

OGNI SCOLARETTO SA CHE ...¹

La scienza, come l'arte, la religione, il commercio, la guerra e anche il sonno, è basata su *presupposti*. Essa, tuttavia, differisce dalla maggior parte delle altre branche dell'attività umana non solo perché sono i presupposti degli scienziati a determinare le vie seguite dal pensiero scientifico, ma anche perché gli obiettivi stessi di questi ultimi consistono nel controllo e nella revisione dei vecchi presupposti e nella creazione di nuovi.

In quest'ultima attività, è chiaramente desiderabile (ma non assolutamente necessario) che lo scienziato abbia piena coscienza dei propri presupposti e sia in grado di enunciarli. Inoltre, per dare giudizi scientifici è vantaggioso e necessario conoscere i presupposti dei colleghi che lavorano nello stesso campo. Soprattutto, è necessario che il lettore di testi scientifici conosca i presupposti di chi scrive.

Ho insegnato varie branche della biologia del comportamento e dell'antropologia culturale a studenti americani di diverse scuole e ospedali, dalle matricole universitarie agli psichiatri interni, e mi sono imbattuto in una stranissima lacuna nel loro modo di pensare, che deriva dalle carenze di certi *strumenti* concettuali. Questa carenza è distribuita in modo abbastanza uniforme a tutti i livelli di istruzione, tra gli studenti di entrambi i sessi, fra chi si occupa di letteratura o arte e chi si occupa di scienza. Si tratta, in modo specifico, dell'ignoranza dei presupposti non solo della scienza, ma anche della vita di ogni giorno.

Questa lacuna, stranamente, è meno clamorosa in due gruppi di studenti che molto farebbe supporre in forte contrasto tra loro: i cattolici e i marxisti. Entrambi i gruppi, per riflessione personale o per averne sentito parlare, sanno qualcosa sugli ultimi 2500 anni del pensiero umano, e riconoscono entrambi, in una certa misura, l'importanza dei presupposti filosofici, scientifici ed epistemologici. Ad entrambi è difficile insegnare, perché tale è l'importanza che essi attribuiscono alle premesse e ai presupposti «giusti», che l'eresia equivale per loro a una minaccia di scomunica. È naturale che chi nell'eresia sente un pericolo si preoccuperà di chiarire bene a se stesso i propri presupposti e diventerà una specie di esperto in materia.

Coloro cui sfugge completamente l'idea che è possibile aver torto non possono imparare nulla, se non la tecnica.

L'argomento di questo libro è molto vicino a ciò che sta al centro della religione e dell'ortodossia scientifica. I presupposti — e alla maggior parte degli studenti bisogna insegnare come si presenta un presupposto — sono cose da portare alla luce del giorno.

C'è tuttavia un'altra difficoltà, tipica soprattutto dell'ambiente americano. Nei loro presupposti gli americani sono indubbiamente rigidi al pari di chiunque altro (e sono rigidi, su questi argomenti, quanto l'autore del presente libro), ma reagiscono in modo strano di fronte a qualunque enunciazione precisa di un presupposto. Di solito, una tale enunciazione è considerata ostile o ironica oppure (ed è la cosa più grave) è avvertita come *autoritaria*.

Accade così che in questo paese, fondato per garantire la libertà religiosa, l'insegnamento della religione sia bandito dal sistema dell'istruzione pubblica. Naturalmente, chi appartiene a una famiglia poco religiosa non riceve alcuna preparazione religiosa fuori della famiglia.

Di conseguenza, enunciare in modo formale e articolato una qualunque premessa o presupposto significa trovarsi di fronte alla sottile resistenza non della contraddizione, poiché chi ascolta non conosce le premesse contraddittorie e non sa enunciarle, ma di quella raffinata sordità che i bambini usano per allontanare da sé i comandi e gli ammonimenti di genitori, insegnanti e autorità religiose.

Sia come sia, io credo all'importanza dei presupposti scientifici, all'idea che esistano modi più o meno buoni di costruire le teorie scientifiche e alla necessità di una chiara enunciazione

dei presupposti, così da poterli migliorare.

Questo capitolo è dedicato perciò a un elenco di presupposti, alcuni familiari, altri sconosciuti ai lettori i cui pensieri sono stati tenuti lontani dalla brutale idea che certe proposizioni sono semplicemente errate. Alcuni strumenti di pensiero hanno perso il loro filo e sono quasi del tutto inutili, altri sono così taglienti da risultare pericolosi. Ma il saggio avrà l'uso degli uni e degli altri.

Vale la pena tentare di individuare certi presupposti fondamentali che tutte le *menti* devono condividere, o viceversa, definire la mente elencando un certo numero di queste caratteristiche fondamentali della comunicazione.

I. LA SCIENZA NON PROVA MAI NULLA

La scienza talora *migliora* le ipotesi, talora le confuta, ma la *prova* è un altro paio di maniche e forse non si dà mai, se non nel regno della tautologia completamente astratta. Talvolta possiamo dire che se sono dati il tale e il talaltro postulato o supposizione astratta, *allora* la tale e talaltra cosa deve assolutamente seguire. Ma la verità su ciò che può essere *percepito* o raggiunto induttivamente partendo dalla percezione è qualcosa di affatto diverso.

Ammettiamo che la verità significhi una corrispondenza precisa tra la nostra descrizione e ciò che descriviamo, o tra la nostra rete totale di astrazioni e deduzioni e una qualche comprensione totale del mondo esterno. La verità in questo senso non è raggiungibile. E anche se ignoriamo le barriere della codificazione, cioè la circostanza che la nostra descrizione sarà fatta di parole, cifre o figure, mentre ciò che descriviamo sarà di carne, sangue e azione, anche se trascuriamo questo ostacolo della traduzione, non potremo mai sostenere di aver raggiunto la conoscenza ultima di alcunché.

Un modo convenzionale di presentare argomentativamente questo punto è più o meno il seguente: supponiamo che io vi dia una serie (di numeri o di altre indicazioni) e vi fornisca anche il presupposto che la serie è ordinata. Supponiamo per semplicità che si tratti di una serie di numeri:

2, 4, 6, 8, 10, 12...

Poi vi chiedo: «Qual è il numero successivo di questa serie?». Probabilmente risponderete: «14».

Ma in questo caso io replicherò: «Niente affatto, il numero successivo è 27». In altre parole, la vostra immediata generalizzazione sulla base dei dati forniti all'inizio, che si trattasse cioè della serie dei numeri pari, è stata dimostrata sbagliata o solo approssimata dall'evento successivo.

Andiamo avanti. Continuerò la mia esposizione generando la serie seguente:

2, 4, 6, 8, 10, 12, 27, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 27, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 27...

Se ora vi chiedo di indovinare il numero successivo, probabilmente direte «2». Dopo tutto, vi sono state fornite tre ripetizioni della successione da 2 a 27, e se avete una buona preparazione scientifica influirà su di voi il presupposto detto *rasoio di Occam o regola della parsimonia*, cioè la preferenza per le più semplici tra le ipotesi che si conformano ai fatti. Ma i fatti, quali sono? In realtà i fatti che voi avete a disposizione non vanno oltre la fine della successione (forse incompleta) che vi ho dato.

Voi *ritenete* di poter prevedere, e in effetti sono stato io a suggerirvi questo presupposto. Ma la sola base che possedete è la vostra preferenza (inculcata) per la risposta più semplice e la fiduciosa convinzione che la mia richiesta significasse davvero che la successione era incompleta e ordinata.

Sfortunatamente (o forse fortunatamente) il fatto, successivo non è in realtà mai

¹ Da G. Bateson, *Mente e natura*, Adelphi Milano 1984 (1979) p. 41-92

accessibile; tutto ciò che possedete è la speranza della semplicità, e il fatto successivo può sempre portarvi al livello di complessità successivo.

Oppure diciamo che, qualunque successione di numeri io vi presenti, esisteranno sempre alcuni modi semplici di descriverla, ma vi sarà un numero *infinito* di modi alternativi non vincolati dal criterio della semplicità.

Supponiamo che i numeri siano rappresentati da lettere:

x, w, p, n

e così via. Queste lettere potrebbero rappresentare numeri qualsiasi, magari frazioni. Basta solo che io ripeta la serie tre o quattro volte in una qualche forma verbale o visiva, o comunque sensoriale, anche sotto forma di stimolazione dolorosa o cinestetica, perché voi cominciate a percepire in essa una struttura. Nella vostra mente — e nella mia — essa diventerà un tema, e avrà un valore estetico: in questa misura sarà familiare e comprensibile.

Ma la struttura può venir cambiata o spezzata dall'addizione, dalla ripetizione, da qualunque cosa vi costringa a percepirla in modo nuovo, e questi cambiamenti non possono essere mai previsti con assoluta certezza perché non sono ancora avvenuti.

Non abbiamo sufficiente conoscenza del modo in cui il presente sfocerà nel futuro; non saremo mai in grado di dire: «Ecco! Il modo in cui percepisco e interpreto questa serie vale per tutte le sue componenti prossime e future», oppure: «La prossima volta che m'imbattevo in questi fenomeni, sarò in grado di prevedere l'intero loro corso».

La previsione non può mai essere valida in modo assoluto e perciò la scienza non può mai *provare* una proposizione generale e neppure *verificare* un singolo enunciato descrittivo e arrivare così alla verità ultima.

Vi sono altri argomenti per mostrare questa impossibilità. La tesi di questo libro (che a sua volta può convincervi certo solo nella misura in cui ciò che io dico si accorda a ciò che voi sapete, e può sgretolarsi o cambiare radicalmente nel giro di pochi anni) presuppone che la scienza sia, un *modo di percepire* e di dare per così dire «senso» a ciò che percepiamo. Ma la percezione opera solo sulla differenza. Ricevere informazioni vuol dire sempre e necessariamente ricevere notizie di *differenza*, e la percezione della differenza è sempre limitata da una soglia. Le differenze troppo lievi o presentate troppo lentamente non sono percettibili: non offrono alimento alla percezione.

Quindi ciò che noi, come scienziati, possiamo percepire è sempre limitato da una soglia: ciò che è subliminale non giunge ad arricchire le nostre cognizioni. In qualsiasi istante, la nostra conoscenza è sempre funzione della soglia dei mezzi di percezione di cui disponiamo. L'invenzione del microscopio, del telescopio, degli strumenti per misurare il tempo fino a una frazione di nanosecondo e per pesare quantità di materia fino a un milionesimo di grammo, tutti questi raffinatissimi dispositivi di percezione svelano quel che era del tutto imprevedibile ai livelli di percezione raggiungibili in precedenza.

Non solo non possiamo far previsioni sul momento successivo nel tempo, ma, più radicalmente, non possiamo far previsioni relative allo stadio successivo della dimensione microscopica, della distanza astronomica o del passato geologico. La scienza, come metodo di percezione — perché essa non può pretendere di essere altro che questo —, così come ogni altro metodo di percezione, ha una capacità limitata di raccogliere i segni esteriori e visibili di ciò che può essere verità.

La scienza non prova, *esplora*.

II. LA MAPPA NON È IL TERRITORIO E IL NOME NON È LA COSA DESIGNATA

Questo principio, reso famoso da Alfred Korzybski, opera a molti livelli. Esso ci ricorda in termini generici che quando pensiamo alle noci di cocco o ai porci, nel cervello non vi sono né noci di cocco né porci. Ma in termini più astratti la proposizione di Korzybski asserisce che sempre quando c'è pensiero o percezione oppure comunicazione sulla percezione vi è una trasformazione, una codificazione, tra la cosa comunicata, la *Ding an sich* e la sua comunicazione. Soprattutto, la relazione tra la comunicazione e la misteriosa cosa comunicata tende ad avere la natura di una *classificazione*, di un'assegnazione della cosa a una classe. Dare un nome è sempre un classificare e tracciare una mappa è essenzialmente lo stesso che dare un nome.

