, e in cui l'osservatore è separato dall'oggetto di studio e non interagisce con esso. Da quel momento la scienza inizia a costruire teorie le cui leggi sono indipendenti dalla posizione dell'osservatore, dal suo stato dinamico, e ovviamente da quello percettivo e mentale. Questa cesura trova le sue fondamenta in quelle che Galilei definì qualità vere e simulacri [1] e John Locke qualità primarie e secondarie [2], intendendo con le prime ciò che si può descrivere in termini misurabili, come la posizione, la forma, il moto, e con le seconde tutto ciò che popola i sensi e la percezione. A partire da questa presa di posizione filosofica, la storia della scienza è stata sostanzialmente il tentativo di estendere sempre più a fondo il dominio delle qualità primarie creando teorie che associano ad esse entità e regole matematiche (le leggi fisiche)

che siano indipendenti appunto dallo stato fisico dell'osservatore. Questo modo di concepire la conoscenza della natura, che trova le sue radici in ciò che Galilei definiva *sensate esperienze e certe dimostrazioni* [1], ha dato origine a ciò che definiamo fisica classica, che raggiunge il suo apice con le teorie della relatività, ristretta e generale, di Einstein, nelle quali le leggi fisiche sono indipendenti dallo stato di moto dell'osservatore, sia inerziale che accelerato.

Tuttavia, oggi ci troviamo di fronte ad un grande enigma che potremmo definire probabilmente una crisi di questa visione: i processi di percezione. Questi coinvolgono problematiche di fondo che vanno dal problema della misura, in cui la visione classica della separazione tra osservatore e osservato, sembra crollare sotto i paradigmi della meccanica quantistica, alla problematicità della separazione stessa tra qualità primarie e secondarie. Se da un lato la percezione si può spiegare con meccanismi classici di base fisici e materialistici, dall'altro la sensazione della percezione stessa è un problema che pare irriducibile a meccanismi fisici. In questo articolo vedremo come il meccanismo della visione, se analizzato dalla formazione dell'immagine sulla retina fino alla percezione a livello mentale, offra proprio uno spunto per riflettere su questi problemi di confine in quanto in esso sono coinvolti vari processi che, se da un lato sfruttano teorie del mondo nate in seno alla tradizione galileiana, dall'altra pongono questioni cruciali sul ruolo della coscienza nella costruzione del mondo stesso e quindi su cosa significhi conoscere la realtà.

Dove collocare la barriera: la polemica sulle comete tra Grassi e Galilei

Una breve digressione storica e filosofica ci permetterà di capire il peso che questa questione ha avuto nello sviluppo della scienza in occidente, determinandone il poderoso sviluppo e le sue attuali contraddizioni. Il motivo per cui Galilei creò questa scissione filosofica tra osservato e osservatore e tra qualità primarie e secondarie, in sintesi tra mondo oggettivo e soggettivo, deriva dalla consapevolezza che non tutto ciò che è sperimentabile coi sensi sia necessariamente

vero. Questo aspetto, da lui evidenziato nel *Il Saggiatore* [1], che potrebbe a buon titolo essere definito il manifesto della scienza moderna e della epistemologia scientifica, è il filo conduttore di tutte le sue ricerche, volte alla dimostrazione dell'eliocentrismo e del copernicanesimo. Se infatti la Terra orbita attorno al Sole come mai i nostri sensi, seppur appartenenti a dei copernicani, non se ne accorgono? E, soprattutto, è possibile considerare valide delle teorie che palesemente entrano in conflitto con ciò che i sensi ci raccontano, come appunto l'idea secondo cui la Terra si muove nello spazio alla folle velocità di 30km/sec? C'è da mandare all'aria l'idea secondo cui osservare non basta per far scienza (idea che ancora oggi viene perpetrata nelle scuole), perché i sensi sono fallaci. Come costruire allora la scienza se non si può credere ai nostri sensi? Domanda che si porrà l'aristotelico Simplicio nel *Dialogo Sopra i Massimi sistemi del mondo* [3], a riprova che gli aristotelici non erano privi di buon senso. Ma è proprio il buon senso comune che la scienza galileiana demolirà nei suoi 400 anni di prodigioso sviluppo. Si dirà: ma in fondo la fisica non deve descrivere proprio ciò che i nostri sensi percepiscono? La questione fu violentemente sollevata quando Galilei entrò in conflitto col gesuita Orazio Grassi attorno al grande dibattito sulle comete. Di cosa si discuteva? Le domande erano le seguenti: *sono esse corpi atmosferici, corpi celesti, oppure non esistono e sono semplicemente frutto di una errata percezione della realtà?* Grassi sostenne che le comete fossero corpi extra-atmosferici [4], come provava l'osservazione al cannocchiale. Con questo strumento infatti non si riusciva ad aumentare le dimensioni di questi corpi celesti, ragione per cui dovevano situarsi ben al di là di Saturno. L'argomentazione faceva leva sul fatto che mentre i pianeti potevano essere ingranditi dalle lenti non accadeva la stessa cosa per le ben più distanti stelle che, se osservate ad un telescopio, appaiono sempre puntiformi. Una buona argomentazione non c'è che dire. Ci si potrebbe attendere che Galilei appoggiasse la teoria di Grassi, perché l'idea che ci fossero corpi supra-lunari, che per giunta non si muovevano lungo circonferenze ma su orbite più allungate (paraboliche o ellittiche sappiamo oggi), minava di certo l'aristotelismo più intransigente. Ma Galilei vi si oppose, anche con violenza verba-

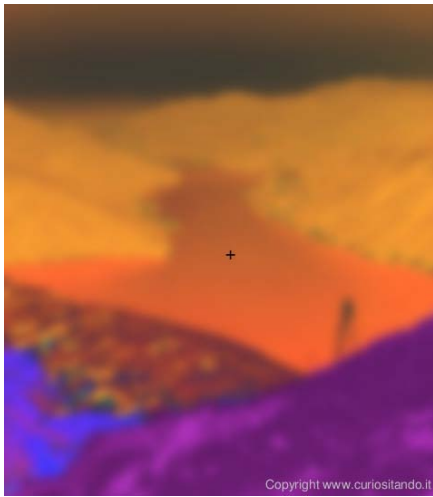


Figura 1: Osservate il panorama in falsi colori fissando l'attenzione sulla croce al centro. Dopo circa una trentina di secondi spostate lo sguardo sulla figura in bianco e nero e rispondete alla seguente domanda: il panorama che sto percependo è reale? Foto tratte da www.curiositando.it

le, in quanto Grassi aderiva al modello ibrido di Ticho Brahe. In questo modello la Terra era al centro immobile, e questo salvava le *sensate esperienze* che ci assicurano che la Terra è ferma, altrimenti ce ne accorgeremmo, mentre i pianeti orbitavano attorno al Sole il quale, a sua volta, si muoveva attorno alla Terra, fatto questo che salvava le pure altre *sensate esperienze* realizzate al cannocchiale di Galilei. Insomma, il modello di Ticho Brahe pone la percezione (ad occhio nudo e al cannocchiale) alla base della scienza. Tuttavia questo modello non venne nemmeno preso in considerazione da Galilei. Prova ne è il fatto che il *Dialogo* del 1632 è sopra due massimi sistemi del mondo, copernicano e tolemaico, non su tre. Galilei ribatté indirettamente a Grassi nel *Discorso delle comete* firmato Mario Guiducci [5], senza apparire come autore giacché gli era stato ordinato formalmente dal cardinale Bellarmino di non poter più diffondere le sue teorie, sostenendo che

A chi stesse pure ostinato che, per provar l'immensità della lontananza, concludesse l'argomento preso dal poco aggrandimento del telescopio, si potrebbe agevolmente dare a intendere che una candela accesa e posta in altezza di cento o dugento braccia fosse tra le stelle fisse, poiché pochissimo viene dall'occhiale ingrandita.

