

BIOLOGIA E VERITÀ

Le basi scientifiche del comportamento Leggi di natura e verità scientifica

di Francesco Salamini*

Questo contributo prende spunto dalla relazione tenuta dall'autore, durante l'annuale convegno dell'Associazione Universitas University svolto al CERN di Ginevra nel febbraio 2015, intorno al tema scienza e verità.

Illustrando le conoscenze scientifiche sul comportamento umano, l'autore prepara il terreno per riflettere sulla conoscibilità del reale e sulla responsabilità dello scienziato nella ricerca e nella comunicazione.

Un terreno difficile, dove i «dati» della scienza si scontrano spesso con le «riflessioni» del mondo filosofico. Un'occasione per mostrare l'importanza della coscienza di ogni uomo di fronte alle verità maturate nella propria vita, espressa in chiusura nella citazione di Rabbi Akiba: «Misura la sincerità e la pietà nel tuo cuore e conoscerai le distanze nel cielo».

* Accademico dei Lincei, membro del comitato scientifico di Expo 2015. Già professore di Botanica e Fisiologia all'Università di Piacenza.

È inevitabile che coloro che si dedicano alla scienza applichino anche a loro stessi quanto conoscono, specialmente per comprendere, per quanto possibile, le basi scientifiche del comportamento umano, sentiero che inevitabilmente conduce alle domande antropologiche: chi siamo e chi sono. Nel dibattito plurisecolare attorno alla possibilità dell'uomo di formulare giudizi di verità si sono scontrate diverse posizioni. Tuttavia, sia che si faccia riferimento a principi di valore emananti da un Ente esterno al mondo e all'universo, sia che dentro di noi il caso, la necessità e la contingenza li abbiano creati, o sia che il futuro, mente umana compresa, sia stato in potenza contenuto nella molecola di un DNA primigenio, la coscienza di ciascuno uomo, definito il suo stato morale, deve rispetto allo stesso accettando e praticando le verità che ha maturato.

In questa memoria si farà riferimento a quanto la genetica, lo studio dell'evoluzione, la neurologia, la psicologia evoluzionistica e alcune ipotesi cosmologiche possono contribuire a una discussione su scienza e verità.

Il bisogno di verità esiste come conseguenza dell'essere, la nostra, una specie sociale: nasce, cioè, come componente non secondaria delle interazioni tra individui. Per questo è rilevante e connaturato al tema trattato fare riferimenti alla conoscenza, pur parziale, del complesso sistema neurobiologico che genera le nostre interpretazioni del mondo e, soprattutto, i moduli comportamentali nostri e degli altri uomini.

La discussione si complica e si arricchisce considerando i recenti progressi delle discipline che studiano la genetica e l'evoluzione del comportamento negli animali e nella nostra specie. Il tentativo non è semplice da sviluppare.

Gli scienziati hanno una visione forte della verità e non tollerano equivoci filosofici circa la sua realtà o importanza. Questa pretesa di verità deriva essenzialmente dalla loro capacità di far sì che materia ed energia facciano quello che gli scienziati si aspettano [1]. Per secoli la visione del mondo e dell'universo è stata discussa soprattutto dai filosofi e dagli storici. Quando, più tardi, la scienza ha cercato di affrontare lo stesso tema, si sono create contrapposizioni tra scienziati e umanisti [2].



Craterostigma plantagineum (in un disegno dell'autore) è una piccola pianta che cresce in Sudafrica. La specie è un modello per gli studi sulla resurrezione di tessuti e intere piante.

È comunque credibile che la scienza proponga certezze (seppure approssimate): in matematica la convergenza delle opinioni colpisce per la frequenza con cui avviene rispetto alla considerazione di situazioni politiche, sociali, religiose [3]. Ma che, di fronte alle «realità» del mondo e «verità» delle leggi fisiche e biologiche che lo governano, io, tu, noi possiamo, anche solo in parte, dissentire, è una possibilità. Un esempio è ancora la matematica: è stato discusso se esiste indipendentemente dalla mente umana o se è una invenzione umana.

Una corrente di pensiero ritiene che le entità matematiche siano un fatto oggettivo¹. Altri, invece, concludono che «La matematica è una parte naturale dell'uomo. Nasce dal nostro corpo, dal nostro cervello, e dalle nostre esperienze quotidiane del mondo»[4] (in [5]).