Tutto sommato, Korzybski parlava da filosofo e cercava di convincere gli altri a disciplinare il loro modo di pensare. Ma era una battaglia perduta in partenza. Quando passiamo ad applicare la sua massima alla storia naturale dei processi mentali umani, la cosa non è più così semplice. Forse la distinzione tra il nome e la cosa designata, o tra la mappa e il territorio, è tracciata in realtà solo dall'emisfero dominante del cervello. L'emisfero simbolico o affettivo, di solito quello destro, è probabilmente incapace di distinguere il nome dalla cosa designata: certo esso non si occupa di questo genere di distinzioni. Accade quindi che certi tipi di comportamento non razionale siano necessariamente presenti nella vita dell'uomo. È un fatto che noi abbiamo due emisferi, e da questo fatto non possiamo prescindere. È un fatto che questi due emisferi operino in modo un po' diverso l'uno dall'altro, e non possiamo sfuggire alle complicazioni che questa differenza comporta.

Con l'emisfero dominante possiamo considerare, ad esempio, una bandiera come una sorta di nome del paese o dell'organizzazione che essa rappresenta. Ma l'emisfero destro non fa questa distinzione e considera la bandiera sacramentalmente identica a ciò che essa rappresenta. Così «*Old Glory*» è gli Stati Uniti: se qualcuno la calpesta, può esserci una reazione di rabbia. E questa rabbia non la si diminuisce spiegando le relazioni tra mappa e territorio. (Dopo tutto chi calpesta la bandiera la identifica a sua volta con ciò che essa rappresenta). Ci saranno sempre e necessariamente moltissime situazioni in cui la reazione non è guidata dalla distinzione logica tra il nome e la cosa designata.

III. NON ESISTE ESPERIENZA OGGETTIVA

Ogni esperienza è soggettiva. Questo non è che un corollario di ciò che viene discusso nel paragrafo IV: che è il nostro cervello a costruire le immagini che noi crediamo di “percepire”.

È significativo che ogni percezione — ogni percezione conscia — abbia le caratteristiche di un'immagine. Un dolore è localizzato in una parte del corpo: ha un inizio, una fine e una collocazione, e si evidenzia su uno sfondo indifferenziato. Queste sono le componenti elementari di un'immagine. Quando qualcuno mi pesta un piede, ciò che sperimento non è il suo pestarmi un piede, ma l'immagine che io mi faccio del suo pestarmi il piede, ricostruita sulla base di segnali neurali che raggiungono il mio cervello in un momento successivo al contatto del suo piede col mio. L'esperienza del mondo esterno è sempre mediata da specifici organi di senso e da specifici canali neurali. In questa misura, gli oggetti sono mie creazioni e l'esperienza che ho di essi è soggettiva, non oggettiva.

Tuttavia, non è banale osservare che pochissimi, almeno nella cultura occidentale, dubitano dell'oggettività di dati sensoriali come il dolore o delle proprie immagini visive del mondo esterno. La nostra civiltà è profondamente basata su questa illusione.

IV. I PROCESSI DI FORMAZIONE DELLE IMMAGINI SONO INCONSCI

Questa asserzione generale sembra sia vera per tutto ciò che accade tra la mia azione a volte conscia di rivolgere un organo di senso verso una sorgente di informazione e l'azione conscia di ricavare informazioni da un'immagine che "io" credo di vedere, udire, sentire, gustare o odorare. Anche un dolore è sicuramente un'immagine creata.

Gli uomini, gli asini e i cani indubbiamente sono tutti consci di ascoltare e addirittura di drizzare le orecchie nella direzione del suono. Quanto alla vista, un oggetto che si muova alla periferia del mio campo visivo richiamerà la mia "attenzione" (qualunque cosa voglia dire), sicché volgerò gli occhi e anche il capo per guardare. È un atto spesso conscio, ma a volte quasi automatico, al punto che passa inosservato. Spesso sono conscio di girare il capo, ma ignoro quale oggetto periferico mi abbia spinto a farlo. La retina periferica riceve moltissime informazioni che rimangono fuori della coscienza — forse, ma non sicuramente, sotto forma d'immagine.

I *processi* della percezione sono inaccessibili; solo i *prodotti* sono consci e, ovviamente, sono i prodotti ad essere necessari. I due fatti generali — primo, che non sono conscio del processo di formazione delle immagini che vedo consciamente, e, secondo, che in questi processi inconsci io uso tutta una gamma di presupposti che vanno a integrarsi nell'immagine compiuta — sono, per me, il principio dell'epistemologia empirica.

Tutti, ovviamente, sappiamo che le immagini che "vediamo" sono in realtà fabbricate dal cervello o dalla mente; ma saperlo con l'intelletto è molto diverso dal rendersi conto che è davvero così. Questo aspetto della faccenda si impose con forza alla mia attenzione una trentina di anni fa a New York, in occasione di una dimostrazione pubblica data da Adalbert Ames, Jr. di certi esperimenti su come conferiamo profondità alle nostre immagini visive. Ames era un oculista che aveva lavorato su pazienti affetti da anisocoria, i cui occhi cioè formavano immagini di grandezza diversa. Ciò lo aveva portato a studiare le componenti soggettive della percezione della profondità. Poiché questo argomento è importante e costituisce la base stessa dell'epistemologia empirica o sperimentale, mi soffermerò un poco a descrivere il mio incontro con gli esperimenti di Ames.

Ames li aveva allestiti in un grande appartamento vuoto nel centro di New York. Ricordo che ce n'erano una cinquantina. Quando arrivai, non c'erano altri visitatori. Ames mi accolse e mi propose di cominciare dalla prima dimostrazione della serie mentre lui continuava a lavorare ancora un po' in una stanzetta che fungeva da ufficio. Il resto dell'appartamento, a parte due sedie a sdraio pieghevoli, non conteneva alcun mobile.

Passai da un esperimento all'altro: ciascuno comprendeva un qualche tipo di illusione ottica sulla percezione della profondità. La tesi di tutta la dimostrazione era che noi usiamo cinque indizi principali per arrivare a creare l'apparenza della profondità nelle immagini che formiamo quando attraverso gli occhi guardiamo il mondo esterno.

Il primo di questi indizi sono le dimensioni², cioè le dimensioni dell'immagine fisica sulla retina. Naturalmente non possiamo *vedere* quest'immagine, sicché sarebbe più esatto dire che il primo indizio per stabilire la distanza è l'angolo che l'oggetto sottende nell'occhio. Ma di fatto neppure quest'angolo è visibile. L'indizio della distanza registrato sul nervo ottico è forse la *variazione dell'angolo sotteso*³. Per

² Più precisamente avrei dovuto scrivere: «Il primo di questi indizi è il *contrasto* di dimensioni...».

³ Osservo non solo che i processi della percezione visiva sono inaccessibili alla coscienza, ma anche che è

dimostrare questa verità vi erano due palloncini posti in un ambiente buio, illuminati allo stesso modo, ma collegati in modo da poter trasferire l'aria dall'uno all'altro. I palloncini non si muovevano, ma quando uno si gonfiava e l'altro si sgonfiava l'osservatore aveva l'impressione che quello che si gonfiava s'avvicinasse e l'altro s'allontanasse. Col passaggio alterno dell'aria dall'uno all'altro, sembrava che i palloncini si muovessero alternativamente avanti e indietro.

Il secondo indizio era il contrasto di luminosità. Per dimostrarlo, i palloncini conservavano le stesse dimensioni e naturalmente non venivano affatto mossi. Cambiava solo l'illuminazione, che era più intensa ora sull'uno ora sull'altro. Quest'alternanza di illuminazione, come l'alternanza delle dimensioni, dava l'impressione che i palloncini si allontanassero a turno, secondo che la luce cadeva ora sull'uno e ora sull'altro.

Gli esperimenti successivi mostravano come questi due indizi, dimensioni e luminosità, potevano essere usati insieme e in opposizione tra di loro per dar luogo a una contraddizione. Il palloncino che si sgonfiava riceveva ora più luce dell'altro: questo esperimento composito introduceva l'idea che certi indizi sono dominanti rispetto ad altri.

La successione complessiva degli indizi così dimostrati comprendeva le dimensioni, la luminosità, la sovrapposizione, la parallasse binoculare e la parallasse prodotta dai movimenti del capo. La più potente tra esse era la parallasse generata dal moto del capo.

Dopo aver osservato venti o trenta di queste dimostrazioni, ero pronto per una breve pausa e andai a sedermi su una delle sedie a sdraio. La sedia mi rovinò sotto. Udendo il fracasso, Ames venne ad assicurarsi che tutto fosse a posto; poi restò con me e mi presentò i due esperimenti seguenti.

Il primo riguardava la parallasse (si veda il Glossario⁴). Su un tavolo lungo circa un metro e mezzo c'erano due oggetti: un pacchetto di sigarette Lucky Strike, infilzato su una punta di metallo che lo teneva sollevato di qualche centimetro dal piano del tavolo, e, all'estremità opposta, una scatoletta di fiammiferi anch'essa infilzata su uno spillo.

Ames mi fece mettere a un'estremità del tavolo e mi chiese di descrivere ciò che vedevo, cioè dove era-no posti i due oggetti e quanto mi sembravano grandi. (Nei suoi esperimenti Ames fa sempre osservare al soggetto la verità prima di sottoporlo alle illusioni).

Poi Ames mi indicò un'asse di legno posta verticalmente contro il bordo del tavolo, dalla mia parte, con un semplice foro rotondo attraverso il quale potevo guardare il tavolo per il verso della lunghezza. Mi disse di guardare attraverso il foro e di riferirgli ciò che vedevo. Naturalmente i due oggetti apparivano sempre lì dove sapevo che si trovavano, e le loro dimensioni erano quelle ben note.

Guardando attraverso il foro dell'asse non avevo più una veduta panoramica del tavolo ed ero costretto a usare un occhio solo. Ames però suggerì che avrei potuto ottenere una parallasse sugli oggetti scorrendo l'asse lateralmente.

Mentre spostavo l'occhio di lato seguendo l'asse, come per incanto l'immagine cambiò del tutto. Il pacchetto di Lucky Strike era finito d'un tratto all'estremità opposta del tavolo e sembrava alto e largo il doppio di un pacchetto normale. Anche la superficie della carta di cui era fatto aveva cambiato grana, e le sue minuscole irregolarità apparivano adesso più grandi. La scatoletta di fiammiferi, invece, aveva assunto all'improvviso dimensioni lillipuziane e pareva situata a metà del tavolo, nella posizione

impossibile formulare una qualunque descrizione verbale accettabile di ciò che deve accadere nel più semplice atto visivo. Per ciò che non è conscio il linguaggio non fornisce alcun mezzo di espressione.

⁴ Parallasse: moto *apparente* degli oggetti osservati quando l'occhio dell'osservatore si muove rispetto ad essi; differenza tra la posizione apparente degli oggetti vista da un occhio e la posizione apparente vista dall'altro (ndr).

in cui prima si vedeva il pacchetto di sigarette.

Che cosa era accaduto?

La risposta era semplice: sotto il tavolo, invisibili, c'erano due leve o sbarre che facevano spostare gli oggetti di lato quando io spostavo l'asse. Nella parallasse normale, come tutti sanno, quando guardiamo il paesaggio da un treno in corsa, gli oggetti più vicini sembrano passare più rapidamente: le mucche presso le rotaie spariscono in un batter d'occhio. Invece le montagne sullo sfondo passano così lentamente che, rispetto alle mucche, sembrano quasi viaggiare alla stessa velocità del treno.

In questo caso, le leve sotto il tavolo facevano muovere l'oggetto più vicino insieme con l'osservatore: il pacchetto di sigarette si comportava come se fosse stato lontano, la scatoletta di fiammiferi si muoveva come se fosse stata vicina.

In altre parole, muovendo l'occhio e insieme l'asse, creavo un rovesciamento di ciò che appare alla vista. In tali circostanze, i processi inconsci di formazione delle immagini costruivano l'immagine corretta. L'informazione ricavata dal pacchetto di sigarette veniva letta e utilizzata per formare l'immagine di un pacchetto lontano, ma l'altezza del pacchetto sottendeva nel mio occhio sempre lo stesso angolo: perciò ora il pacchetto sembrava avere dimensioni enormi. Analogamente, la scatoletta di fiammiferi in apparenza veniva avvicinata, ma continuava a sottendere lo stesso angolo che sottendeva dalla sua posizione reale. Ciò che avevo prodotto era un'immagine in cui la scatoletta sembrava aver dimezzato la sua distanza ma dimezzato anche le sue solite dimensioni.