Si dipana pertanto una questione non da poco: fino a che punto possiamo sostenere la realtà di un fenomeno? La cometa di Grassi era un corpo reale e oggettivo o era completamente frutto dell'osservatore, un gioco di luce causato da turbolenze atmosferiche e dal nostro apparato visivo? Galilei fornisce altri esempi più quotidiana-

ni delle comete che chiariscono questo punto, e lo fa appunto ne *Il Saggiatore* del 1623. La striscia luminosa riflessa dal mare al tramonto del Sole ne è un esempio. Se l'osservatore cammina lungo la spiaggia si rende conto che l'immagine percepita resta la stessa, e sembra seguirlo. E così come quella striscia luminosa sono tanti i fenomeni non reali ma fittizi o comunque interpretati dal nostro insieme occhio-cervello e non completamente oggettivi, come l'arcobaleno e gli stessi colori come vedremo. Le illusioni ottiche sono proprio quello strumento che ci permette di rendere manifesta questa realtà non reale ma ricostruita, almeno in parte, dal cervello. Per comprendere quanto il sensorium giochi un ruolo determinante e come i colori siano soprattutto entità fisiologiche e psicologiche, osservate il panorama di Figura 1 in falsi colori (a sinistra) e dopo un minuto, spostate l'attenzione sullo stesso panorama (a destra) ripreso in bianco e nero.

Come per miracolo, la foto vi sembrerà a colori, non falsi colori badate, ma colori veri. Il fiume ad esempio apparirà azzurro, come deve essere, mentre in nessuna delle foto lo è, né in quella in falsi colori e né, ovviamente in quella in bianco e nero. Da dove è saltato fuori quell'azzurro? La cosa che dovrebbe saltare agli occhi è che questo è un tipico esempio di come Galilei avesse ragione, in quanto abbiamo attribuito un colore ad un qualcosa che non l'aveva. La conclusione è ovvia: sebbene il colore sia qualcosa da associare alla realtà esterna, altrimenti non si distinguerebbero colori diversi, esso è comunque anche e soprattutto un parto della nostra soggettività. Il colore ha cioè il suo lato fisiologico, che dipende da come sono fatti i nostri occhi e il nostro cervello, che

si sono evoluti in un certo modo nel corso di centinaia di migliaia di anni. Tuttavia la domanda si fa pressante: dove dovremmo collocare infatti il limite tra ciò che è reale ed esterno, indipendente da noi, e ciò che è soggettivo? La domanda è essenziale se vogliamo edificare una fisica, che diverrà la fisica classica, le cui leggi siano indipendenti dall'osservatore. Galilei nel *Saggiatore* ci dà una linea guida fornendo l'esempio del calore. Il calore non è una proprietà di un corpo ma della relazione che passa tra questo e la nostra epidermide. Un corpo caldo ha le sue molecole che si agitano più delle molecole che formano l'epitelio e noi pertanto assorbiamo, col contatto, parte di quel movimento casuale interpretandolo con l'aggettivo caldo. Quando invece tocchiamo un corpo freddo esso non possiede le proprietà di freddezza. Semplicemente le nostre molecole si agitano maggiormente delle sue, e questa volta quel moto casuale viene trasferito dalla pelle all'oggetto. Insomma, possiamo descrivere i nostri sensi mediante il movimento dei corpuscoli di cui sono fatti sia il sensore biologico, l'epitelio o l'occhio, che gli oggetti esterni sotto indagine. Poi il cervello ricostruisce questi impulsi traducendoli in immagini, colori, profumi, sensazioni tattili ecc, ovvero nell'atto percettivo.

In questo modo se rimuovessimo tutti gli organi di senso, dice Galileo, elimineremmo tutte queste qualità secondarie e solo quelle primarie resterebbero della realtà esterna, ovvero la forma geometrica dei corpi, di quante parti è formato un corpo, e come esse si muovono nello spazio e nel tempo. Insomma resta ciò che definiamo fisica. Pensateci bene. La fisica si occupa proprio del moto dei corpi rigidi nello spazio e nel tempo. Di pianeti attorno al Sole o di elettroni attorno al nucleo degli atomi. Di oscillazione elettriche e magnetiche nello spazio come fossero onde del mare. E se pensate alla chimica organica, con le sue immagini di atomi di carbonio disposti a formare strutture geometriche, essa segue proprio quel principio. E se pensate alla biologia molecolare, con molecole di DNA e proteine viste come atomi disposti in configurazioni ordinate e funzionali tali da accumulare e leggere informazione, vedrete proprio l'enunciato di Galilei. E infine se pensate alle interazioni tra i neuroni, che avvengono mediante scambi di ioni, che sono alla base del pensiero stesso o meglio

il suo corrispettivo neurale, capite bene come si innesta la neurobiologia nello stesso filone della teoria della conoscenza espressa da Galilei ne il *Saggiatore*. Ma ecco allora che la scienza prende una strada senza ritorno: è possibile infatti che le qualità secondarie in realtà possano essere comunque descritte in seno alla fisica come movimento di corpuscoli o configurazioni atomiche o di corrente tra neuroni? In tal caso tutto sarebbe qualità primaria. E viceversa se esiste una barriera tra qualità primarie e secondarie dove collocarla? La fisica ha tentato così di estendere sempre più il dominio delle qualità primarie nella spiegazione del mondo fino a inglobare le secondarie, procedendo se vogliamo in modo opposto all'arte, in cui la sensazione, la percezione, il sentire è esteso al mondo attribuendogli un significato che la scienza non gli conferisce per metodo. Ma procedendo sulla via intrapresa da Galilei si incontrano ostacoli e contraddizioni inattese. Vediamo di che si tratta concentrandoci appunto sul meccanismo della visione.

Il processo visivo e la spiegazione atomistico-molecolare del colore

Se vogliamo descrivere il processo di visione del colore rosso di una mela dovremmo cercare di identificare le qualità primarie relative al colore. Appare ovvio, da quanto detto prima, che il colore non appartiene solo a questa categoria. E allora la domanda corretta è: in cosa consiste la qualità primaria del colore? La teorie ondulatorie della luce proposte da Huygens, Young e Maxwell, che ben si accordano ai ben noti fenomeni di interferenza e di polarizzazione della luce, forniscono un'indicazione: il colore è univocamente definito nell'aspetto della sua qualità primaria, dalla lunghezza d'onda, o dalla frequenza, dell'onda elettromagnetica che incide sulla retina dell'occhio. È una qualità primaria in quanto si tratta delle modalità di oscillazione di un mezzo, l'etere o il semplice campo elettromagnetico, e dunque siamo nel regime del movimento, anche se non di un oggetto materiale, ammesso che abbia senso un aggettivo del genere, ma di un campo, un'entità che popola il vuoto e figurabile

ancora nello spazio e nel tempo. Proprio ciò che Galilei definiva qualità primaria.