Unicità della specie, unicità dell'individuo

Che la specie umana sia qualcosa di unico e speciale è una constatazione ben chiara ai neurobiologi [6]. In particolare, le emozioni sono collegate a valori, principi e giudizi che solo gli esseri umani hanno [7]. Inoltre, solo l'uomo è considerato un essere morale e religioso e probabilmente il senso morale gli deriva dagli istinti sociali già in parte presenti negli animali che vivono in gruppo [8].

La mimica facciale, che riflette sensazioni come gioia, disgusto e rabbia, è una risposta automatica comune e specifica per tutti gli uomini [9], così come le società umane studiate dagli antropologi hanno in comune una lunghissima serie di caratteristiche uniche [10].

Anche nello sviluppo della cultura, che si basa sulla memoria a lungo termine, gli umani superano in modo quasi infinito gli altri animali. «In generale, ormai sembra possibile fornire una spiegazione plausibile del perché la condizione umana sia una singolarità e perché qualcosa di simile sia accaduto una sola volta» [11].

Questo introduce ai contenuti, in termini di verità, delle risposte che si possono dare alla domanda antropologica: sono questi contenuti sempre veri in assoluto per la specie o sono, almeno in parte, specifici di chi risponde o dei tempi storici nei quali la risposta viene data? Il mondo che ci circonda di fatto è dominato dalla diversità del reale materiale e culturale, diversità che include quella delle menti umane e dei cervelli che le nutrono [12]. Si pone qui il problema di cosa è la verità per un singolo soggetto umano: ognuno crea la sua verità quando si spiega il mondo o essa è una proprietà del mondo che esiste al di fuori di lui e che lui è solo in grado di approssimare?

La formazione del cervello: un evento irripetibile

Noi siamo il nostro cervello, apparentemente unico per ogni individuo [13]. La pretesa di unicità si basa su robuste evidenze sperimentali.

Le popolazioni di *Homo sapiens* sono altamente eterozigoti [14], così come lo è ogni singolo individuo: è la premessa per comprendere che già la ricombinazione tra il DNA di coppie di cromosomi produce, a ogni generazione, persone con un'altissima probabilità di essere uniche al mondo.

A questo meccanismo si aggiunge la mutazione che, in regioni dei cromosomi ereditate in blocco da un genitore, sostituisce i nucleotidi presenti con altri con una frequenza, in specie diverse, tra uno su mille e uno su un miliardo per generazione, e la frequenza negli uomini è tra le più alte [15].

A queste mutazioni di singoli nucleotidi si somma un numero significativo di variazioni genomiche strutturali causate specialmente dalle sequenze ripetute del DNA. Queste possono essere corte (micro satelliti) o di lunghezza variabile, ripetute in tandem o distribuite variamente nel genoma.

Rappresentano il substrato o la condizione per riorganizzazioni genomiche dovute a replicazione inaccurata, riparo del DNA, contrazione o espansione di sequenze ripetute, trasposizione e retro trasposizione, reintegrazione nel genoma di copie dei trascritti (citazioni in [16]). Anche l'ambiente gioca un ruolo in favore della diversità genetica individuale quando induce modificazioni epigenetiche del DNA spesso ereditabili [17].

Una sorprendente ipotesi riguarda la capacità che un singolo genoma ha di generare cervelli diversi. Già Gerald Edelman [18] aveva suggerito che, durante lo sviluppo del cervello, gruppi di neuroni siano in competizione per essere selezionati a seconda della loro posizione e origine clonale [19].



Graffiti camuni a Capo di Ponte (val Camonica)

La composizione in neuroni del cervello risentirebbe, cioè, di un processo dove il caso gioca un ruolo. Sarebbero implicati, particolarmente, eventi traspositivi, frequenti nelle divisioni precoci dello zigote, tali da conferire, eventualmente, vantaggi selettivi ai cloni di cellule neuronali risultanti. Per questo la formazione di un cervello rappresenta un evento irripetibile anche per uno stesso genoma che, in potenza, avrebbe la capacità di sviluppare un gran numero di cervelli alternativi [20].

Mente o coscienza?