Il meccanismo della percezione aveva prodotto l'immagine in conformità con le regole della parallasse, regole che furono espresse chiaramente per la prima volta dai pittori del Rinascimento; e l'intero processo, la creazione dell'immagine incorporante le conclusioni tratte dagli indizi della parallasse, si era svolto completamente al di fuori della mia coscienza. Le regole dell'universo che crediamo di conoscere sono sepolte nel profondo dei nostri processi di percezione.

L'epistemologia, al livello della storia naturale, è in gran parte inconscia e perciò altrettanto difficile da cambiare. Il secondo esperimento che Ames mi presentò illustra la difficoltà di questo cambiamento.

Questo esperimento è stato chiamato *la stanza trapezoidale*. Questa volta Ames mi fece esaminare uno scatolone largo un metro e mezzo, alto un metro e profondo altrettanto, di una strana forma trapezoidale: Ames mi disse di osservarlo con cura per mandar bene a mente le sue vere dimensioni.

Nella parte anteriore dello scatolone c'era uno spioncino abbastanza largo per entrambi gli occhi, ma prima di iniziare l'esperimento Ames mi fece mettere un paio di occhiali prismatici che avrebbero falsato la mia visione binoculare. Avrei così avuto il presupposto soggettivo di possedere la parallasse dei due occhi, mentre in realtà non ricevevo quasi nessun indizio binoculare.

Quando guardai attraverso lo spioncino, l'interno dello scatolone mi apparve perfettamente rettangolare e raffigurante una stanza con finestre rettangolari. Ovviamente le linee che rappresentavano le finestre erano in realtà tutt'altro che semplici: erano state tracciate in modo da dare l'illusione ottica di un rettangolo, contraddicendo la vera forma trapezoidale della stanza. Come sapevo dal mio esame precedente, il lato dello scatolone che avevo di fronte, guardando attraverso lo spioncino, era posto obliquamente, sicché mi era più vicino a destra e più lontano a sinistra.

Ames mi diede una stecca e mi disse di infilarla nello scatolone e di toccare con la punta un foglio di carta fissato sulla parete sinistra. Ci riuscii abbastanza facilmente. Quindi Ames disse: «Lo vede un foglio uguale sulla destra? Cerchi di colpire con la stecca anche quello. Parta appoggiando la punta della stecca contro il foglio di sinistra e colpisca con forza».

Feci partire il colpo. L'estremità della stecca percorse pochi centimetri, urtò la parete di fondo della stanza e non poté proseguire. Ames mi disse: «Provi di nuovo».

Provai una cinquantina di volte almeno, finché il braccio cominciò a dolermi. Naturalmente sapevo che correzione dovevo apportare al movimento: per evitare la parete di fondo avrei dovuto tirare indietro il braccio mentre colpivo. Ma ciò che *facevo* era guidato dalla mia immagine, e io cercavo di andar contro il mio movimento spontaneo. (Se avessi chiuso gli occhi probabilmente sarei riuscito a far meglio, ma non ci provai).

Non riuscii a colpire quel secondo foglio, ma è interessante notare che i miei movimenti migliorarono e verso la fine riuscivo a spostare la stecca di parecchi centimetri prima che urtasse contro il fondo. *E man mano che provavo e riprovavo migliorando la mia azione*, la mia immagine cambiava e mi dava un'impressione più trapezoidale della forma della stanza.

In seguito Ames mi disse che a forza di provare si imparava davvero a colpire molto facilmente il secondo foglio e insieme a vedere la stanza nella sua vera forma trapezoidale.

La stanza trapezoidale era l'ultimo esperimento della serie, e a questo punto Ames mi propose di andare a pranzo insieme. Andai a lavarmi le mani nel bagno dell'appartamento: girai il rubinetto segnato «F» e ne uscì un getto fumante di acqua caldissima.

Poi scesi con Ames in cerca di un ristorante. La fiducia che nutrivo nella mia formazione delle immagini era così scossa che quasi non riuscii ad attraversare la strada. Non ero sicuro che le automobili sopraggiungenti fossero davvero in ogni istante là dove mi pareva di vederle.

Insomma, il libero arbitrio non serve davanti agli ordini immediati delle immagini che la percezione presenta all'«occhio della mente». Ma con uno strenuo esercizio e con l'autocorrezione è in parte possibile modificare queste immagini. (Questi cambiamenti di *calibrazione* verranno ulteriormente discussi nel capitolo VII).

Nonostante questa bellissima serie di esperimenti, il fenomeno della formazione delle immagini rimane quasi del tutto misterioso: non sappiamo né come avviene né, in verità, a quale scopo.

Siamo d'accordo che sotto il profilo dell'adattamento ha senso presentare alla coscienza soltanto le immagini, senza spreco di attività psicologica per rendere cosciente la loro formazione. Ma non esiste alcuna chiara ragione fondamentale per cui si debbano usare proprio le immagini, o anzi si debba essere *consapevoli* delle fasi dei nostri processi mentali.

Il ragionamento suggerisce che la formazione delle immagini è forse un metodo vantaggioso o economico per far passare informazioni attraverso un qualche genere di *interfaccia*. In particolare, quando un essere umano deve operare in un contesto tra due macchine, è vantaggioso che esse gli forniscano le loro informazioni sotto forma di immagini.

Un caso che è stato studiato sistematicamente è quello di un artigiere addetto a un pezzo antiaereo su una nave⁵. Le informazioni provenienti da una serie di dispositivi di puntamento orientati su un bersaglio in volo vengono riassunte all'artigiere sotto forma di un punto mobile su uno schermo (cioè di un'immagine). Sullo stesso schermo vi è un altro punto, la cui posizione riassume la direzione in cui è puntato il cannone antiaereo. L'uomo può spostare questo secondo punto girando certe manopole del dispositivo. Queste manopole modificano anche il puntamento del cannone. L'uomo deve manovrare le manopole finché i due punti sullo schermo non coincidono: allora

⁵ Comunicazione personale di John Stroud.

spara.

Il sistema contiene due interfacce: sistema sensore-uomo e uomo-sistema effettore. Naturalmente, è possibile immaginare in questo caso che le informazioni tanto in entrata quanto in uscita possano essere trattate facendo uso di segni discreti piuttosto che di una presentazione iconica. Tuttavia a me pare che il dispositivo iconico sia senz'altro più vantaggioso, non solo perché, in quanto essere umano, io sono un costruttore di immagini mentali, ma anche perché in queste interfacce le immagini sono economiche o efficienti. Se questo ragionamento è corretto, sarebbe logico congetturare che i mammiferi formano immagini perché i loro processi mentali devono attraversare molte interfacce.

La nostra non-consapevolezza dei nostri processi di percezione ha alcuni interessanti effetti collaterali. Ad esempio, quando questi processi operano senza essere controllati dal materiale in entrata proveniente da un organo di senso, come nel caso del sogno o dell'allucinazione o dell'immaginazione eidetica (si veda il Glossario⁶), è talora difficile dubitare della realtà esterna di ciò che le immagini sembrano rappresentare. Per converso, è forse un bene *non* conoscere o quasi il meccanismo di creazione delle immagini percettive. Ignorando questo lavoro, siamo liberi di *credere* a ciò che ci dicono i nostri sensi. Potrebbe essere scomodo dubitare continuamente della validità dei messaggi mandati dai nostri sensi.

V. LA DIVISIONE IN PARTI E IN TOTALITÀ DELL'UNIVERSO PERCEPTO È VANTAGGIOSA E FORSE NECESSARIA⁷, MA NESSUNA NECESSITÀ DETERMINA COME CIÒ DEBBA ESSERE FATTO

Ho tentato molte volte di insegnare questo concetto generale a varie classi di studenti, e a questo fine mi sono servito della figura 1. Per la presentazione, la figura

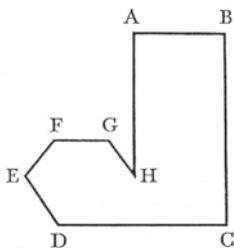


Figura 1

viene tracciata sulla lavagna con una certa cura, ma senza le lettere che contrassegnano i vari vertici. Si chiede alla classe di dare della "cosa" una descrizione scritta lunga circa una pagina. Quando tutti hanno finito, si confrontano i risultati. Essi si suddividono in diverse categorie:

a) Circa il dieci per cento o meno degli studenti afferma, ad esempio, che l'oggetto

⁶ Eidetico: un'immagine mentale è *eidetica* se possiede tutte le caratteristiche della cosa che viene percepita, specialmente se è riferita a un organo di senso, e sembra così provenire dall'esterno (ndr).

⁷ Alla questione della necessità formale qui sollevata si può dare una risposta in questi termini: l'universo è caratterizzato in modo evidente da una distribuzione ineguale di legami causali e d'altro tipo tra le sue parti; vi sono cioè aree con grande densità di legami separate tra loro da aree con minore densità di legami. Può darsi che vi siano necessariamente e inevitabilmente processi sensibili alla densità delle interconnessioni, così che la densità aumenti o si accentui la rarefazione. In questo caso l'universo presenterebbe necessariamente un aspetto in cui le totalità sarebbero delimitate dalla relativa rarefazione delle loro interconnessioni.

è uno stivale, o, più pittorescamente, lo stivale di un gottoso, o, addirittura un cesso. È evidente che chi ascoltasse queste o simili descrizioni analogiche o iconiche troverebbe difficile riprodurre l'oggetto.

b) Un numero molto più elevato di studenti vede che l'oggetto contiene la maggior parte di un rettangolo e di un esagono, e dopo averlo diviso in parti a questo modo, passa a cercare di descrivere le relazioni tra il rettangolo e l'esagono incompleti. Solo alcuni di loro (ma di solito, e sorprendentemente, uno o due in ogni classe) scoprono che è possibile tracciare un segmento BH e prolungarlo fino a toccare la base DC in un punto I, tale che il segmento HI completi un esagono regolare (figura 2). Questo segmento immaginario definirà le proporzioni del rettangolo ma, naturalmente, non le lunghezze assolute. Di solito mi congratulo con questi studenti per la loro capacità di creare ciò che somiglia a molte ipotesi scientifiche, che "spiegano" una regolarità percettibile in termini di qualche entità creata dall'immaginazione.

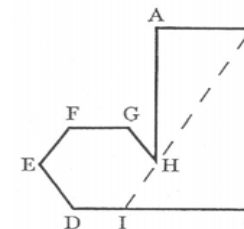


Figura 2

c) Molti studenti preparati ricorrono a un metodo di descrizione operativo: partono da un qualche punto del perimetro (sempre un vertice, si noti) e di lì procedono, solitamente in senso orario, a dare le istruzioni per disegnare l'oggetto.

d) Esistono anche altri metodi di descrizione ben conosciuti che nessuno studente ha finora seguito. Nessuno è partito dall'asserzione: «È fatto di gesso e lavagna». Nessuno ha mai usato il metodo del *cliché* a mezzatinta, suddividendo la superficie della lavagna con un reticolo (di rettangoli arbitrari) e assegnando a ogni casella del reticolo un «sì» o un «no» a seconda che contenga o non contenga una parte dell'oggetto. Naturalmente, se il reticolo è rado e l'oggetto è piccolo, andrà persa una quantità molto rilevante d'informazione. (Si pensi al caso in cui tutto l'oggetto è più piccolo di una casella del reticolo: la descrizione consisterà allora in un numero di «sì» compreso tra uno e quattro, secondo come cadono le divisioni del reticolo rispetto all'oggetto). Si tratta comunque, in linea di principio, del modo in cui vengono trasmessi, con impulsi elettrici, i *cliché* delle illustrazioni dei giornali, e anzi, del modo in cui funziona la televisione.

Si noti che nessuno di questi metodi di descrizione dà alcun contributo alla *spiegazione* di questo oggetto, l'esarettangolo. La spiegazione deve sempre scaturire dalla descrizione, ma la descrizione da cui essa scaturisce conterrà sempre di necessità caratteristiche arbitrarie, come quelle esemplificate qui.

VI. LE SUCCESSIONI DIVERGENTI SONO IMPREVEDIBILI

Secondo l'immagine popolare della scienza, tutto è, per principio, prevedibile e controllabile; e se qualche evento o processo non è prevedibile e controllabile allo stato attuale delle nostre conoscenze, un lieve aumento della conoscenza e, soprattutto,

della tecnologia ci metterà in grado di prevedere e controllare le variabili ribelli.