Anche la visione corpuscolare della luce, rivolutata dopo Newton con l'interpretazione dell'effetto fotoelettrico ad opera di Einstein nel 1905, fornisce un'utile descrizione del colore in termini di qualità primarie. In queste teorie esso non sarebbe altro se non l'energia dei singoli fotoni. Notate che quando in fisica parliamo di energia discutiamo di movimento (energia cinetica) o di una configurazione spaziale (energia potenziale), o ancora della ampiezza di un campo classico, o della frequenza di una particella quantistica, cioè della rapidità di oscillazione della funzione d'onda associata. Insomma, siamo in pieno regime di qualità primarie. Ora la percezione del colore, ovvero la qualità secondaria, a che livello si collocherebbe? Quand'è che possiamo parlare della rossità del rosso, che in filosofia si identifica nella categoria dei qualia? In effetti dire che certe lunghezze d'onda di un campo elettromagnetico o certi fotoni eccitano la retina non vuol dire parlare di quella sensazione che è appunto il rosso. Cosa impedisce all'apparato auditivo di percepire una certa lunghezza d'onda sonora come colore rosso? Pertanto è chiaro che l'idea secondo cui il colore sia identificabile solo con una lunghezza d'onda ha senso fino a un certo punto, essendo invece più legato alle modalità di interazione tra l'oggetto osservato e il sensore dell'osservatore, l'occhio, e tra questo e il cervello. E' allora la rossità del rosso collocabile nella retina? Già Young ipotizzò che alla base della percezione del colore ci fossero nell'occhio tre tipi di recettori corrispondenti ai tre colori fondamentali, il rosso, il verde e il violetto. Se questi recettori si stimolano simultaneamente, a seconda del differente grado di eccitazione essi forniscono la sensazione cromatica nel suo complesso, fornendoci l'enorme gamma di colori che vengono percepiti dalla nostra specie. Il colore giallo ad esempio viene creato eccitando prevalentemente i recettori del rosso e del verde. Come si vede, la percezione del colore va al di là della mera lunghezza d'onda. Prova ne è il fatto che con l'orecchio siamo in grado di distinguere le singole frequenze che compongono un suono, ma osservando il giallo non siamo in grado di percepire separatamente il verde e il rosso, ovvero le lunghezze d'onda corrispondenti a valori

attorno a 500nm e 600nm, rispettivamente.

Furono tuttavia gli esperimenti di Ragnar Granit, premio Nobel nel 1967, a confermare l'esistenza di tre diversi tipi di cellule retinali, dette coni, aventi la sensibilità per i tre colori fondamentali. Capire il colore vuol dire allora comprendere il funzionamento di queste cellule. Ancora una volta rientriamo nel filone di Galilei, di spiegare il meccanismo della visione mediante configurazioni spaziali di atomi e movimento di cariche. Il meccanismo è davvero complesso e lo svilupperemo qui in modo molto generale.

I coni e i bastoncelli sono le cellule retiniche adibite ad assorbire l'impulso luminoso. Le cellule della visione sono allungate e strutturate in quattro scompartimenti allineati, contenenti i fotorecettori, i mitocondri, il nucleo e un area sinaptica che si connette al nervo ottico (Fig. 2). Coni e bastoncelli sono molto simili, sebbene

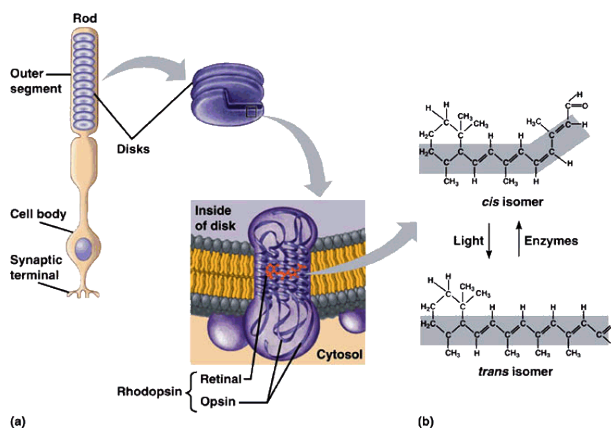


Figura 2: Rappresentazione schematica di un bastoncello, in alto a sinistra, della struttura della rodopsina, al centro, e della molecola di retinene nelle due configurazioni.

gli scomparti abbiano dimensioni differenti. Il pigmento contenuto nei fotorecettori è costituito principalmente da una proteina, la rodopsina, ed è composto da centinaia di dischi sottili disposti in pila. La rodopsina contiene una molecola, il retinene, un derivato della vitamina A piegata in modo tale da adattarsi a una nicchia formata nella rodopsina, come mostrato in Fig. 2. Quando il retinene assorbe la luce cambia forma, un processo che viene chiamato isomerizzazione. Questa isomerizzazione non avverrebbe se la luce non avesse l'energia sufficiente per essere assorbita, e questo accade solo se la sua energia è uguale alla differenza tra i livelli energetici discreti della molecola accessibili agli elettroni di cui è formata,

seguendo la nota legge di Bohr

$$h\nu = E_{S_1} - E_{S_0} \quad (1)$$

adattata ai livelli fondamentale, S_0 ed eccitato S_1 della molecola.

In sostanza giungiamo alla conclusione che l'informazione della lunghezza d'onda della luce viene tradotta, dal processo di assorbimento, in una configurazione geometrica molecolare e dunque ancora posizione degli atomi nello spazio. La rossità del rosso risiede nella configurazione geometrica della molecola di retinene? È ovvio che difficilmente potremmo attribuire la sensazione del rosso ad una configurazione molecolare, eppure in questo è stato trasformato il segnale luminoso.

Vediamo allora cosa accade a seguito dell'assorbimento. A seguito del cambiamento della configurazione inizia una catena fotochimica di eventi a cascata, in un tempo di soli 25 microsecondi e che porta ad una variazione di potenziale elettrico dei bastoncelli. Fu nel 1938 che Sellig Hecht scoprì che un bastoncello umano può essere eccitato addirittura da un singolo fotone innescando quel processo di amplificazione del segnale che riprenderemo tra breve quando parleremo delle questioni inerenti al problema della misura in fisica quantistica. Il segnale del quanto di luce viene così amplificato in circa 2 millesimi di secondo. A quel punto il segnale si propaga al nervo ottico e verso il cervello. In conclusione il rosso è l'impulso del neurone? A ben vedere la stessa tipologia di impulso viene generata nel processo dell'udito. Come possiamo allora distinguere che la causa dell'impulso è la luce e non il suono? Perché vediamo i colori e non li sentiamo? O perché non vediamo i suoni? Se tutto alla fine viene trasdotto in un segnale elettrico possiamo dire di aver compreso cosa sia il colore se esso non si distingue più da un suono? Appare chiaro che usando concetti fisici siamo giunti a estendere il dominio delle qualità primarie dal campo elettromagnetico alle connessioni neurali, ma è anche vero che saremmo giunti alla stessa conclusione con altri colori o addirittura con altri stimoli, tatto, gusto o udito. Siamo giunti a impulsi fisici indifferenziati, movimenti di cariche elettriche che popolano il cervello. In effetti è come se l'occhio fosse al buio, perché non vede

così come non vedono le macchine fotografiche, mentre il cervello, che è in effetti nelle tenebre, vede la luce. Allora la percezione di un colore e non di un altro o la percezione del colore e non del suono dovrà necessariamente avvenire in zone particolari del cervello e non in altre. Quindi dovremmo giungere alla conclusione che il colore è nei fatti una qualità primaria, ovvero la configurazione geometrica o elettrica di neuroni eccitati e collocati in una regione particolare del cervello. È davvero così?

Dove risiede la rossità del rosso?