Da Platone e Aristotele in poi, la capacità razionale (che ha sede nel cervello) è stata considerata come un attributo della natura umana, la caratteristica che separa l'uomo dagli animali «inferiori», segno della benevolenza di un Dio [3].

Il cervello è tra le strutture più complesse dell'Universo: 100 miliardi di neuroni, ciascuno con 1000-10.000 contatti con altri neuroni (sinapsi). Consiste di due emisferi, ciascuno con quattro lobi: frontale (senso morale, saggezza, intuizione), parietale (decodificazione di strutture 3D), occipitale (visione), temporale (emozioni) [21]. Nell'uomo la corteccia (spessore di 4 mm) è estremamente sviluppata.

I neuroni specchio e il senso di sé

I neuroni di alcune specifiche aree, detti di comando motorio, si attivano quando si compiono azioni o gesti motori. Studiandoli, Giacomo Rizzolatti e collaboratori all'Università di Parma [22] notarono che gruppi di neuroni (neuroni specchio) si attivano quando si compie una certa azione, ma anche quando l'individuo (una scimmia nel caso) guarda un altro individuo che svolge la stessa azione.

Questi neuroni specchio sono particolarmente sviluppati in *Homo sapiens* e permettono di «leggere» le intenzioni degli altri (cioè di riconoscere le azioni e di comprendere le ragioni che stanno dietro quelle azioni), un carattere indispensabile per creature che vivono in comunità sociali.

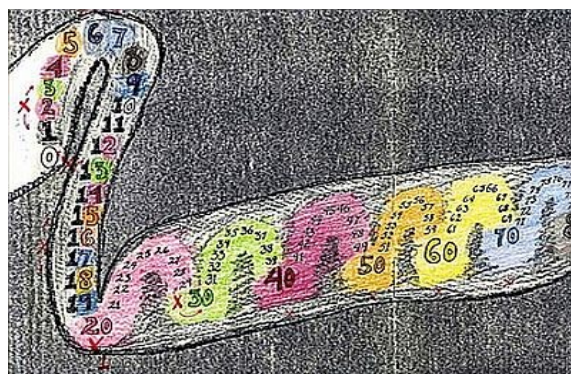
Negli uomini, e solo negli uomini, i neuroni specchio sono diventati così sofisticati da permettere la decifrazione anche di intenzioni altrui molto complesse. Considerato che la cultura si può acquisire per imitazione, i neuroni specchio sono programmati per integrare nella propria mente quanto deriva da esperienze altrui.

Tuttavia, i neuroni specchio, pur facendo sentire sentimenti e compiere azioni in empatia con altri, sono parte di un meccanismo neurobiologico che può favorire la violenza imitativa [23]. Sono attivi durante le relazioni sociali perché le conseguenti reazioni sono cruciali per la comprensione delle relazioni stesse [23]. Mediano anche l'adozione di posizioni concettuali vantaggiose elaborate da altri [6]. Da questo punto di vista l'unicità di un cervello contiene parti dell'unicità di altri cervelli.

L'evoluzione e il funzionamento di una macchina così complessa attenderanno ancora molte generazioni per essere ragionevolmente descritti. Si possono però comprendere alcuni passaggi evolutivi la cui conoscenza può almeno farci intuire gli stretti sentieri che la ricerca sperimentale deve percorrere.

Lo studio delle sinestesie, in particolare, si presta a questo scopo. Sinestesia è la condizione di una persona che percepisce qualcosa in uno dei sensi senza che questo venga stimolato (esempio: un numero visto è associato nella mente a un colore). Può essere una coincidenza che le aree del cervello deputate a numeri e colori siano immediatamente adiacenti?

La spiegazione è che specifici moduli del cervello sono topograficamente in parte sovrapposti e questo stato è talora ereditabile. Nel giro fusiforme del cervello un oggetto visto viene rappresentato acusticamente; durante l'evoluzione della base fisica del linguaggio si è innescata una sinestesia che ha associato l'aspetto visivo a un fonema, o tra area visiva e area di Broca che controlla i muscoli della vocalizzazione [21]. Aree e moduli deputati a funzioni diverse sono poi integrati in una funzione superiore che dà all'individuo una percezione unitaria. È localizzata nella corteccia dell'emisfero sinistro: interpreta e rende coerenti le storie esterne aggiornando il senso del sé e le sue credenze.