Quest'opinione è errata, non soltanto nei particolari, ma anche nel principio. È anzi possibile definire ampie classi di fenomeni in cui la previsione e il controllo sono semplicemente impossibili per ragioni fondamentali ma comprensibilissime. L'esempio più comune di questa classe di fenomeni è forse la rottura di un materiale superficialmente omogeneo, come il vetro. Del pari imprevedibile è il moto browniano (si veda il Glossario⁸) delle molecole in un liquido o in un gas.

Se getto un sasso contro il vetro di una finestra, in condizioni opportune il vetro si rompe o s'incrina secondo una figura a stella. Se il sasso colpisce il vetro con la velocità di una pallottola, può darsi che ne stacchi di netto un pezzetto di forma conica, detto *cono di percussione*. Se il sasso è troppo lento e troppo piccolo, può darsi che il vetro non si rompa affatto. A questo livello la previsione e il controllo sono perfettamente possibili: purché nello scagliare il sasso io non mi trovi in situazioni estreme, posso facilmente prevedere quale dei tre risultati seguirà (la stella, il cono di percussione o nessuna rottura).

Ma all'interno delle condizioni che portano alla rottura a stella, sarà impossibile prevedere o controllare il percorso e la posizione dei raggi della stella.

Parrà strano, ma quanto più precisi sono i metodi di laboratorio, tanto più imprevedibili diventano gli eventi. Se prendo il vetro più omogeneo che esista, ne levigo la superficie fino a ottenere la massima regolarità ottica e controllo il moto del sasso con la maggior precisione possibile, ottenendo un urto quasi assolutamente verticale sulla superficie del vetro, ebbene, tutti questi sforzi non faranno che rendere ancora più impossibile la previsione degli eventi.

Se viceversa incido la superficie del vetro o uso un vetro già incrinato (il che equivarrebbe a imbrogliare), allora sono in grado di fare qualche previsione approssimata. Per un qualche motivo (che non conosco) la linea di frattura correrà parallela all'incisione, a una distanza di circa un quarto di millimetro, sicché l'incisione rimarrà tutta dalla stessa parte della frattura. Alla fine dell'incisione, la frattura prenderà una direzione imprevedibile.

Una catena sottoposta a tensione si spezzerà nel suo anello più debole. Questo lo si può prevedere. Ciò che è difficile è individuare l'anello più debole prima che si spezzi. *Possiamo conoscere la cosa generale, ma è la cosa specifica che ci sfugge.* Vi sono catene costruite per spezzarsi a una certa tensione e in un certo anello; ma una buona catena è omogenea e non permette alcuna previsione. E non potendo sapere qual è l'anello più debole, non possiamo neppure sapere con precisione quanta tensione occorrerà per spezzare la catena.

Se scaldiamo un liquido trasparente (ad esempio dell'acqua distillata) in un matraccio pulito e ben liscio, in che punto comparirà la prima bolla di vapore? A che temperatura? E in quale istante?

Sono domande cui non si può rispondere, a meno che non vi sia una lieve rugosità sulla superficie interna del matraccio o un granello di polvere nel liquido. In assenza di un così manifesto nucleo per l'inizio del cambiamento di stato, nessuna previsione è possibile; e siccome non possiamo dire dove comincerà il cambiamento, non possiamo neppure dire *quando*. Perciò non possiamo dire a quale temperatura avrà inizio l'ebollizione.

Se l'esperimento è condotto in modo critico, cioè se l'acqua è molto pura e il matraccio molto liscio, vi sarà un certo surriscaldamento. Alla fine l'acqua bollirà. Alla fine vi sarà sempre una *differenza* che fungerà da nucleo per il cambiamento. Alla fine il liquido surriscaldato "troverà" questo punto differenziato e bollirà in modo esplosivo per alcuni istanti finché la temperatura non si ridurrà al punto di ebollizione

⁸ Moto browniano: movimento costante, a zig-zag e imprevedibile delle molecole, causato dai loro reciproci urti (ndr).

normale corrispondente alla pressione barometrica dell'ambiente.

Analogo discorso vale per il congelamento di un liquido e per la precipitazione dei cristalli in una soluzione soprassatura. Affinché il processo cominci, occorre un nucleo, cioè un punto differenziato che, nel caso della soluzione soprassatura, può essere appunto un cristallo microscopico.

Osserveremo più avanti che vi è un abisso tra le asserzioni relative a un individuo specifico e quelle relative a una classe. Tali asserzioni sono di *tipo logico diverso*, e le previsioni che muovono dalle une alle altre sono sempre incerte. L'asserzione «Il liquido bolle» è di tipo logico diverso dall'asserzione «Questa molecola sarà la prima a muoversi».

Quanto sopra è per molti versi pertinente alla teoria della storia, alla filosofia su cui si fonda la teoria evolutivista e, in generale, alla nostra comprensione del mondo in cui viviamo.

Nella teoria della storia, la filosofia marxista sostiene, seguendo Tolstoj, che i grandi uomini che sono stati i nuclei storici di profondi cambiamenti o invenzioni sociali erano in un certo senso marginali ai cambiamenti che hanno fatto precipitare. Si sostiene, ad esempio, che nel 1859 il mondo occidentale era maturo (forse più che maturo) per creare e ricevere una teoria dell'evoluzione che riflettesse e giustificasse l'etica della Rivoluzione industriale. Da questo punto di vista, si potrebbe far apparire poco importante lo stesso Darwin. Se non fosse stato lui a formulare la sua teoria, qualcun altro ne avrebbe formulata una simile nel giro di cinque anni. E in effetti il parallelismo fra la teoria di Alfred Russel Wallace e quella di Darwin sembrerebbe a prima vista confermare questa opinione⁹.

I marxisti, se ho ben capito, sosterebbero che deve necessariamente esistere un anello più debole, che in presenza di determinate forze¹⁰ o tensioni sociali certi individui saranno i primi a iniziare una certa tendenza, e che non importa chi essi siano.

È chiaro, invece, che la cosa *ha* importanza. Se l'iniziatore fosse stato Wallace, invece di Darwin, oggi avremmo una teoria dell'evoluzione molto diversa. In seguito al parallelo tracciato da Wallace tra la macchina a vapore con regolatore e il processo di selezione naturale, tutto il movimento cibernetico sarebbe forse potuto cominciare cent'anni prima. O forse questo grande passo teorico sarebbe potuto avvenire in Francia, come conseguenza delle idee di Claude Bernard, il quale, verso la fine del secolo scorso, scoprì ciò che più tardi si sarebbe chiamato *omeostasi* del corpo. Egli osservò che il *milieu interne* — l'ambiente interno — era equilibrato, cioè si autocorreggeva.

Sono convinto che sia una sciocchezza affermare che non ha importanza quale singolo uomo sia stato il nucleo del cambiamento. *È appunto questo che rende la storia futura imprevedibile.* L'errore marxista non è altro che una grossolana confusione di tipi logici, una confusione tra l'individuo e la classe.

⁹ Vale la pena ripetere la storia. Wallace era un giovane naturalista che nel 1856 (tre anni prima della pubblicazione dell'*Origine delle specie*), mentre si trovava nella foresta tropicale di Ternate, in Indonesia, ebbe un attacco di malaria e per effetto del delirio ebbe un'esperienza psichedelica durante la quale scoprì il principio della selezione naturale. Wallace descrisse tutto ciò in una lunga lettera a Darwin, dove spiegava la sua scoperta con queste parole: «L'azione di questo principio è esattamente come quella del regolatore centrifugo di una macchina a vapore, che controlla e corregge ogni irregolarità quasi ancor prima che essa diventi evidente; in modo analogo, nessuna carenza squilibrata nel regno animale può mai raggiungere dimensioni cospicue, poiché si farebbe sentire fin dall'inizio rendendo difficile l'esistenza e quasi certa la susseguente estinzione» (Alfred Russel Wallace, *On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely from the Original Type*, «Linnaean Society Papers», London, 1858; ristampato in *Darwin, a Norton Critical Edition*, a cura di Philip Appleman, New York, W.W. Norton, 1970, p. 97).

¹⁰ Si noti l'uso della metafora fisica, impropria per i fenomeni creaturali qui discussi. È anzi sostenibile che tutto questo paragone tra fenomeni sociobiologici da una parte e processi fisici dall'altra sia un mostruoso impiego di una metafora impropria.

VII. LE SUCCESSIONI CONVERGENTI SONO PREVEDIBILI

Questa asserzione generale è l'inversa di quella esaminata nel paragrafo precedente, e la relazione tra esse dipende dall'opposizione esistente tra i concetti di divergenza e di convergenza. Tale opposizione è un caso particolare, benché assai fondamentale, della differenza tra i livelli successivi di una gerarchia russelliana, argomento che sarà discusso nel capitolo IV. Per il momento basterà osservare che le componenti di una gerarchia russelliana stanno tra di loro come un elemento sta a una classe, una classe sta a una classe di classi o una cosa sta al proprio nome.

Ciò che importa nelle successioni divergenti è che la descrizione che ne diamo riguarda gli *individui*, specialmente le singole molecole. L'incrinatura del vetro, il primo accenno di ebollizione dell'acqua e tutti gli altri esempi sono casi in cui l'ubicazione e l'istante dell'evento sono determinati da qualche costellazione momentanea di un piccolo numero di singole molecole. Analogamente, nessuna descrizione dei percorsi delle singole molecole del moto browniano consente alcuna estrapolazione. Ciò che accade in un istante dato, ammesso che lo si possa conoscere, non ci fornirebbe i dati per prevedere ciò che accadrà un istante dopo.

Viceversa, il moto dei pianeti del sistema solare, l'evoluzione di una reazione chimica in un miscuglio ionico di sali, l'urto tra le palle di un biliardo, tutte cose che interessano milioni di molecole, sono eventi prevedibili, perché la descrizione che ne diamo ha come oggetto il comportamento di immense moltitudini o classi di individui. È questo che in certa misura giustifica l'uso della statistica nella scienza, purché lo statistico rammenti sempre che le sue asserzioni riguardano solo gli aggregati.

In questo senso, le cosiddette leggi della probabilità mediano fra le descrizioni del comportamento del singolo e le descrizioni del comportamento della massa. Vedremo in seguito che questo tipo di conflitto tra l'individuale e lo statistico ha perseguitato lo sviluppo della teoria dell'evoluzione dai tempi di Lamarck in poi. Se Lamarck avesse affermato che i cambiamenti dell'ambiente possono influire sulle caratteristiche generali di intere popolazioni, egli sarebbe stato a passo con i più recenti esperimenti di genetica, come quelli di Waddington sull'assimilazione genetica, che descriveremo nel capitolo VI. Ma Lamarck, e in effetti tutti i suoi seguaci, sembrano aver avuto un'innata propensione a confondere i tipi logici. (Questo argomento e le corrispondenti confusioni degli evoluzionisti ortodossi saranno discussi nel capitolo VI).

Sia come sia, nei processi stocastici (si veda il Glossario¹¹), tanto dell'evoluzione quanto del pensiero, il nuovo può essere tratto esclusivamente dal disordine del casuale. E per trarre il nuovo dal casuale, se e quando esso si manifesta, occorre un qualche meccanismo selettivo che dia conto della persistenza nel tempo della nuova idea. Deve vigere qualcosa di simile alla *selezione naturale*, in tutta la sua lapalissiana tautologia. Per persistere, il nuovo deve essere tale da durare più a lungo delle sue alternative. Ciò che dura più a lungo tra le increspature del casuale deve durare più a lungo di quelle increspature che non durano altrettanto a lungo. Ecco, in poche parole, la teoria della selezione naturale.

L'idea marxista della storia (che nella sua forma più rozza sosterrrebbe che se Darwin non avesse scritto *L'Origine delle specie*, qualcun altro avrebbe messo fuori un libro simile nel giro di cinque anni) è un infelice tentativo di dare applicazione pratica a una teoria che vorrebbe vedere il processo sociale come *convergente* su eventi che interessano singoli e specifici esseri umani. L'errore riguarda, ancora una volta, i tipi logici.

¹¹ Stocastico: (dal greco *stochazēin*, «tirare al bersaglio con l'arco», cioè diffondere gli eventi in modo parzialmente casuale, sicché alcuni di essi hanno esito più favorevole). Se una successione di eventi combina una componente casuale con un processo selettivo in modo che solo certi risultati del casuale possano perdurare, tale successione viene detta *stocastica* (ndr).