Negli ultimi anni i neuroscienziati hanno fatto molti progressi nella comprensione delle strutture complesse che regolano l'attività delle cellule nervose e del cervello. Nonostante ciò molti scienziati e filosofi credono ancora che spiegare la mente, e in particolare la coscienza, attraverso scariche elettrochimiche che avvengono tra neuroni sia una provocazione.

Gli studi condotti negli ultimi decenni sull'attività neuronale degli animali, in particolare macachi, studi che restano nella tradizione galileiana sebbene all'inizio non poche resistenze furono mostrate all'uso della metodologia sperimentale sul problema mente-corpo, hanno stabilito che le informazioni visive che partono dagli occhi risalgono attraverso stadi successivi di un sistema neuronale di elaborazione dati molto complesso. In realtà questo aspetto era già noto fin dai tempi di Cartesio, il quale già si poneva la questione del percepire [6]. Cartesio espose l'idea secondo cui gli occhi inviano segnali, anzi immagini vere e proprie, al cervello mediante fibre che a un certo punto svaniscono in una ghiandola se osservate ad occhio nudo. Cartesio credeva che la mente, una entità immateriale capace di sentire e capire, risiedesse proprio in una zona specifica che individuò nella ghiandola pineale, sede materiale dell'anima immateriale.

Oggi le neuroscienze hanno dimostrato come l'informazione dell'immagine retinica, colore, forma, movimento, sia spaccettata in gruppi che vengono distribuiti in varie zone del cervello che elaborano le singole informazioni topologiche, cinematiche e cromatiche. Cosa sappiamo oggi di questi collegamenti? È importante capire che la retina di ciascun occhio è in realtà suddivi-

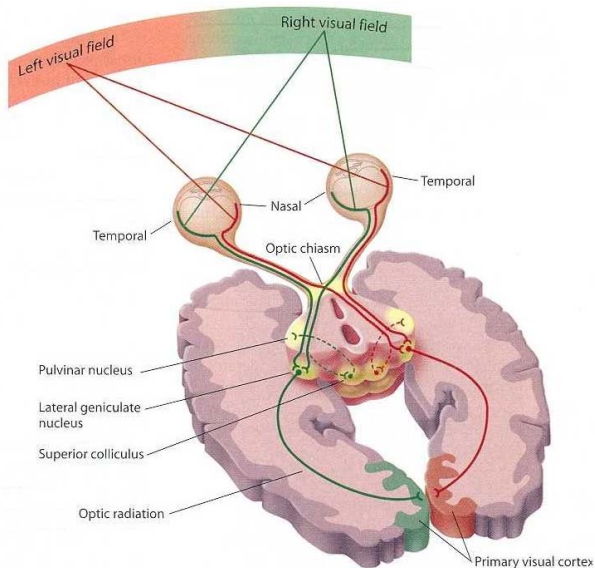


Figura 3: Schema semplificato dell'apparato visivo.

sa in due zone, una vicino al naso chiamata retina nasale e l'altra all'estremo opposto chiamata retina temporale (Fig. 3). Prendiamo l'occhio destro: dalla sua retina nasale destra si diparte un insieme di fibre nervose che procede verso la parte sinistra del cervello, mentre dalla retina temporale destra partono delle fibre che vanno verso l'emisfero destro del cervello. Queste ultime si congiungono con le fibre provenienti dalla retina nasale dell'occhio sinistro terminando in un piccolo nucleo chiamato nucleo genicolato destro. Lo stesso ovviamente accade nell'emisfero sinistro con il cosiddetto nucleo genicolato sinistro. I singoli neuroni dei nuclei possono essere attivati dagli stimoli visivi di un occhio o dell'altro ma non da entrambi. Questi nuclei hanno un volume di qualche millimetro cubo e sono formati da sei sottili strati di cellule neurali che vengono di solito indicate con la successione 1,2,6. Ecco allora la complicazione: le fibre nervose della retina temporale provenienti dall'occhio destro si collegano agli strati 2, 3 e 5 del nucleo genicolato destro. Negli strati 1, 4 e 6 arrivano invece le fibre della retina nasale dell'occhio sinistro. E' importante sottolineare che ogni punto della retina è mappato in un punto di questi strati, sicché si ha una sorta di mappa topografica dei vari punti della retina ma spaccettata e distribuita nei vari strati dei nuclei genicolati. Ma il viaggio dell'informazione non termina qui. Infatti ciascun nucleo genicolato è collegato, anche in questo caso, punto-punto, a un'area posteriore del cer-

vello chiamata area visiva, una per ciascun lobo del cervello. Quest'area visiva è chiamata V1. Qui si forma una mappa topografica dei segnali provenienti dai nuclei.

Si potrebbe credere allora che Cartesio avesse solo sbagliato nell'identificare la sede della percezione visiva nella ghiandola pineale, che sembrerebbe essere invece in V1, ma per il resto l'intuizione era corretta. Negli ultimi quindici anni tuttavia le neuroscienze ci hanno fornito una spiegazione della percezione in cui la sede non sarebbe un luogo specifico del cervello. Infatti l'area V1 è collegata ad altre aree della corteccia chiamate V2, V3, V4, V5 e V6. Questi sono gruppi di neuroni che ricevono stimoli a partire dall'area V1 in modo alquanto intricato. Ad esempio V1 è connesso con tutte le aree a cui invia segnali tranne che con V6 che è direttamente collegata con V2.

Ciò che abbiamo appreso è che la mappa topografica di V1, fedele rappresentazione elettrochimica e conforme della mappa ottica retinale, anche se non dobbiamo credere che si formi una sorta di immagine elettrica e spazialmente fedele di ciò che osserviamo, viene ulteriormente spaccettata e inviata mediante flusso elettrico a queste diverse aree. In particolare si è compreso che l'area V5 è adibita alla ricostruzione del movimento delle cose, l'area V3 alle forme, la V6 alla percezione dello spazio, e infine la V4 al colore (Fig. 4). La domanda sorge allora spontanea: se ci troviamo dinanzi ad una frammentazione della informazione o meglio ad una sua distribuzione, dove ha sede la percezione di una mela

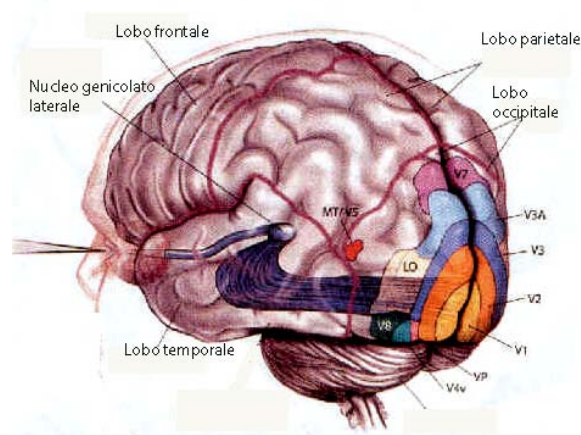


Figura 4: Localizzazione esterna delle aree visive del cervello, situate posteriormente.

rossa che cade? Se il rosso della mela è codificato da V4, la sua forma da V3, la sua caduta nello spazio dal ramo al suolo da V5 e V6, dove ha sede la ricostruzione di tutto questo? Ebbene la conclusione che si trae mediante tecniche di imaging diagnostico è che non vi è alcuna sede cartesiana particolare del cervello per la percezione: essa non è una registrazione passiva degli eventi esterni che ha sede in un punto specifico del cervello. La percezione è piuttosto la costruzione attiva di un flusso di segnali con cui le diverse aree interagiscono.