Qualia

È il plurale del latino *quale*. Negli studi sulla coscienza il termine è usato per indicare la natura dell'esperienza soggettiva del mondo, cioè le qualità sensoriali individuali che derivano, per esempio, dal profumo del caffè appena macinato, dal sapore dell'ananas, dall'azzurro del cielo o dal timbro di un violoncello.

Sono parti fondamentali del film della vita di ciascuno di noi derivanti da esperienze con un distinto carattere fenomenologico, inequivocabili ma difficili da descrivere [7]. È comunque chiaro che la conoscenza di un evento presente alla mente è modellata secondo la prospettiva dell'individuo all'interno del quale si forma, e non da una prospettiva comune a tante persone. Le metafore e le similitudini in parte dipendono dai *qualia*: «una sensazione evocata dà specificità e permette di esprimere il non esprimibile» [25]. Se si è d'accordo che la scienza cerca leggi esplicative di valore universale, alla definizione di queste il contributo dei *qualia* potrebbe essere minimale. Nonostante questo i *qualia* hanno rilevanza per la vita di ciascuno di noi, inclusa quella degli scienziati che accettano con molte e personali sfumature le leggi fisiche o biologiche che reggono il mondo.

Noam Chomsky, per esempio, sostiene che «è decisamente possibile [...] che si impari di più sulla vita dell'uomo e sulla sua personalità dai romanzi che non dalla psicologia scientifica». I romanzi, infatti, narrano la specificità dell'esperienza personale, sempre unica come lo è la storia personale di ciascuno che si modifica ad ogni esperienza [25].

La considerazione dei *qualia* introduce il ruolo dell'ambiente e della cultura, se non addirittura della contingenza, nel plasmare singole menti umane e, soprattutto, mette in dubbio le pretese che la verità definita dagli uomini debba essere assoluta.

Caso e necessità

Il concetto di evoluzione [26] degli organismi viventi è stato proposto, in varie forme, molto prima che fosse codificato nell'opera di Charles Darwin².

Nella *Philosophie Zoologique* Jean Baptiste Lamarck [27] sostenne con motivazioni forti il ruolo dell'evoluzione nella speciazione, e Charles Lyell [28], un autorevole sostenitore e amico di Darwin, nel secondo volume dei *Principles*, riassunse ammirevolmente questa ipotesi. Lamarck favoriva l'acquisizione progressiva della complessità organica e l'ereditabilità dei caratteri acquisiti sotto stimolo ambientale. Darwin considerava il libro di Lamarck assurdo [29].

L'eredità dei caratteri acquisiti divenne un tema importante solo quando Augusto Weismann (1834-1914) chiarì la distinzione tra soma e linea germinale degli animali e si chiese come potevano caratteri impressi durante la vita nel soma essere riprodotti nella linea seminale [30].

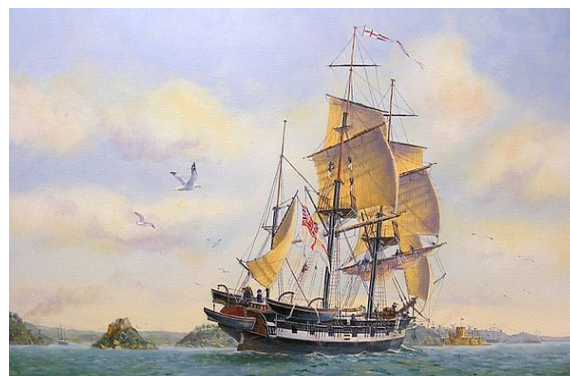
Darwin e la lotta per l'esistenza

Durante il viaggio sul *Beagle* Darwin si rese conto delle crudeli e continue lotte tra tribù di selvaggi del Sud America per accedere a risorse scarse. maturò qui la convinzione che la lotta per prevalere e sopravvivere è stata centrale alle dinamiche evolutive [29].

Michele Lessona [31], contemporaneo di Darwin, lo commenta scrivendo che «la lotta per la vita è una legge fatale, dolorosa, crudele, di tutti i viventi, non escluso l'uomo». Alla base della selezione naturale degli individui c'è l'egoismo, una deduzione estesa poi a singoli geni: Richard Dawkins [32] l'ha popolarizzata con il titolo di un libro diventato famoso: *The selfish gene*.