VIII. «DAL NULLA NASCE NULLA»

Questa citazione da *Re Lear* condensa in un'unica frase tutta una serie di sagge massime medioevali e moderne. Tra le altre:

a) La legge della conservazione della materia e la sua inversa, che non ci si può aspettare che compaia materia nuova in laboratorio. (Lucrezio diceva: «Nulla può mai esser creato dal nulla per potere divino»)¹².

b) La legge della conservazione dell'energia e la sua inversa, che non ci si può aspettare che compaia energia nuova in laboratorio.

c) Il principio dimostrato da Pasteur che non ci si può aspettare che compaia materia vivente nuova in laboratorio.

d) Il principio che nessun ordine o struttura nuovi possono essere creati senza *informazione*.

Di tutti questi enunciati negativi e di altri analoghi possiamo dire che si tratta di regole probabilistiche piuttosto che di leggi di natura. Tale è la loro approssimazione al vero che tutte le loro eccezioni sono di estremo interesse.

Ciò che è particolarmente interessante si nasconde nelle relazioni tra queste importanti negazioni. Ad esempio, oggi sappiamo che tra la conservazione dell'energia e la conservazione della materia esiste un nesso per il quale ciascuna di queste negazioni è a sua volta negata da una trasformazione di materia in energia e, presumibilmente, di energia in materia.

In questo momento, tuttavia, ha un interesse particolare l'ultima della serie, e cioè la proposizione che nei campi della comunicazione, dell'organizzazione del pensiero, dell'apprendimento e dell'evoluzione «dal nulla nasce nulla» senza *informazione*.

Questa legge differisce dalle leggi della conservazione dell'energia e della massa in quanto non contiene alcuna clausola che neghi la distruzione e la perdita d'informazione, di struttura o di entropia negativa. La struttura e/o l'informazione, ahimè (ma anche per fortuna), vengono divorate fin troppo facilmente dal casuale. I messaggi e le direttrici per l'ordine esistono solo, per così dire, sulla sabbia o sono scritti sull'acqua: quasi ogni disturbo, anche il semplice moto browniano, li distrugge. L'informazione può essere dimenticata o offuscata. Il cifrario può andar perduto.

I messaggi cessano di essere tali quando nessuno li può leggere. Senza la stele di Rosetta non sapremmo nulla di quanto era scritto nei geroglifici egiziani: essi sarebbero solo eleganti decorazioni sui papiri o sulla pietra. Per avere significato — finanche per essere riconosciuta come struttura — ogni regolarità deve incontrarsi con regolarità, o forse abilità, complementari, e tali abilità sono evanescenti quanto le strutture stesse. Anch'esse sono scritte sulla sabbia o sull'acqua.

La genesi dell'abilità di reagire al messaggio costituisce il rovescio, l'altra faccia del processo evolutivo. È la *coevoluzione* (si veda il Glossario¹³).

Paradossalmente la profonda verità parziale che «dal nulla nasce nulla» nel mondo dell'informazione e dell'organizzazione incontra una contraddizione interessante nel fatto che *zero*, l'assenza completa di ogni evento indicativo, può essere un messaggio. La larva della zecca si arrampica su un albero e resta in attesa su uno dei rami esterni; se fiuta esalazioni di sudore, si lascia cadere e può darsi che vada a finire su un mammifero; ma se *non fiuta* il sudore di lì a qualche settimana, si lascia cadere e va ad arrampicarsi su un altro albero.

La lettera che non scriviamo, le scuse che non porgiamo, il cibo che non mettiamo

¹² De rerum natura, I, 150.

¹³ Coevoluzione: sistema stocastico di cambiamento evolutivo in cui due o più specie interagiscono in modo tale che i cambiamenti della specie A preparano il terreno alla selezione naturale dei cambiamenti della specie B. I successivi cambiamenti della specie B, a loro volta, preparano il terreno per la selezione di cambiamenti più simili nella specie A (ndr).

fuori per il gatto possono essere tutti messaggi sufficienti ed efficaci, poiché zero può aver significato *in un contesto*; e il contesto lo crea chi riceve il messaggio. Questa capacità di creare il *contesto* è l'abilità del ricevente, e acquisirla è la sua parte della coevoluzione di cui dicevo sopra. Egli deve acquisire questa abilità mediante l'apprendimento o mediante una felice mutazione, cioè mediante una fortunata incursione nel casuale. Il ricevente in un certo senso dev'essere pronto per la scoperta giusta quando essa arriva.

Così, è ipotizzabile che nell'ambito di un processo stocastico sia valida l'inversa della proposizione: «dal nulla nasce nulla» senza informazione. Una *pronta disposizione* può servire a selezionare certe componenti del casuale che in tal modo diventano informazioni nuove. Tuttavia, dev'essererci sempre una certa quantità di aspetti casuali da cui poter formare le nuove informazioni.

Questa circostanza suddivide l'intero campo dell'organizzazione, dell'evoluzione, della maturazione e dell'apprendimento in due aree separate, quella dell'epigenesi, o embriologia, e quella dell'evoluzione e dell'apprendimento.

Epigenesi è il termine prescelto da C.H. Waddington per designare il suo principale campo di interesse, chiamato un tempo *embriologia*. Esso sottolinea il fatto che ogni stadio embriologico è un atto di *divenire* (in greco *génésis*) che dev'essere costruito *sopra* (in greco *epi*) lo stato immediatamente precedente. È significativo che Waddington disprezzasse la teoria dell'informazione tradizionale, nella quale, così com'egli la vedeva, non c'era posto per le «nuove» informazioni che egli riteneva si generassero a ogni stadio dell'epigenesi. E in effetti, secondo la teoria tradizionale, in questo caso non vi sono informazioni nuove.

Idealmente l'epigenesi dovrebbe somigliare allo sviluppo di una complessa tautologia (si veda il Glossario¹⁴), in cui nulla viene aggiunto una volta stabiliti gli assiomi e le definizioni. Il teorema di Pitagora è implicito (cioè già racchiuso) negli assiomi, nelle definizioni e nei postulati di Euclide. Non occorre far altro che portarlo alla luce, dispiegarlo, e, per gli esseri umani, avere una certa conoscenza dell'ordine dei passaggi da compiere. Quest'ultima specie d'informazione diventa necessaria solo quando la tautologia di Euclide è espressa da un modello verbale e simbolico disposto sequenzialmente sulla carta o nel tempo. Nella tautologia ideale non esiste né tempo, né dispiegamento, né argomentazione. Ciò che è implicito è già presente, ma, naturalmente, non in una collocazione spaziale.

Contrapposto all'epigenesi e alla tautologia, che costituiscono i mondi della replicazione, c'è tutto il regno della creatività, dell'arte, dell'apprendimento e dell'evoluzione, in cui i processi dinamici del cambiamento si *alimentano del casuale*. L'essenza dell'epigenesi sta nella ripetizione prevedibile; l'essenza dell'apprendimento e dell'evoluzione sta nell'esplorazione e nel cambiamento.

Nella trasmissione della loro cultura, gli uomini cercano sempre di replicare, di trasmettere alla generazione successiva le abilità e i valori dei genitori: un tentativo che, però, fallisce sempre e inevitabilmente, poiché la trasmissione della cultura è legata all'apprendimento, non al DNA. Il processo di trasmissione della cultura è una specie di ibrido o mescolanza dei due regni: per conseguire la replicazione esso deve cercare di usare i fenomeni dell'apprendimento, poiché ciò che i genitori posseggono è stato da loro appreso. Se per miracolo i figli avessero un DNA che desse loro le abilità dei genitori, tali abilità sarebbero *diverse* e forse non vitali.

È interessante che fra i due mondi si situi il fenomeno culturale della *spiegazione*, cioè la proiezione sulla tautologia¹⁵ di successioni poco familiari di eventi.

Infine, si noterà che i regni dell'epigenesi e dell'evoluzione, a un livello più profondo, sono esemplificati nei paradigmi gemelli della seconda legge della termodinamica: 1) che l'operato casuale della probabilità consuma sempre l'ordine, la struttura e l'entropia negativa, ma, 2) che, per la creazione di un nuovo ordine, è necessario l'operato del casuale, la pleora di alternative non vincolate (entropia). È dal casuale che gli organismi estraggono le nuove mutazioni, ed è lì che l'apprendimento stocastico prende le sue soluzioni. L'evoluzione porta all'acme, alla saturazione ecologica di tutte le possibilità di differenziazione; l'apprendimento porta a un sovraccarico della mente. Con il ritorno all'uovo, ignorante e prodotto in serie, la specie, che non si arresta, sgombra ancora una volta la propria memoria e si prepara ad accogliere il nuovo.

IX. IL NUMERO É DIVERSO DALLA QUANTITÀ

Questa differenza è fondamentale per ogni genere di attività teoretica nelle scienze del comportamento, per ogni genere di speculazione su ciò che accade tra gli organismi o al loro interno come parte dei loro processi di pensiero.

I *numeri* sono il risultato del contare, le *quantità* sono il risultato del misurare. Si capisce quindi come i numeri possano essere precisi, poiché fra ciascun intero e il successivo c'è discontinuità: fra il *due* e il *tre* c'è un salto. Nel caso della quantità questo salto non c'è; e poiché nel mondo della quantità mancano i salti, è impossibile che le quantità siano esatte. Si possono avere esattamente tre pomodori; non si possono mai avere esattamente tre litri d'acqua. La quantità è sempre approssimata.

Anche quando la distinzione tra il numero e la quantità è chiara, vi è un altro concetto da riconoscere e distinguere sia dal numero sia dalla quantità. Per quest'altro concetto non esiste, credo, alcuna parola nella nostra lingua, quindi dobbiamo contentarci di ricordare che esiste un sottoinsieme di *strutture o configurazioni [patterns]* i cui elementi sono di solito chiamati «numeri». Non tutti i numeri si ottengono contando e in effetti sono i numeri più piccoli e pertanto più comuni che spesso non vengono contati ma riconosciuti a colpo d'occhio come configurazioni. I giocatori di carte non si soffermano a contare i semi dell'otto di picche, anzi possono riconoscere le disposizioni caratteristiche dei semi fino al «dieci».

In altre parole: il numero appartiene al mondo della struttura formale, della *Gestalt* e del calcolo numerico; la quantità appartiene al mondo del calcolo analogico e probabilistico.

Certi uccelli possono in qualche modo distinguere i numeri fino a sette, ma non si sa se ciò avvenga perché contano o perché riconoscono delle strutture. L'esperimento che più di ogni altro si approssimò alla verifica di questa differenza tra i due metodi fu compiuto da Otto Koehler con una cornacchia. L'uccello fu addestrato a fare quanto segue: si prepara un certo numero di tazzine con coperchio, nelle quali vengono posti bocconi di carne. Alcune tazzine contengono un solo boccone, altre due o tre, altre nessuno. A parte c'è un piatto che contiene un numero di bocconi di carne superiore al numero complessivo di quelli contenuti nelle

da descrivere su qualche superficie o matrice o sistema di coordinate. Nel caso di una carta geografica, la matrice ricevente è di solito un foglio di carta piano e di estensione finita, e le difficoltà si presentano quando ciò che si deve proiettare è troppo grande o, ad esempio, sferico. Altre difficoltà sorgerebbero se la matrice ricevente fosse la superficie di un toro (ciambella), o una successione lineale discontinua di punti. Ogni matrice ricevente, anche una lingua o una rete tautologica di proposizioni, ha caratteristiche formali proprie che, *in linea di principio*, distorcono i fenomeni che devono esservi proiettati. Forse l'universo è stato progettato da Procruste, il sinistro personaggio della mitologia greca i cui «ospiti» dovevano misurare esattamente quanto il letto, pena lo stiramento o l'amputazione delle gambe.

¹⁴ Tautologia: insieme di proposizioni connesse in cui la validità dei *legami* non può essere messa in dubbio. La verità delle proposizioni invece non è richiesta. Esempio: la geometria euclidea (ndr).