Un'osservazione sorprendente è che in questi percorsi visivi molti neuroni sia in V1 sia a livelli più alti della gerarchia di elaborazione rispondono con la loro caratteristica selettività agli stimoli visivi persino in animali completamente anestetizzati. Ovviamente un animale non è cosciente di tutta questa attività neuronale. Solo una minima frazione di neuroni sembra essere un plausibile candidato per quello che i fisiologi chiamano correlato neuronale della percezione cosciente, cioè rispondere in maniera tale da rispecchiare la percezione. Il piccolo numero di neuroni il cui comportamento riflette la percezione è distribuito lungo l'intero percorso visivo e non è parte di una singola area del cervello. Le scoperte fatte rivelano chiaramente che la consapevolezza visiva non può essere pensata come il prodotto finale di una successione di stadi di elaborazione. L'informazione visiva è più che altro un insieme di flussi stabili di informazione.

Stati diversi di stabilità possono corrispondere a stati differenti di coscienza visiva. È dunque questa la coscienza? Se è vero che la spiegazione della coscienza in termini di correlato neurale, ovvero una spiegazione puramente materialistica della percezione, è una naturale conseguenza del programma di Galileo che sfocia nell'estensione delle qualità primarie e dei metodi scientifici a tutto il mondo percettivo, è anche vero che qualcosa francamente sfugge. La sensazione che abbiamo del colore rosso non è coincidente ma solo associabile a schemi di flussi di corrente. Se percepiamo un colore e non un suono è perché pur essendo il rosso ed il Do trasdotti in correnti tra neuroni sono gli schemi di flusso che cambiano. Il punto, tra i tanti, non ancora chiaro è come mai attribuiamo significati diversi a queste percezioni simili ma agenti su, e tra, zone

diverse e delocalizzate del cervello. La strada è ancora lunga ma è palese che manca un ponte tra correlato neurale e significato della percezione. Ma non è nemmeno detto che possa essere risolto dalla scienza in quanto probabilmente non è una domanda ad essa pertinente. Nei fatti quando si studia la gravitazione noi associamo alla caduta dei gravi e al moto planetario enti matematici che possono andare dalle forze a distanza di Isaac Newton alla curvatura geometrica non-euclidea dello spaziotempo di Einstein. Dire che la massa genera le forze o la curvatura in realtà non vuol dire spiegare il fenomeno della gravità ma associare ai corpi visibili concetti ed entità mentali (massa, forze, spaziotempo) e delle regole matematiche ad esse correlate. La coscienza, qualunque cosa sia, non potrà mai essere spiegata in senso scientifico se non associando ad essa entità che seguono determinate regole (i potenziali d'azione e i flussi di carica dei correlati neuronali).

L'enigma della percezione classica del mondo

Se da un lato la visione galileiana ci ha spinti a descrivere la coscienza e la percezione come uno schema di flusso di neuroni attivi nel cervello (tutto è fatto di qualità primarie) con non pochi problemi ed enigmi ancora irrisolti, la nascita della meccanica quantistica ci pone dinanzi al problema che le qualità primarie della realtà potrebbero essere determinate proprio dall'osservatore, un problema definito come il paradosso della misura dello stato quantico. Oggi, contrariamente a ciò che accadeva anche solo un ventennio fa, siamo in grado di manipolare singoli oggetti quantistici, dai singoli atomi ai singoli fotoni.

Siamo anche in grado di realizzare stati quantici ben definiti da sovrapposizione di stati semplici, per poterli studiare. Un sistema quantistico, come un elettrone, che può trovarsi in due stati possibili può vivere per certi tempi in una sovrapposizione simultanea, una condizione non riscontrabile nel mondo classico delle cose percepite. Ad esempio un elettrone può avere uno stato di rotazione intrinseca, lo spin, che se misurato lungo un asse può assumere solo due possi-

bili valori, su $|\uparrow\rangle$ e giù $|\downarrow\rangle$, come a dire rotazione oraria e antioraria. Tuttavia, prima della misura o dell'atto osservativo, esso si troverà in una sovrapposizione quantistica, ovvero in una combinazione lineare dei due stati classici, che può essere descritto seguendo la notazione di Dirac

$$|S(t)\rangle = a(t)|\uparrow\rangle + b(t)|\downarrow\rangle \quad (2)$$

Qui a e b sono numeri complessi, in generale dipendenti dal tempo, il cui modulo quadro rappresenta la probabilità di trovare il sistema nello stato $|\uparrow\rangle$ o $|\downarrow\rangle$.

Questo stato $|S\rangle$ evolve temporalmente seguendo una legge deterministica che altro non è se non la ben nota equazione di Schrödinger

$$i\hbar \frac{d}{dt}|S(t)\rangle = H|S(t)\rangle \quad (3)$$

dove H è l'Hamiltoniana del sistema, ovvero un modo per descrivere la sua configurazione energetica.

Sebbene il sistema evolva temporalmente in uno spazio degli stati più ricco di quello delle fasi classico, e che non presuppone necessariamente una evoluzione nello spazio fisico, tale evoluzione è ancora deterministica, nel senso che ad una causa succede un effetto. Questo tipo di evoluzione è descritto da una trasformazione unitaria dello stato quantistico, ovvero lo stato $|S(0)\rangle$ iniziale evolve verso uno stato $|S(t)\rangle$ fornito dall'applicazione dell'operatore di evoluzione temporale $U(t, 0)$ allo stato iniziale

$$|S(t)\rangle = U(t, 0)|S(0)\rangle \quad (4)$$

che nello spazio degli stati è una sorta di rototraslazione di un vettore complesso iniziale.

L'aspetto importante è che per la meccanica quantistica il sistema si trova realmente in uno stato indeterminato di sovrapposizione, uno stato che non trova paragoni nel mondo classico di ciò che percepiamo e che spesso siamo costretti a descrivere con frasi del tipo il sistema è come se ruotasse simultaneamente in senso orario e antiorario. Tuttavia il formalismo quantistico prevede che quando avviene una misura dello stato quantico il sistema collassi istantaneamente in uno dei due stati, ad esempio $|\uparrow\rangle$, con una certa probabilità data per questo stato dal modulo quadro dell'ampiezza corrispondente, in questo

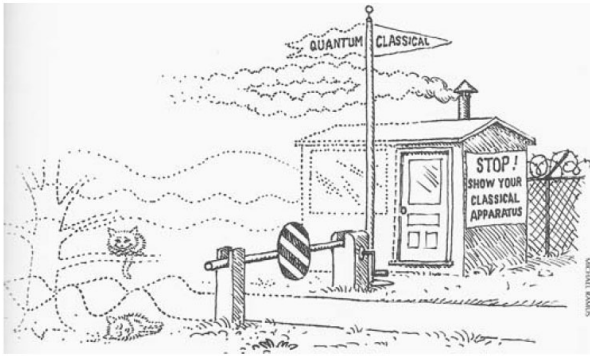
caso $|a(t)|^2$. Questo atto osservativo è descritto dall'operatore proiettore R per cui abbiamo che il collasso è descritto in questo modo:

$$R|S(t)\rangle \rightarrow |\uparrow\rangle \quad (5)$$

con probabilità $|a(t)|^2$ per quell'istante. Questo collasso avviene con una certa probabilità intrinseca, per cui non possiamo prevedere con certezza cosa accadrà a seguito della misura. La teoria non dice nulla circa le cause di questo collasso e nei fatti la teoria quantistica si fonda su due schemi del tutto diversi descritti dai due operatori U ed R : un operatore che stabilisce la continuità e il determinismo, U , e uno che stabilisce la discontinuità, il maledetto salto quantico come ebbe a dire Schrödinger, e l'indeterminazione, il caso al posto della legge, R .