Non tutto quanto è stato da Darwin proposto è rimasto. Roy Davies [33] sostiene che l'idea di speciazione anche multipla da un progenitore comune era ben presente ad Alfred Russel Wallace che sul tema poteva vantare una forte priorità³. Non rimane anche la proposta dell'eredità dei caratteri dovuta al mescolamento di gemmule dei genitori che raggiungono la linea seminale (*blending inheritance*). Mendel, alla teoria dei «sangui miscibili», sostituirà quella dei «geni immiscibili» [34].

La stessa gradualità della modificazione dei caratteri che conduce prima al differenziamento di popolazioni diverse e poi alla speciazione è stata in parte abbandonata. È infatti stato accettato che le specie possono comparire e scomparire in modo discontinuo (teoria di Gould e Eldredge [35]); per esempio, l'alloploidia nei pesci e nelle piante è un grande fattore evolutivo di natura discontinua [36, 37].



Il dipinto raffigura il brigantino Beagle, su cui Darwin compì il giro del mondo

Rimane la ricerca, discussione e presentazione organica dei risultati disponibili per piante e animali che illustrano gli effetti della selezione. Nell'insieme certificano che la selezione è in grado di modificare ereditariamente i caratteri: nel suo secondo libro più importante [38] Darwin riassume una impressionante serie di dati a sostegno dell'efficacia della selezione e propone di usare questa prova a supporto di una teoria dell'origine delle specie, dove gli effetti della selezione naturale sono accettati come veri per analogia con quelli della selezione «artificiale».

Il DNA e lo stress ambientale

È comunque indubbio che la teoria dell'evoluzione ci ha concesso almeno una visione parziale della posizione dell'uomo nel mondo, così come una riflessione su chi siamo o cosa non siamo [39].

Su questa teoria il neodarwinismo, che ha integrato nella teoria di Darwin specialmente gli apporti di un secolo di genetica, ha costruito una base teorica dove anche caso, necessità, contingenza e determinismo sono considerati. In *Il caso e la necessità*, Jacques Monod [40] assegna ai viventi due proprietà: l'invarianza (la riproduzione precisa del DNA), e la teleonomia (la presenza di strutture che appaiono rivolte a un fine, un *telos*). Riconduce la seconda proprietà alla prima: la teleonomia sarebbe il risultato di mutazioni casuali che l'invarianza del DNA riproduce esponendole ai meccanismi della selezione (la necessità) [41].

In questo processo si assegna un ruolo alla contingenza, evenienze non necessarie ma possibili e non giustificate né negate da vincoli esterni ad esse [42]. Tuttavia, James Shapiro [43] ha recentemente introdotto una novità, nella percezione dell'evoluzione organica, ponendosi la domanda di come, nell'evoluzione, si forma il nuovo.

I sistemi di controllo della sintesi e riparo del DNA hanno un ruolo centrale: tendono all'invarianza del DNA quando l'ambiente è stabile, ma introducono ristrutturazioni e invenzioni quando la cellula è esposta a *stress* ambientale. Il genoma, cioè, sarebbe un sistema di memoria che si legge ma anche che accetta di essere scritto (*a read-write, RW, memory system*).

Sono le novità progressive inventate dal DNA a prevalere come fattore evolutivo sulla selezione naturale. In questa visione diminuisce la rilevanza e la priorità del caso: le mutazioni che contano (quelle che servono per superare i cambiamenti ambientali) non sono casuali e l'ambiente ha un ruolo evolutivo ben preciso e quasi deterministico che evita l'attesa di congiunzioni favorevoli tra caso e necessità. Se questo assunto è vero, è difficile negare che un operatore molecolare con delega ai cambiamenti del genoma agisca a caso. Cadrebbe, se Shapiro si rivelerà credibile, un altro baluardo della teoria evolutiva di Darwin.

La posizione di Shapiro è forte: se il DNA è in sé fonte cumulata di variazione e di selezione, è forse la sua struttura chimica e sterica che possiede un contenuto deterministico? Francis Crick ha considerato la possibilità che la Terra sia stata «inseminata di vita da forme di intelligenza aliena», quasi a trovare una spiegazione all'evento più straordinario di tutta la storia del mondo: la vita che si è originata una sola volta [44]. Con un corollario: perché l'atto di inseminare avesse un senso, l'attore doveva aver chiaro o aver programmato *a priori* la storia naturale del pianeta Terra. Questa quasi provocazione pone in modo esplicito la possibilità che la nostra biologia in parte determini i comportamenti.