¹⁵ Uso l'espressione *proiettare su [to map onto]* per le ragioni seguenti: ogni descrizione, spiegazione o rappresentazione è necessariamente in qualche senso una proiezione degli elementi derivati dai fenomeni

tazzine. La cornacchia impara a togliere il coperchio da ciascuna tazzina così da poter mangiare i bocconi che vi si trovano. Quando ha mangiato tutta la carne delle tazzine, può andare al piatto e mangiare lo *stesso numero* di bocconi che ha trovato nelle tazzine. Se mangia dal piatto più carne di quella che era nelle tazzine, viene punita. Essa è in grado di apprendere questa procedura.

Ora la domanda è: la cornacchia conta i bocconi, oppure usa qualche altro metodo per identificarne il numero? L'esperimento è progettato con cura per costringere l'uccello a contare: le sue azioni vengono interrotte dall'atto necessario a sollevare i coperchi e la sequenza è resa ancora più confusa dal fatto che alcune tazzine contengono più di un boccone e altre nessuno. Con questi accorgimenti lo sperimentatore ha tentato di impedire alla cornacchia di creare una qualche sorta di struttura o di ritmo mediante il quale riconoscere il numero dei pezzetti di carne. In questo modo l'uccello viene obbligato, per quanto è possibile farlo, a contare i bocconi.

Non è escluso, naturalmente, che il processo di prendere la carne dalle tazzine diventi una specie di danza ritmica, e che il ritmo venga in qualche modo ripetuto dall'uccello quando prende la carne dal piatto. La questione è probabilmente ancora irrisolta, ma nel complesso l'esperimento è piuttosto convincente e fa propendere per l'ipotesi che la cornacchia, più che riconoscere una qualche struttura nella disposizione dei bocconi o nella successione delle proprie azioni, conti effettivamente i pezzi di carne.

È interessante osservare il mondo biologico nei termini posti dalla seguente domanda: i vari casi in cui si manifesta il numero debbono essere considerati come esempi di *Gestalt*, di numero contato o di pura quantità? C'è una differenza piuttosto notevole, ad esempio, tra l'enunciato «Questa rosa semplice ha cinque petali e cinque sepalì, anzi la sua simmetria è strutturata sul cinque» e l'enunciato «Questa rosa ha centododici stami, questa ne ha novantasette e quest'altra solo sessantaquattro». Il processo che controlla il numero degli stami è sicuramente diverso da quello che controlla il numero dei petali o dei sepalì. È interessante notare invece che nella rosa doppia, dove a quanto pare alcuni degli stami si sono trasformati in petali, il procedimento per determinare il numero dei petali da produrre è in seguito a ciò passato da quello che normalmente limita a cinque il numero dei petali a qualcosa di simile al processo che determina la *quantità* degli stami. Possiamo dire che nella rosa semplice normalmente i petali sono «cinque», ma gli stami sono «molti», dove «molti» è una quantità variabile da rosa a rosa.

Tenendo presente questa differenza, possiamo ora osservare il mondo biologico e chiederci qual è il numero più grande che i processi di crescita possono trattare come struttura fissa e oltre il quale la cosa riguarda la quantità. Per quanto ne so, i «numeri» più comuni nella simmetria delle piante e degli animali, specialmente nella simmetria radiale, sono il due, il tre, il quattro e il cinque.

Il lettore può divertirsi a raccogliere casi in natura di numeri rigidamente controllati oppure organizzati in una certa struttura formale. Sembra, per una qualche ragione, che i numeri più grandi siano limitati a successioni lineari di segmenti, come le vertebre dei mammiferi, i segmenti addominali degli insetti e la segmentazione anteriore dei lombrichi. (Dalla parte del capo la segmentazione è controllata in modo piuttosto rigido fino ai segmenti che portano gli organi genitali. Il loro numero varia da specie a specie, ma può arrivare fino a quindici. Scendendo oltre, la coda ha «molti» segmenti). A queste osservazioni è interessante aggiungere il comune fenomeno che un organismo, una volta scelto un numero per la simmetria radiale di un qualche suo insieme di parti, ripeterà lo stesso numero in altre parti. Un giglio ha tre sepalì, tre petali, sei stami e un ovario trilobato.

Ciò che pareva la bizzarria o la peculiarità di un'operazione umana — cioè che noi occidentali ricavamo i numeri contando o riconoscendo strutture e configurazioni, mentre ricavamo le quantità da una misurazione — sembra proprio, in fin dei conti, una sorta di verità

universale. Tanto la cornacchia quanto la rosa sono costrette a mostrare che anche per loro — per la rosa nella sua anatomia e per la cornacchia nel suo comportamento (e ovviamente nelle segmentazioni delle sue vertebre) — esiste questa profonda differenza tra numeri e quantità.

Cosa significa ciò? Il problema è molto antico e risale certo a Pitagora, che si dice avesse incontrato una regolarità simile nella relazione tra le armoniche.

Per porre questi problemi possiamo servirci dell'esarettangolo discusso nel paragrafo V. Abbiamo visto là che le componenti della descrizione potevano essere svariaticissime. In quel caso sarebbe stata pura illusione attribuire a un *modo di organizzare* la descrizione una validità maggiore che a un altro. Ma per quanto riguarda le quantità e i numeri biologici sembra di essere davanti a qualcosa di più profondo. Questo caso differisce da quello dell'esarettangolo? E se sì, in che modo?

È mia opinione che nessuno dei due casi è così banale come a prima vista potevano sembrare i problemi dell'esarettangolo. Ritorniamo alle verità eterne di sant'Agostino: «Ascoltate le parole tonanti pronunciate da questo santo verso il 400 d.C.: “sette più tre fa dieci; sette più tre ha sempre fatto dieci; mai e in nessun modo sette più tre ha fatto qualcosa di diverso da dieci; sette più tre farà sempre dieci”»¹⁶.

Sostenendo l'antitesi tra numeri e quantità indubbiamente mi avvicino all'asserzione di una verità eterna, e Agostino sarebbe certo d'accordo.

Tuttavia, potremmo replicare al santo: «Verissimo, sì. Ma è proprio questo ciò che vuoi e intendi dire? È certamente anche vero che tre più sette fa dieci, che due più uno più sette fa dieci, che uno più uno più uno più uno più uno più uno più uno più uno più uno più uno più uno fa dieci. In effetti, la verità eterna che tu cerchi di asserire è molto più generale e profonda del caso particolare di cui ti sei servito per esprimere quel profondo messaggio». Ma possiamo convenire che la verità eterna, più astratta, è difficile da enunciare con precisione e senza ambiguità.

In altre parole, è possibile che dei vari modi di descrivere l'esarettangolo molti siano solo manifestazioni in superficie della stessa più profonda e più generale tautologia (considerando la geometria euclidea come un sistema tautologico).

Ritengo che sia corretto affermare non solo che le varie formulazioni descrittive dell'esarettangolo concordano alla fin fine su ciò che i descrittivi credevano di vedere, ma anche che esiste un accordo su un'unica, più profonda e generale tautologia nei cui termini sono organizzate le varie descrizioni.

In questo senso la distinzione tra numeri e quantità non è, credo, banale, e lo dimostra l'anatomia della rosa coi suoi «cinque» petali e i suoi «molti» stami, dove le virgolette indicano che i nomi dei numeri e delle quantità sono manifestazioni in superficie di idee formali immanenti nella rosa in crescita.

X. LA QUANTITÀ NON DETERMINA LA STRUTTURA

In linea di principio è impossibile spiegare una qualunque struttura invocando un'unica quantità. Si osservi però che *un rapporto tra due quantità* è già l'inizio della struttura formale. In altre parole, quantità e struttura sono di tipo logico diverso¹⁷ e non armonizzano bene entro la stessa operazione di pensiero (Si veda anche il

¹⁶ Citato da Warren McCulloch in *Embodiments of the Mind*. Cambridge, Mass., MIT Press, 1965.

¹⁷ Il concetto di tipo logico di Bertrand Russell sarà discusso con maggiori particolari più avanti, specie nell'ultimo paragrafo del capitolo IV. Per il momento basti dire che, non potendo una *classe* essere un elemento di se stessa, le conclusioni ricavabili solo da casi multipli (per esempio dalle differenze tra coppie di enti) sono di tipo logico diverso dalle conclusioni ricavate da un unico ente (per esempio da una quantità).

Glossario.¹⁸).

Ciò che appare come generazione di struttura da parte della quantità si manifesta là dove la struttura formale era latente prima che la quantità esercitasse i suoi effetti sul sistema. Un esempio noto è quello della tensione che spezza la catena nel suo anello più debole. Al variare di una quantità, la tensione, una differenza latente viene resa manifesta o, come direbbero i fotografi, viene sviluppata. Lo sviluppo di un negativo fotografico è appunto un rendere manifeste differenze latenti introdotte nell'emulsione fotografica da una precedente esposizione differenziale alla luce.

Immaginiamo un'isola con due montagne: una variazione quantitativa, un aumento, del livello del mare può trasformare quest'isola in due isole. Ciò accade nel momento in cui il livello del mare supera quello della sella tra le due montagne. Anche qui la struttura qualitativa era latente prima che la quantità vi esercitasse un effetto; e quando la forma è cambiata, il cambiamento è stato improvviso e discontinuo.

Vi è una forte tendenza, nelle spiegazioni, ad invocare quantità di tensione, di energia e altro per spiegare la genesi della struttura. Sono convinto che tutte queste spiegazioni siano improprie o errate. Dal punto di vista dell'agente qualsivoglia che impone un cambiamento quantitativo, qualunque cambiamento di struttura che potrà verificarsi sarà imprevedibile o divergente.

XI. IN BIOLOGIA NON ESISTONO “VALORI“ MONOTONI

Un valore monotono è un valore che o cresce sempre o decresce sempre. La sua curva non serpeggia, cioè non passa mai da un aumento a una diminuzione o viceversa. Sostanze, cose, strutture o successioni di esperienze desiderate che sono in un certo senso “buone” per l'organismo — regimi alimentari, condizioni di vita, temperatura, divertimenti, sesso e così via —, non sono mai tali che una quantità maggiore di esse sia sempre meglio che una quantità minore. Al contrario, per tutti gli oggetti e le esperienze esiste sempre una quantità con un valore ottimale; al di sopra di essa la variabile diventa tossica, scendere al di sotto di quel valore significa subire una privazione.

Questa caratteristica dei valori biologici non si riscontra nel denaro. Il denaro ha sempre un valore transitivo: più denaro è presumibilmente sempre meglio che meno denaro; per esempio mille e un dollaro sono preferibili a mille dollari. Per i valori biologici le cose non stanno così: più calcio non è sempre meglio che meno calcio. Vi è una quantità ottimale di calcio di cui un dato organismo può aver bisogno nella sua dieta: al di sopra di essa il calcio diventa tossico. Analogamente, per l'ossigeno che respiriamo, per i cibi o per le componenti di una dieta e probabilmente per tutti gli elementi presenti in una relazione, il troppo è nemico del bene. Si può anche soffrire per troppa psicoterapia. Una relazione senza conflitti è noiosa, una relazione con troppi conflitti è tossica: ciò che è desiderabile è una relazione con una quantità ottimale di conflitti. Perfino il denaro, considerato non in sé, ma nei suoi effetti su chi lo

¹⁸ Tipi logici: è opportuno dare una serie di esempi:

1. Il nome non è la cosa nominata ma è di tipo logico diverso, superiore a quello della cosa nominata.
2. La classe è di tipo logico diverso, superiore a quello dei suoi membri.
3. Le direttive o il controllo derivanti dalla regolazione del termostato domestico sono di tipo logico superiore al controllo derivante dal termometro. (La *regolazione* è fissata da un apparecchio posto sulla parete che può essere predisposto sulla temperatura intorno alla quale fluttuerà la temperatura dell'abitazione).
4. La parola *tumbleweed* (alla lettera, *arbusto rotolante*, termine americano usato per una serie di piante che in autunno si staccano dalle radici e rotolano per le praterie sotto la spinta del vento) è dello stesso tipo logico di *cespuglio* o *albero*. Non è il nome di una specie o di un genere di piante, bensì il nome di una classe di piante i cui membri hanno un loro modo particolare di crescere e propagarsi.
5. *Accelerazione* è di tipo logico superiore a *velocità* (ndr).

possiede, può forse, oltre un certo limite, risultare tossico. In ogni caso, la filosofia del denaro, l'insieme dei presupposti secondo cui quanto più denaro si ha tanto meglio è, è del tutto antibiologica. Nondimeno, pare che questa filosofia possa essere insegnata a cose viventi.