Il succo è che finché non avviene l'osservazione dello stato, l'oggetto quantistico permane nello stato non classico di sovrapposizione. Cosa determina il collasso della funzione d'onda, ovvero lo stabilirsi di una realtà classica all'atto della misura? E cosa c'entra questo col processo di visione? Si potrebbe sostenere che questo problema non ci tocchi in quanto occhio e cervello sono nei fatti oggetti classici e non quantistici. Ma è un falso problema per due ragioni, il primo banale e il secondo meno. La prima ragione è che se tutto è un aggregato di atomi, occhio e cervello inclusi, e gli atomi sono oggetti quantistici, allora occorre comprendere perché percepiamo una realtà classica visto che l'intera realtà non lo è. La seconda ragione è che abbiamo detto che un singolo fotone, che è nei fatti un oggetto quantistico, può essere rilevato dalla retina, per cui il passaggio dal quantistico al classico, almeno nel caso della visione, va spiegato proprio dall'occhio al cervello fino alla percezione. Quindi i problemi sono davvero complessi.

Vi è un livello dove il mondo quantistico cede il passo a quello classico? E dove si colloca questo livello? Alla scala atomica? Al livello delle proteine? Del cervello? O al livello meno materiale della percezione (Fig. 5)? Nel corso dello sviluppo della fisica quantistica vi è stata una interpretazione che ha decretato la vittoria della impostazione di fisici come Bohr nella interpretazione della realtà: l'interpretazione di Copenhagen.



Drawing by Michael Ramus, 1991.
© American Institute of Physics

Figura 5: Rappresentazione del confine tra mondo classico e quantistico. Dove collocare il confine? Esiste un confine?

Chi fa collassare l'osservatore?

Nella interpretazione di Copenaghen dovuta a Bohr e Heisenberg, si separa l'oggetto osservato, trattato quantisticamente, e l'apparato di misura, trattato in termini classici (Fig.5). È l'aspetto classico dell'apparato di misura, la sua macroscopicità, a determinare la natura fisica reale dell'oggetto quantistico osservato, cioè il collasso della funzione d'onda da uno stato di sovrapposizione ad uno stato classico e misurabile. Questa interpretazione ha però dei problemi perché non stabilisce come debba essere l'apparato di misura per essere considerato classico e non quantistico.

Sono le dimensioni a determinare la classicità dell'apparato? Nessuna risposta dall'interpretazione di Copenaghen. La faccenda diviene ancora più complessa nel momento in cui il sistema quantistico è il fotone e l'apparato, il sensorium. Nel processo di visione il fotone può essere catturato da una molecola di retinene con una certa probabilità. Da un punto di vista classico il fotone può essere assorbito portando la molecola nello stato eccitato e con configurazione *trans*-, stato che indicheremo con $|trans, 0\rangle$, in cui 0 rappresenta l'assenza di un fotone ormai assorbito, ma può anche non essere assorbito, lasciandola in configurazione *cis*- con un fotone non assorbito, indicato con lo stato $|cis, 1\rangle$. Pertanto, per un certo tempo il sistema si troverà in una sovrapposizione quantistica data da

$$S(t)\rangle = a(t)|cis, 1\rangle + b(t)|trans, 0\rangle \quad (6)$$

Come possiamo vedere, il fotone e lo stato del-

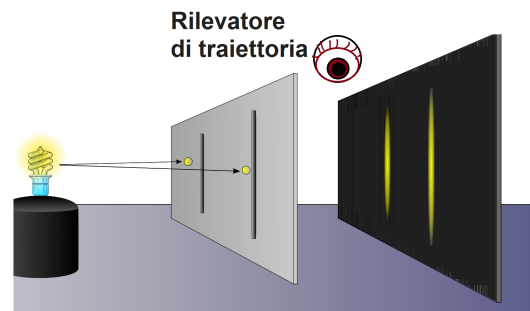
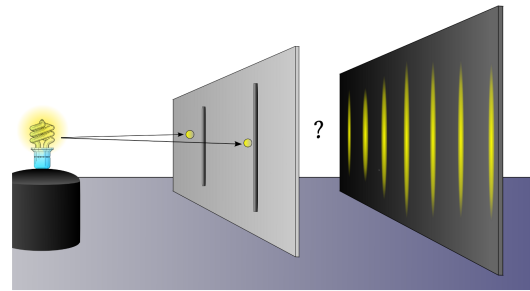


Figura 6: In alto: se non disponiamo un apparato che risponda alla domanda quale delle due fenditure ha attraversato il fotone? sullo schermo appariranno delle frange di interferenza e si svelerà la natura ondulatoria della luce. In basso: se disponiamo di un rivelatore di traiettoria e cerchiamo di rispondere al quesito precedente la figura di interferenza sparisce e al suo posto si osserveranno solo due strisce luminose corrispondenti alle due fenditure. Avremo svelato la natura corpuscolare della luce. Tuttavia i due apparati sono complementari e non è possibile svelare entrambe le proprietà (dualismo onda-corpuscolo).

la molecola sono *entangled*, ovvero lo stato non è fattorizzabile. Alla configurazione *trans*- tuttavia corrisponde uno stato in cui l'intera cellula visiva, *entangled* con la molecola di retinene, svilupperà un potenziale di membrana mentre a quella *cis*- no. Questo finché lo stesso cervello e lo stato percettivo dell'osservatore si troveranno in una sovrapposizione di stati tra l'aver percepito il colore e no. Se tutto è fatto di atomi e particelle e se la fisica di questi oggetti è quella quantistica ecco che quando osserviamo un dipinto dovremmo sentirci in una sovrapposizione quantistica di stati mentali causati dallo stato di sovrapposizione del fotone assorbito e no. In effetti questa catena, chiamata catena di Wigner, porterebbe al

seguinte stato mentale sovrapposto

$$|S(t)\rangle = a(t) | \text{no percezione, } V1 \text{ disattivo, cis, } 1 \rangle + b(t) | \text{percezione, } V1 \text{ attivo, trans, } 0 \rangle$$

Eppure non c'è esperienza più netta del fatto che ci troviamo costantemente in uno stato mentale univocamente determinato. È probabile che questo stato di sovrapposizione avvenga in tempi molto piccoli per poi lasciare il passo ad uno stato classico, ma in tal caso cosa determina il collasso dello stato di sovrapposizione se è l'osservatore stesso in sovrapposizione?

Questo è il ben noto caso del gatto di Schrödinger in cui un sistema quantistico a due stati è messo in relazione, *entangled*, con un sistema macroscopico vivente e potenzialmente dotato di coscienza: il gatto, o, meglio, la sua coscienza. Pertanto o la coscienza è in sovrapposizione e va spiegato come mai noi percepiamo le cose in modo univoco, oppure la coscienza si comporta come gli apparati di misura di Bohr costringendo la realtà a collassare in uno stato classico. In tal caso gli stessi stati mentali, qualità secondarie, potrebbero determinare la realtà delle qualità primarie più che essere il prodotto classico di qualità primarie come vorrebbe la fisica classica. Il rapporto tra qualità primarie e secondarie sarebbe completamente ribaltato in quanto la percezione determinerebbe la realtà classica e non il contrario. Se alcuni di voi stanno aggrottando le sopracciglia siete in buona compagnia, ma questi sono i paradossi della fisica moderna connessi al concetto di percezione e ai fondamenti epistemologici della fisica. Ma le sorprese non finiscono qui.