Comportamento sociale: altruismo e moralità

I comportamenti altruistici in natura nascono e si diffondono per parentela, reciprocità, parassitismo [45]. Sono rari: in pochissime specie animali l'interesse dell'individuo soccombe all'interesse per il gruppo.

Le aggregazioni naturali di individui corrispondono spesso a famiglie dove i membri sono legati da parentela [46]. La loro evoluzione è stata particolarmente studiata negli insetti, definiti eusociali⁴, che vivono in gruppi organizzati e praticano l'aiuto mutuo.

Eusocialità

L'assenza di egoismo nella colonia di formiche è dovuta al comportamento delle formiche operaie che rinunciano a riprodursi.

Negli Imenotteri (api, vespe, formiche) le femmine si sviluppano da uova fecondate e quindi i loro cromosomi sono presenti in coppie (stato diploide).



I maschi invece prendono origine da uova partenogenetiche non fecondate e quindi contengono solo un elemento di ciascuna coppia cromosomica (stato aploide).

Ne consegue che il maschio che feconda la regina produce spermatozoi con cromosomi identici: le figlie, quindi, hanno un corredo cromosomico per metà identico (trasmesso dal padre) e per l'altra metà uno o l'altro dei cromosomi delle coppie della madre. Di conseguenza il coefficiente di parentela tra le figlie (quanto del corredo cromosomico è in comune tra loro) è di $3/4$, mentre tra madre e figlie di $1/2$.

Le figlie femmine, quindi, sono tra loro più imparentate di quanto lo sono con i loro stessi figli e se l'eusocialità si evolve in base ai legami di parentela, si spiega perché negli imenotteri le femmine operaie tendono a rinunciare a riprodursi favorendo una modalità riproduttiva, l'aplodiploidia, che aumenta la frequenza degli alleli dei geni per la socialità, fino al punto che la regina assume il ruolo di unica madre generatrice, secondo un meccanismo altruistico a stretta base genica [45, 47, 48].

La selezione per parentela è stata entusiasticamente accettata dai neodarwinisti⁵ e introduce alla discussione di come la straordinaria evoluzione del cervello umano abbia permesso alla nostra specie di praticare la forma più avanzata di eusocialità, dove la stessa non solo è vissuta nella realtà ma è anche rappresentata in infinite e variabili ipotesi mentali.

Dopo la pubblicazione di *Sociobiology*, il libro di Osborne Eduard Wilson [49] che trattava lo sviluppo dei comportamenti sociali utilizzando le nuove idee sulla selezione naturale, l'autore fu pesantemente attaccato per la sua visione⁶.

Il libro considerava l'evoluzione di comunicazione, altruismo, aggressività, sesso, parentela, visti nelle specie eusociali, uomo incluso. Proprio da Wilson [11, 50] viene un recente attacco alla teoria dell'evoluzione per selezione di parentela: premesso che nella dinamica evolutiva la selezione naturale è la forza creativa attiva, e che negli insetti sociali si è di fronte a un semplice caso di selezione individuale tra regine (intendendo che le operaie sono solo una estensione fenotipica del genotipo della regina), quella osservata è una selezione di tipo individuale.

Wilson propone una selezione naturale multilivello dove si sviluppa una interazione tra le forze selettive che influenzano i singoli membri di un gruppo (selezione individuale) e altri tipi di selezione che riguardano i rapporti tra gruppi (selezione di gruppo⁷), dove il successo dipende dalla cooperazione tra membri che favorisce l'altruismo e la reciprocità.

Biologia e moralità: dove nasce il senso morale?

L'evoluzione dell'altruismo in parte corregge la quasi brutalità della teoria di Darwin: la crudeltà della lotta per la sopravvivenza viene infatti ammorbidita, particolarmente nella nostra specie, dagli atteggiamenti sociali di individui che vivono in comunità [51].