XII. TALVOLTA CIÒ CHE É PICCOLO È BELLO

Forse più di ogni altra variabile, le dimensioni mettono sotto gli occhi dello studioso in modo vivido e chiaro i problemi dell'esser vivi. L'elefante è afflitto dai problemi della grandezza, il toporagno da quelli della piccolezza. Ma per ciascuno esistono dimensioni ottimali: l'elefante non starebbe meglio se fosse molto più piccolo, né il toporagno si sentirebbe sollevato se fosse molto più grosso. Possiamo dire che ciascuno è *assuefatto* alle proprie dimensioni.

La grandezza e la piccolezza presentano problemi puramente fisici, problemi che riguardano il sistema solare, il ponte e l'orologio da polso. Ma oltre a questi vi sono problemi che interessano specificamente gli aggregati di materia vivente, si tratti di creature singole o di intere città.

Consideriamo prima l'aspetto fisico. I problemi di *instabilità* meccanica sorgono perché, ad esempio, le forze della gravità non seguono le stesse regolarità quantitative di quelle della coesione. Se la si lascia cadere, una zolla di terra grande si frantuma più facilmente che non una piccola. Un ghiacciaio cresce, e quindi, in parte fondendo e in parte frantumandosi, deve iniziare una diversa esistenza sotto forma di valanghe, unità minori che devono separarsi dalla matrice più grande. Per contro, anche nell'universo fisico ciò che è molto piccolo può diventare instabile *perché* la relazione tra superficie e peso non è lineare.

Se vogliamo far sciogliere un certo materiale, lo frantumiamo, perché i pezzi più piccoli hanno un maggior rapporto tra superficie e volume e quindi offrono più ampio accesso al solvente: i pezzi più grossi sono gli ultimi a scomparire. E così via.

Per trasferire queste riflessioni nel mondo più complesso delle cose viventi, ecco un apologo:

La storia del cavallo poliploide

Si dice che ancor oggi per gettare nell'imbarazzo i signori del premio Nobel basti menzionare i cavalli poliploidi. Vero o no, verso la fine degli Anni Ottanta il dottor P.U. Posif, il grande genetista erewhoniano, ricevette il premio per le sue manipolazioni del DNA del comune cavallo da tiro (*Equus caballus*). Si disse che egli aveva apportato un grande contributo all'ancor giovane scienza della trasportologia. In ogni caso vinse il premio per aver *creato* (nessun'altra parola potrebbe render giustizia a un'operazione di scienza applicata che quasi usurpava l'attività divina), creato, dico, un cavallo di dimensioni esattamente doppie di quelle del comune Clydesdale. Era lungo il doppio, alto e largo il doppio: era un poliploide, con un numero di cromosomi quadruplo del normale.

Posif sostenne sempre che c'era stato un tempo in cui questo animale straordinario, quando era ancora un puledro, poteva reggersi sulle quattro zampe. Dovette certo essere uno spettacolo fantastico! Fatto sta che quando fu esposto al pubblico e ripreso e immortalato da tutti gli strumenti di comunicazione della civiltà moderna, il cavallo non si reggeva affatto in piedi. Per farla breve, era *troppo pesante*. Pesava, naturalmente, otto volte un normale Clydesdale.

Per le sue comparse in pubblico o alla televisione, il dottor Posif faceva sempre chiudere gli idranti, che erano altrimenti costantemente necessari per mantenere l'animale alla normale temperatura di un mammifero; ma c'era sempre il timore che le parti più interne

cominciassero a cuocere. Dopo tutto, la pelle e il pannicolo adiposo della povera bestia erano spessi il doppio del normale, mentre la sua superficie era solo quattro volte quella di un cavallo comune, sicché esso non si raffreddava adeguatamente.

Ogni mattina il cavallo doveva essere sollevato sulle zampe con una piccola gru e infilato in una sorta di scatola a ruote dove poggiava su una serie di molle, calibrate per alleggerirlo di metà del suo peso.

Il dottor Posif sosteneva che l'animale era straordinariamente intelligente. Aveva, naturalmente, otto volte più cervello (in peso) di qualsiasi altro cavallo, ma io non ebbi mai l'impressione che si occupasse di problemi più complessi di quelli che interessano gli altri cavalli. Aveva pochissimo tempo libero, tutto preso com'era sempre a sbuffare in parte per raffreddarsi in parte per ossigenare il suo corpo ottuplo. Dopo tutto la sua trachea aveva una sezione soltanto quadrupla di quella normale.

Poi c'era l'alimentazione. Ogni giorno doveva ingerire in qualche modo una quantità pari a otto volte quella sufficiente a un comune cavallo, e doveva far scendere tutto quel cibo lungo un esofago che aveva un calibro solo quadruplo del normale. Anche i vasi sanguigni avevano dimensioni relativamente ridotte, e ciò rendeva più difficile la circolazione e imponeva al cuore un lavoro supplementare.

Una bestia infelice!

Questo apologo mostra ciò che inevitabilmente accade quando interagiscono due o più variabili le cui curve siano discrepanti. Questo è ciò che produce l'interazione tra cambiamento e tolleranza. Ad esempio, la crescita graduale di una popolazione (di automobili o di persone) non ha effetti manifesti su un sistema di trasporto finché *improvvisamente* la soglia di tolleranza viene superata e il traffico s'ingorga. Il cambiamento di una delle variabili rivela un valore critico dell'altra.

Fra tutti questi casi, quello oggi più noto è il comportamento del materiale fissile nella bomba atomica. L'uranio si trova in natura e subisce una continua fissione, ma non si hanno esplosioni perché non s'instaura nessuna reazione a catena. Ciascun atomo, disintegrandosi, emette neutroni che, se colpiscono altri atomi di uranio, possono causarne la fissione; ma molti neutroni vanno semplicemente perduti. Se la massa di uranio non ha dimensioni critiche, meno di un neutrone per atomo fissionato, in media, va a disintegrare un altro atomo e la catena si estingue. Se la massa è più grande, aumenta la frazione dei neutroni che colpiscono gli atomi di uranio e ne causano la fissione. Allora il processo consegue un *guadagno* esponenziale positivo e si trasforma in un'esplosione.

Nel caso del cavallo immaginario, lunghezza, superficie e volume (o massa) sono in discrepanza perché le loro curve di crescita hanno caratteristiche mutuamente non lineari. La superficie varia come quadrato della lunghezza e il volume come cubo della lunghezza, sicché la superficie varia come volume elevato alla potenza di $2/3$.

Per il cavallo (e per tutte le creature reali) la faccenda si fa più seria, poiché per rimanere in vita devono essere assicurate molte dinamiche interne. C'è una logistica interna del sangue, del cibo, dell'ossigeno e delle scorie, e una logistica dell'informazione, sotto forma di messaggi neurali e ormonali.

La focena, che è lunga circa un metro e ha un pannicolo di grasso di circa tre centimetri e una superficie di poco più di mezzo metro quadrato, ha un bilancio termico noto bene equilibrato per le acque dell'Artico. Il bilancio termico di una grossa balena, che è lunga circa dieci volte la focena (e ha dunque un volume mille volte più grande e una superficie cento volte più grande) e che possiede un pannicolo spesso quasi trenta centimetri, è del tutto misterioso. Si presume che essa abbia un sistema logistico superiore che fa scorrere il sangue attraverso le pinne dorsali e caudali, dove tutti i cetacei smaltiscono il calore.

Nelle cose viventi il fenomeno della crescita aggiunge un ulteriore ordine di

complessità ai problemi della grandezza. La crescita altererà le proporzioni dell'organismo? I problemi relativi ai limiti della crescita sono risolti in modi assai diversi dalle diverse creature.

Un caso semplice è quello delle palme, che non modificano la circonferenza per compensare l'altezza. Una quercia, che tra il legno e la corteccia ha un tessuto che cresce (il cambio), si sviluppa in altezza e in larghezza durante tutta la sua esistenza. Una palma del cocco, invece, dove il tessuto soggetto a crescita si trova solo all'apice del fusto (è la cosiddetta insalata dei miliardari, e ottenerla significa uccidere la palma), presenta solo uno sviluppo in altezza accompagnato da un lento ingrossamento alla base del tronco. Per quest'organismo la limitazione dell'altezza è semplicemente un normale aspetto dell'adattamento a una nicchia. È la pura e semplice instabilità meccanica provocata da un'altezza eccessiva non compensata da una circonferenza adeguata che normalmente la conduce alla morte.

Molte piante evitano (o risolvono?) questi problemi di limitazione della crescita legando la durata della loro vita al calendario o al loro ciclo riproduttivo. Le piante annuali iniziano una nuova generazione ogni anno, mentre quelle come la cosiddetta pianta secolare (iucca) possono vivere per molti anni ma, come i salmoni, muoiono inevitabilmente con la riproduzione. La iucca, a parte una ramificazione multipla sulla cima che reca il fiore, non produce rami. La stessa infiorescenza ramificata è la parte terminale del suo stelo, e quando ha compiuto la propria funzione, la pianta muore. La sua morte fa parte della norma del suo modo di vivere.

In certi animali superiori la crescita è controllata: la creatura raggiunge una dimensione o un'età o uno stadio in cui la crescita semplicemente si arresta (cioè viene arrestata da messaggi chimici o d'altro genere interni all'organizzazione della creatura). Le cellule, così controllate, smettono di crescere e di dividersi. Quando i controlli non funzionano più (perché il messaggio non viene generato o non viene ricevuto) il risultato è il cancro. Dove hanno origine questi messaggi, che cosa ne provoca l'invio e in quale codice, presumibilmente chimico, sono immanenti? Che cosa controlla la simmetria bilaterale esterna quasi perfetta del corpo dei mammiferi? Quel che sappiamo del sistema di messaggi che controlla la crescita è in verità assai poco. Deve esistere tutto un sistema di interrelazioni che finora è stato poco studiato.

XIII. LA LOGICA È UN CATTIVO MODELLO DELLA CAUSALITÀ

Quando parliamo di sequenze logiche e di sequenze causali usiamo le stesse parole; diciamo: «Se si accettano le definizioni e i postulati di Euclide, allora due triangoli che abbiano i tre lati ordinatamente uguali sono tra loro uguali». E diciamo: «Se la temperatura scende sotto lo zero, allora l'acqua comincia a gelare».

Ma il *se... allora* del sillogismo logico è molto diverso dal *se... allora* della causalità.

In un calcolatore, che lavora per causa ed effetto e dove un transistor ne eccita un altro, le sequenze causali vengono usate per *simulare* la logica. Trent'anni fa ci si chiedeva: può un calcolatore simulare *tutti* i processi logici? La risposta era sì, ma la domanda era certamente sbagliata. Avremmo dovuto chiedere invece: può la logica simulare tutte le sequenze causali? E la risposta sarebbe stata no.

Quando le sequenze causali diventano circolari (o più complesse), la descrizione o proiezione di queste sequenze sulla logica, che è atemporale, diventa contraddittoria. Si generano paradossi che la logica pura non può tollerare. Come esempio può andar bene il circuito di un comune campanello, uno degli apparenti paradossi che si producono in milioni di casi di omeostasi ricorrenti in biologia. Il circuito del campanello (figura 3) è costruito in modo da essere percorso da corrente quando

l'armatura fa contatto con l'elettrodo nel punto A; ma il passaggio della corrente attiva l'elettromagnete, il quale attira l'armatura interrompendo il contatto in A. Allora la corrente non percorre più il circuito, l'elettromagnete si disattiva e l'armatura torna a ristabilire il contatto in A facendo ricominciare il ciclo.

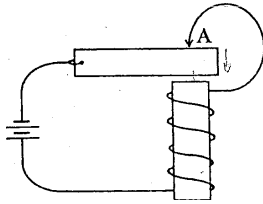


Figura 3

Descriviamo questo ciclo nei termini di una sequenza causale:
 Se si stabilisce il contatto in A, allora il magnete viene attivato.
 Se il magnete viene attivato, allora il contatto in A viene interrotto.
 Se il contatto in A viene interrotto, allora il magnete viene disattivato.
 Se il magnete viene disattivato, allora si stabilisce il contatto.