Le qualità primarie non sono reali finché non le si osserva

Secondo l'interpretazione di Copenaghen se usiamo apparati di misura tali da mostrare proprietà ondulatorie di un sistema allora tale sistema rivelerà il suo aspetto ondulatorio, così come se decidiamo di usare apparati di misura di proprietà corpuscolari della particella quantistica in esame si osserveranno caratteristiche corpuscolari. Questo principio va sotto il nome

di principio di complementarità. Tuttavia, non possiamo adoperare lo stesso apparato per far emergere sia la natura corpuscolare sia quella ondulatoria.

Un esempio è il principio di indeterminazione di Heisenberg in cui non possiamo approntare un singolo apparato di misura che ci dia il valore della posizione e della velocità di una particella quantistica. Ma torniamo al dualismo onda-corpuscolo. Nel caso dell'esperimento a due fenditure di Young realizzato però, grazie alle attuali tecnologie, con singole particelle come fotoni, la faccenda diventa chiara, anche se paradossale. Se inviamo i singoli fotoni verso due fenditure e non ci chiediamo attraverso quale fenditura il fotone sia passato, cioè abbiamo una indeterminazione sulla informazione della traiettoria, osserveremo, via via che i fotoni si accumuleranno nell'apparato di misura, una immagine di interferenza sullo schermo. Se invece cerchiamo di determinare da quale fenditura il fotone sia passato disponendo ad esempio un rivelatore immediatamente dietro una delle due fenditure, ci poniamo quindi domande che hanno a che vedere con una proprietà dei corpuscoli come la traiettoria, la figura di interferenza tipica delle onde non si formerà. Ora questo aspetto non turba più di tanto, ma quando si impostano esperimenti cosiddetti a scelta ritardata emerge la problematica del tutto quantistica.

Questi esperimenti furono per la prima volta pensati dal celebre fisico John Archibald Wheeler [7]. Supponiamo una sorgente come una quasar disposta a un miliardo di anni luce da noi e che tra essa e noi vi sia interposta una galassia massiccia mentre noi siamo comodamente seduti nel nostro laboratorio sulla Terra. Stando alla teoria della relatività generale di Einstein la massa della galassia incurverà lo spaziotempo attorno ad essa, deviando un eventuale raggio di luce, effetto noto come lente gravitazionale (Fig. 7).

L'immagine della quasar risulterà pertanto divisa in due o più copie. Non dimentichiamo inoltre che se una quasar dista un miliardo di anni luce da noi, vedremo col nostro apparato fotoni partiti ben un miliardo di anni fa. La quasar potrebbe essersi nei fatti disintegrata milioni di anni fa per quel che ne sappiamo, sicché staremmo guardando un evento del passato. Ora supponiamo che un fotone abbia abbandonato

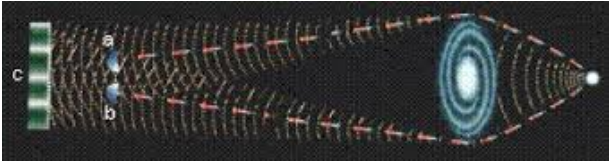


Figura 7: Schematizzazione dell'esperimento a scelta ritardata di Wheeler su scala cosmica. La Quasar emette un fotone che può scegliere entrambe le vie fornite dal lensing gravitazionale. Tuttavia sarà l'apparato scelto milioni di anni dopo a determinare quale dei due cammini, se non entrambi, il fotone avrà percorso, a seconda se si voglia indagare la natura corpuscolare oppure ondulatoria del fotone.

la quasar un miliardo di anni fa, quando ancora sulla Terra non esisteva nulla di così complesso come noi da porsi domande del tipo: cosa misurerò sul mio apparato? Il fotone avrebbe potuto scegliere una delle due possibili vie mostrate in figura. Stando alla fisica quantistica esso le prenderà simultaneamente entrambe se non vogliamo misurarne la traiettoria e una sola se vogliamo individuare da dove è passato. Nel primo caso giunto sulla Terra si comporterà seguendo le regole dell'interferenza ondulatoria, nel secondo le regole di particelle dotate di traiettorie singole e classiche, sparirebbe l'interferenza. Possiamo scegliere se vedere interferenza o no dipendentemente se disponiamo o meno di un rivelatore di traiettoria. Questa scelta però sarà fatta milioni di anni dopo che il fotone abbandona la quasar, per lo meno bisognerà attendere la nascita della specie umana, della scienza, della fisica quantistica e della fabbricazione di quegli apparati di misura. Quando il fotone ha abbandonato la quasar ed è giunto nei pressi della galassia, nulla di tutto ciò c'era ancora sul nostro pianeta. Se pertanto la natura del fotone, onda o particella, è stabilita all'atto della misura quale natura avrà se, ancora in viaggio, dovrà impiegare milioni di anni prima di giungere al nostro apparato? Se partiti un miliardo di anni fa noi non esistevamo e la vita era probabilmente ancora in forma unicellulare? Forse l'osservazione futura determina lo stato passato del fotone? Volendo escludere una ipotesi così peregrina, sebbene occorrerebbe rifletterci più di quanto si creda, emerge nei fatti che la realtà del fotone è stabilita solo quando noi scegliamo l'apparato di misura da utilizzare, prima della scelta la sua realtà oggettiva, qualità

primaria, è indeterminata, nei fatti non esistente.

Come vediamo, gli esperimenti a scelta ritardata ci pongono un quesito non da poco: le qualità primarie come la traiettoria non sono più reali ma assumono criterio di realtà solo quando decidiamo di impostare un esperimento tale da chiederci da dove è passata la particella? Prima di allora non possiamo dare uno status di realtà ad alcune proprietà fisiche, come posizione e velocità, che davamo per scontate. Ci sono proprietà primarie che resistono alla erosione della fisica quantistica? Diremmo senza esitare che almeno gli a-priori kantiani come lo spazio e il tempo devono essere reali. Certo non assoluti come intendevano Newton e Kant, ma per lo meno reali, qualità primarie a tutti gli effetti. Eppure la fisica quantistica mette in crisi anche questo.

Lo spazio e il tempo nella fisica quantistica

Questo aspetto sconcertante è ben espresso nell'ambito di misure di particelle *entangled*. Supponiamo che una sorgente di particelle emetta coppie correlate. Ad esempio immaginiamo un atomo di spin 0 che si disintegra in due particelle di spin 1 e -1, di modo che la somma sia sempre zero per la conservazione del momento angolare. Poiché lo stato $| -1, 1 \rangle$ e $| 1, -1 \rangle$ sono altrettanto probabili, il sistema delle due particelle evolverà come un tutt'uno, *entanglement*, ma in sovrapposizione quantistica

$$|S\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [|1, -1\rangle + |-1, 1\rangle] \quad (7)$$

Ora supponiamo che le particelle viaggino per milioni di anni luce e giungano su due galassie molto distanti in cui vi sono due osservatori A e B. L'osservatore A decide di osservare la sua particella e dispone il rivelatore in modo da misurare la particella nello stato -1. Se il contatore scatta, indicandoci un segnale, ad esempio H, allora la particella si trova in quello stato, altrimenti si troverà nello stato +1, e il contatore indicherà un altro stato, ad esempio V. Supponiamo che esso scatti H. Cosa misurerà l'osservatore B? Se scatta lo stato $|S\rangle$ del sistema collasserà nello stato che contiene lo stato $|-1\rangle$ della particella misurata da A. Questo stato non è altro che $|-1\rangle$,



Figura 8: Un laser (1) emette una coppia di fotoni (2), schematizzati con le due onde elettromagnetiche azzurra e gialla, che si trovano in stato *entangled*. Essi incidono su un rivelatore di stato (ad esempio la polarizzazione) (3) connesso con un contatore (4). Esperimenti di questo tipo mostrano che i fotoni scambiano informazione sul proprio stato all'istante, indipendentemente dalle distanze coinvolte. Sebbene la relatività non venga violata in quanto l'analisi delle coincidenze può essere realizzata solo mediante un canale classico, vincolato al limite della velocità della luce, la concezione classica dello spazio viene ovviamente alterata.