Questa successione è del tutto soddisfacente purché s'intenda chiaramente che i nessi *se... allora* sono *causali*. Trasferiti con un bisticcio nel mondo della logica i *se* e gli *allora* creerebbero il caos:

Se il contatto viene stabilito, allora il contatto viene interrotto.
 Se P, allora non-P.

Il *se... allora* della causalità contiene il *tempo*, mentre il *se... allora* della logica è atemporale; ne segue che la logica è un modello incompleto della causalità.

XIV. LA CAUSALITÀ NON OPERA ALL'INDIETRO

Spesso la logica può essere invertita, l'effetto invece non precede la causa. Questa asserzione generale rappresenta un ostacolo per le scienze psicologiche e biologiche fin dai tempi di Platone e Aristotele. I greci erano inclini a credere in quelle che più tardi furono dette cause *finali*. Essi ritenevano che la struttura o forma generata alla fine di una successione di eventi potesse essere considerata in qualche modo come causa del cammino seguito dalla successione. Ciò condusse a quella che si chiamò teleologia (*telos* significa il termine o lo scopo di una successione).

Il problema che si trovarono ad affrontare i teorici della biologia fu quello dell'adattamento. L'osservazione faceva concludere che il granchio aveva le chele per afferrare le cose. La difficoltà era sempre quella del ragionamento all'indietro, dallo scopo delle chele alla causa che le aveva fatte sviluppare. A lungo in biologia fu considerato eretico credere che le chele esistessero *perché* erano utili: questa credenza conteneva l'errore teleologico, cioè un'inversione cronologica della causalità.

Il ragionamento lineale genera sempre o l'errore teleologico (secondo cui il processo è determinato dal fine) o il mito di una qualche entità regolatrice soprannaturale.

Il fatto è che quando i sistemi causali diventano circolari (argomento che sarà discusso nel capitolo IV), un cambiamento in un punto qualsiasi del circolo può essere considerato *causa* di un cambiamento verificantesi successivamente in una qualsiasi

variabile in un punto qualsiasi del circolo. Accade così che un aumento della temperatura della stanza possa essere considerato causa del cambiamento che avviene nell'interruttore del termostato, e per converso che l'azione del termostato possa essere considerata l'agente che regola la temperatura della stanza.

XV. IL LINGUAGGIO SOTTOLINEA DI SOLITO SOLO UN ASPETTO DI QUALUNQUE INTERAZIONE

Di solito ci esprimiamo come se una singola «cosa» potesse «avere» una qualche caratteristica. Diciamo che una pietra è «dura», «piccola», «pesante», «gialla», «densa», «fragile», «calda», «in moto», «ferma», «visibile», «commestibile», «incommestibile», eccetera.

Così è fatto il nostro linguaggio: «La pietra è dura», e via di seguito. È un modo di parlare che va benissimo al mercato: «Questa è una nuova marca». «Le patate sono marce». «Le uova sono fresche». «Il contenitore è rotto». «Il diamante è difettoso». «Un chilo di mele basterà». E così via.

Ma nella scienza o nell'epistemologia questo modo di parlare non va bene. Per pensare correttamente è consigliabile supporre che tutte le qualità, gli attributi, gli aggettivi e così via si riferiscano almeno a *due* insiemi di interazioni temporali.

«La pietra è dura» significa (a) che, colpita, essa si è dimostrata resistente alla penetrazione, e (b) che le *parti* molecolari della pietra sono in qualche modo tenute insieme da certe interazioni continue tra quelle stesse parti.

«La pietra è ferma» è un commento sull'ubicazione della pietra rispetto all'ubicazione di chi parla e di altre eventuali cose in moto. È anche un commento su fatti interni alla pietra: la sua inerzia, l'assenza di distorsione interna, l'assenza di attrito superficiale e così via.

Mediante la sintassi del soggetto e del predicato il linguaggio asserisce continuamente che le «cose» in un certo modo «hanno» qualità e attributi. Un modo di parlare più preciso sottolineerebbe che le «cose» sono prodotte, sono viste separate dalle altre «cose» e sono rese «reali» dalle loro relazioni interne e dal loro comportamento rispetto ad altre cose e a chi parla.

È necessario chiarire bene questa verità universale: le «cose», quali che siano nel loro mondo pleromatico e «cosale», possono entrare nel mondo della comunicazione e del significato solo mediante i loro nomi, le loro qualità e i loro attributi (cioè mediante resoconti delle loro relazioni e interazioni interne ed esterne).

XVI. «STABILITÀ» E «CAMBIAMENTO» DESCRIVONO PARTI DELLE NOSTRE DESCRIZIONI

In altre parti di questo libro assumeranno grande importanza la parola *stabile* e, necessariamente, la parola *cambiamento*. Sarà bene perciò esaminare queste parole ora, nella fase introduttiva del nostro lavoro. Quali tranelli contengono o nascondono queste parole?

Di solito *stabile* viene usato come aggettivo riferito a una cosa. Viene detto stabile un composto chimico, un edificio, un ecosistema, un governo. Se approfondiamo la questione, ci verrà detto che l'oggetto stabile non cambia sotto l'urto o la tensione di qualche particolare variabile esterna o interna, o, forse, che esso resiste al passare del tempo.

Se ci mettiamo a indagare su ciò che sta dietro questo uso di *stabilità*, scopriamo una vasta gamma di meccanismi. Al livello più elementare troviamo la semplice durezza o

la viscosità fisica, qualità che descrivono le relazioni dell'urto tra l'oggetto stabile e un altro oggetto. A livelli più complessi può essere l'intera massa di processi interrelati detta *vita* a operare per mantenere il nostro oggetto in uno *stato di cambiamento* che garantisca il persistere di alcune costanti necessarie, come la temperatura del corpo, la circolazione sanguigna, la glicemia o addirittura la vita stessa.

L'acrobata sul filo mantiene la sua stabilità mediante continue correzioni del suo equilibrio.

Questi esempi più complessi indicano che quando usiamo la parola *stabilità* a proposito di cose viventi o di circuiti autocorrettivi dovremmo *seguire l'esempio delle entità di cui parliamo*. Per l'acrobata sul filo è importante il cosiddetto "equilibrio"; per il corpo del mammifero lo è la "temperatura". Il mutamento dello stato di queste importanti variabili istante per istante viene trasmesso alle reti di comunicazione del corpo. Per seguire l'esempio dell'entità, dovremmo definire la "stabilità" riferendoci sempre alla *verità continuativa di una qualche proposizione descrittiva*. L'enunciato «l'acrobata è sul filo» continua a valere anche sotto l'effetto di lievi brezze e di vibrazioni della fune. Questa "stabilità" è il risultato di continui cambiamenti nelle descrizioni della postura dell'acrobata e della posizione della sua asta di bilanciamento.

Ne segue che, quando parliamo di entità viventi, gli enunciati relativi alla "stabilità" dovrebbero essere sempre contrassegnati da un riferimento a qualche proposizione descrittiva, in modo da chiarire a quale tipo logico appartenga la parola *stabile*. Più avanti, specie nel capitolo IV, vedremo che *ogni* proposizione descrittiva dev'essere caratterizzata secondo il tipo logico del soggetto, del predicato e del contesto.

Analogamente tutti gli enunciati relativi al cambiamento richiedono lo stesso genere di precisione. Adagi profondi come il francese «*plus ça change, plus c'est la même chose*» devono la loro saccente sentenziosità a una confusione di tipi logici: ciò che «cambia» e ciò che «è sempre lo stesso» sono entrambe proposizioni descrittive, ma di ordine diverso.

L'elenco dei presupposti esaminati in questo capitolo richiede un commento. In primo luogo l'elenco non è completo da nessun punto di vista, e non esiste alcuna indicazione che un elenco completo di verità o di proposizioni generali sia veramente possibile. È forse, anzi, una caratteristica del mondo in cui viviamo che un siffatto elenco debba essere finito?

Durante la preparazione di questo capitolo venne eliminata un'altra dozzina circa di candidati all'elenco, altri furono tolti da questo capitolo per diventare parte integrante dei capitoli III, IV e V. Tuttavia, benché incompleto, questo elenco dà modo al lettore di eseguire un certo numero di esercizi.

In primo luogo, davanti a un elenco l'impulso naturale dello scienziato è di incominciare a classificarne o ordinarne le voci. Io in parte l'ho già fatto, suddividendo l'elenco in quattro gruppi nei quali le voci sono collegate tra loro in vari modi. Un esercizio non banale sarebbe quello di catalogare i modi in cui si possono connettere queste verità o presupposti. Il raggruppamento da me imposto è il seguente.

Un primo gruppo comprende i paragrafi I-V, che sembrano essere aspetti interrelati del fenomeno necessario della codificazione. Qui, per esempio, è abbastanza facile riconoscere che la proposizione «la scienza non dimostra mai nulla» è un sinonimo della distinzione tra mappa e territorio; entrambe seguono dagli esperimenti di Ames e dalla proposizione generale della storia naturale che «l'esperienza oggettiva non esiste».

È interessante notare che, sotto il profilo astratto e filosofico, questo gruppo di asserzioni generali deve dipendere molto strettamente da qualcosa di simile al rasoio di Occam o regola della parsimonia. Senza un criterio ultimo di questa sorta, non

esiste un modo definitivo di scegliere tra questa e quella ipotesi. Il criterio risultato necessario è quello della semplicità in preferenza alla complessità. Ma accanto a queste asserzioni generali vi è la loro connessione con la neurofisiologia, vi sono gli esperimenti di Ames e così via. Ci si chiede subito se il materiale relativo alla percezione non vada d'accordo con quello più filosofico perché il processo percettivo contiene qualcosa di analogo a un rasoio di Occam o a un criterio di parsimonia. La discussione sulle parti e sulle totalità nel paragrafo V è un esempio di esplicitazione di una forma comune di trasformazione avente luogo in quei processi che chiamiamo *descrizione*.

I paragrafi VI, VII e VIII formano un secondo raggruppamento, riguardante questioni del casuale e dell'ordinato. Il lettore osserverà che l'idea che il nuovo può essere estratto solo dal casuale è in contraddizione pressoché totale con l'inevitabilità dell'entropia. L'intera questione dell'entropia e dell'entropia negativa (si veda il Glossario¹⁹), nonché le antitesi tra l'insieme delle asserzioni generali legate a questi termini e quelle legate all'energia, saranno considerate nel capitolo VI a proposito dell'economia della flessibilità. Qui basti notare l'interessante analogia formale tra l'apparente contraddizione esistente all'interno di questo gruppo di paragrafi e la discriminazione tracciata all'interno del terzo gruppo, dove, nel paragrafo IX, si contrappone il numero alla quantità. La riflessione che concerne la quantità richiama sotto molti aspetti quella che riguarda il concetto di energia, mentre il concetto di numero è molto più strettamente legato ai concetti di struttura e di entropia negativa.

Il mistero che è al cuore dell'evoluzione sta, naturalmente, nell'antitesi tra, gli enunciati della seconda legge della termodinamica e l'osservazione che il nuovo può essere estratto solo dal casuale. Si tratta dell'antitesi che Darwin risolse parte con la teoria della selezione naturale.

Gli altri due raggruppamenti dell'elenco da me presentato sono quelli dei paragrafi IX-XII e XIII-XVI. Lascero al lettore il compito di stabilire da sé come siano collegati internamente questi raggruppamenti e di formarne altri secondo il suo modo di pensare.

Nel capitolo III continuerò a colmare lo sfondo della mia tesi, dando un elenco di proposizioni generali o presupposti. Mi avvicinerò tuttavia ai problemi fondamentali del pensiero e dell'evoluzione, tentando di dare risposte alla domanda: *In quali modi due o più informazioni o comandi possono operare in accordo o in opposizione?* Questa domanda, con le sue molteplici risposte, mi sembra fondamentale per qualsiasi teoria del pensiero o dell'evoluzione.

¹⁹ Entropia: il grado di mescolanza, disordine, indifferenza, imprevedibilità e casualità (s.v.) delle relazioni tra le componenti di un qualunque aggregato. Il suo contrario è l'*entropia negativa* (neg-entropia), il grado di ordine, classificazione o prevedibilità di un aggregato. In fisica certi generi di ordine sono legati alla quantità di energia presente (ndr).