1>. Ne deriva che B misurerà la particella a lui corrispondente in 1, e indicherò V (Fig. 8).

La cosa interessante è che questo effetto avviene all'istante, si tratta del collasso della funzione d'onda, e indipendentemente dalla distanza. È inoltre molto curioso che dal punto di vista relativistico questo evento simultaneo dia origine ad un paradosso: chi è la causa del collasso di B nello stato 1? Diremmo che la causa è A, che ha fatto collassare il suo sistema, aleatoriamente, nello stato -1. Eppure possiamo metterci in un sistema di riferimento, stando alla relatività ristretta, in cui è B a venire temporalmente prima per cui la causa è ciò che consideravamo l'effetto. Tutto ciò che è classico, distanza, tempo e causalità salterebbero con i sistemi *entangled* la cui descrizione non è spaziotemporale. L'interpretazione di Copenaghen, portata alle estreme conseguenze, conduce perciò alla conseguenza che la realtà, o parte di essa, è una mera creazione della scelta osservativa e che anche lo stesso concetto di spazio, tempo e causalità potrebbero essere mere ricostruzioni del cervello in una realtà profondamente quantistica nella quale essi

non sono reali.

Quale realtà ?

Dopo questo percorso tra fisica classica, neuroscienze, fisica quantistica, filosofia ed epistemologia possiamo tirare qualche conseguenza circa la natura della realtà e della percezione? Abbiamo visto come la fisica classica, nel programma impostato da Galileo, abbia stabilito che non tutto ciò che osserviamo è reale. I colori, la striscia luminosa che si vede sul mare al tramonto, gli stessi suoni sono in realtà un parto del nostro cervello. Ma qualcosa resta. La forma delle cose, la loro traiettoria, lo spazio e il tempo. Eppure le neuroscienze ci hanno mostrato come tutte queste informazioni, proprio come il colore, sono decodificate in aree diverse del cervello, per cui ciò che è l'oggetto della fisica risulta essere quello che il cervello filtra. Certo, l'ipotesi implicita è che ciò che percepiamo sia una ricostruzione alquanto fedele della realtà fuori da noi, ma nei fatti questa ipotesi ha per lo meno dovuto essere modificata.

Inoltre, l'applicazione di teorie fisiche al funzionamento del cervello e della coscienza ci spinge verso direzioni in cui ciò che percepiamo e l'atto percettivo stesso trovano la loro essenza in configurazioni più o meno stabili di neuroni e flussi di carica elettrica. Dove inizia allora il libero arbitrio? Mi appare alquanto ovvio che impostando il problema in questo modo non solo le qualità secondarie nei fatti spariscono, essendo tutto spiegabile in termini di particelle, ma il libero arbitrio non potrebbe esistere, con buona pace di chi crede nella responsabilità individuale. Se non siamo d'accordo con questa conclusione allora stiamo sostenendo che la coscienza è qualcosa d'altro.

Questa impostazione oggettiva della natura, quello che va sotto il nome di realismo, ha subito una battuta d'arresto con la fisica quantistica, gli esperimenti a scelta ritardata, realmente realizzati con interferometri di Mach Zender [8], e quelli di *entanglement*. Stando a questi esperimenti e alla interpretazione di Copenaghen la realtà, o meglio quell'elenco di qualità primarie della realtà, non ha una sua esistenza indipendente dall'osservatore. La percezione potrebbe giocare un ruolo cruciale. Addirittura lo stesso Wheeler,

in un atto abbastanza coraggioso, sostenne l'idea che lo stesso universo potrebbe essere venuto all'esistenza con una specie di atto osservativo retroattivo di osservatori futuri.

Quando la fisica prende vie troppo poco ortodosse si giunge anche a questo, ma in fondo chi può dire quanto poco debba essere strana la realtà? Infine abbiamo visto come la stessa natura dello spazio e del tempo, se vogliamo salvare il concetto secondo cui nessun segnale può viaggiare più velocemente della luce, sono messe in crisi da esperimenti di *entanglement*. Insomma non solo la realtà verrebbe in parte costruita nel sensorium, ma addirittura ciò che il sensorium percepisce non è la realtà fondamentale delle cose su cui si è eretta la fisica classica.

Ne deriva che, alla luce di questo studio che ha visto incontrarsi epistemologia, fisica e neuroscienze la domanda che cosa sia la realtà è una questione che forse andrebbe formulata in questo modo: quale teoria stiamo adoperando qui e ora per descrivere le nostre percezioni? Riusciremo per questa via a giustificare i significati che attribuiamo alle cose? Può il senso estetico, il bello, lo sgomento che si prova osservando un cielo sconfinato e silenzioso essere spiegabili come flussi di corrente tra parti di cervello? E che ruolo ha l'evoluzione, di cui siamo figli, nella struttura cerebrale e percettiva di Homo Sapiens da cui le stesse teorie scientifiche emergono?

La scienza, pur partendo da una descrizione di ciò che osserviamo demolisce la realtà fornitaci dai sensi, arricchendola di entità non osservabili direttamente, dai quark allo spazio-tempo, dall'energia oscura alle forze a distanza di Newton, dai campi elettromagnetici ai fotoni. Una realtà di qualità primarie che però è continuamente messa in discussione proprio perché queste entità sono solo temporanee e frutto di un contesto storico e culturale, e a quanto pare anche biologico.

Quando osserverete un dipinto o un tramonto, o ammirerete l'equazione definitiva della fisica, pensate a tutto questo.



- [1] G. GALILEI: *Il Saggiatore* (1623). Feltrinelli, Milano (2001).
- [2] J. LOCKE: *Saggio sull'intelletto umano* (1689). Bompiani, Milano (2007).
- [3] G. GALILEI: *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632). Rizzoli, Milano (2008).
- [4] P. REDONDI: *Galileo eretico*. Laterza, Bari (2009).
- [5] M. GUIDUCCI: *Discorso delle comete* (1619). Anteonore, Roma (2002).
- [6] C. SANTINELLI: *Mente e corpo. Studi su Cartesio e Spinoza*. Quattroventi, Urbino (2000).
- [7] J.D. BARROW, P. C. W. DAVIS, C. L. HARPEM: *Science and ultimate reality: Quantum theory, Cosmology and Complexity*. Cambridge University Press, Cambridge, UK (2004).
- [8] J. VINCENT, ET AL.: "Experimental Realization of Wheeler's Delayed-Choice Gedanken Experiment", *Science* **315** (2007) 966-968.



Marco Mazzeo: Marco Mazzeo è ricercatore in Fisica sperimentale presso il Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi" dell'Università del Salento. Si occupa di nanofotonica e sviluppo di dispositivi molecolari che vanno dalla generazione di luce incoerente (OLED) allo sviluppo di nuove strutture per la generazione di luce coerente per inversione di popolazione (Laser) o da condensati di Bose Einstein a temperatura ambiente (Laser polaritonici). Appassionato di divulgazione scientifica, di storia della scienza e delle religioni.