L'evoluzione dell'eusocialità e del cervello che la sostiene si offre, inoltre, alla discussione dell'origine del senso morale. Steven Pinker [10] ritiene che anche la morale è da ritenersi figlia dell'evoluzione: tutti ne sono dotati, una constatazione più semplice che credere che ciascuno debba faticosamente fabbricarsela. La biologia evoluzionistica, in particolare, introduce ai rapporti tra i membri di gruppi sociali che possono condividere o meno opinioni o affermazioni, argomentandoli da una presunta base logica: l'esistenza di termini di riferimento oggettivi, in assenza di una verità.

La discussione sulle radici biologiche dell'altruismo ha creato nuovi collegamenti tra biologia e cultura [10].

Il primo ponte è rappresentato dall'emergenza della scienza della mente, *cognitive science*. La mente può essere in parte spiegata utilizzando una teoria computazionale. In particolare, nel cervello la grammatica combinatoriale del linguaggio si mescola con altri moduli mentali nel generare pensiero e intenzioni.

Il secondo ponte è rappresentato dalla neuroscienza dove si studia l'effetto dell'inattivazione di geni singoli sulla funzionalità mentale.

Il terzo ponte sono le conoscenze di genetica del comportamento, cioè di come il genoma controlla il comportamento.

Il quarto è la disciplina nota come psicologia evolutiva, lo studio di come la storia filogenetica contribuisce a spiegare le funzioni adattative della mente.

L'idea di una origine naturale della moralità nasce agli inizi dell'Ottocento con il positivismo di Auguste Comte, è ripresa da Herbert Spencer e da Konrad Lorenz alla metà del Novecento e poi dalla sociobiologia di Wilson.

Nonostante le critiche, è alta l'attenzione al tentativo di correlare la natura biologica degli esseri umani con la generazione dei comportamenti morali e delle norme morali. «La moralità degli esseri umani va distinta dall'altruismo animale sulla base delle

proprietà dell'azione morale. Non è sufficiente che un organismo si comporti in modo altruistico ma è necessario che abbia delle credenze morali e senta degli obblighi morali. Durante la filogenesi la selezione naturale ha favorito le disposizioni al rispetto, all'amore, alla cooperazione. Il senso morale è parte della natura umana: gli esseri umani, unici fra i viventi, hanno sviluppato nel corso dell'evoluzione delle proprietà biologiche così elevate da essere capaci di manifestare dei comportamenti morali, anche se questo non significa che le proprietà biologiche possano determinare direttamente né la manifestazione dei comportamenti morali né i contenuti delle norme morali» [19]. In questa, come in moltissime riflessioni su questo importante argomento viene evitato, però, il punto nodale della discussione: chi ci informa sul perché il senso morale dovrebbe avere valore assoluto in assenza di una sua certificazione oggettiva; detto altrimenti, è il nostro un senso morale universale o, per esempio, potrebbero esistere diversi sensi morali? Si deve spiegare che se in qualche modo è nato un senso morale, questo suo essere morale necessariamente implica l'esistenza di verità oggettive. Tuttavia, Maffei avverte che «la verità non è altro che la sintesi dinamica del pensiero collettivo, cioè il pensiero che viene approvato dai più» [9]. Se così è entra in gioco la responsabilità personale verso la ricerca e la pratica della verità. Non ci sono, infatti, dubbi che forme di verità esistono dentro di noi, forme pur uniche per ciascuno, ma condivisibili in parte dai più.

Autoinganno

In moltissimi organismi viventi si sono evolute forme di inganno note come camuffamento e mimetismo. Nel camuffamento l'individuo tende a confondersi nell'ambiente in cui vive negandosi così alla predazione; nel mimetismo l'individuo imita, a scopo di difesa, altri esseri vivi o componenti dell'ecosistema che lo circonda.

L'autoinganno è una evoluzione della selezione a favore dell'inganno. È un processo attivo e organizzato e il suo uso da parte degli uomini è potenziato dal linguaggio [45].

Simon Blackburn [3] cita il caso di un poeta che si rammaricava dell'impossibilità che ciascuno di noi ha di vedersi come gli altri ci vedono. Spiega che questa condizione è possibile perché nel cervello l'autoinganno è endemico: l'agente che opera nel cervello sa qualcosa ma si inganna raccontandosi qualcos'altro e convincendosi che si tratta della verità (un esempio: si crede più facilmente alle verità piacevoli che a quelle spiacevoli).

Da questo punto di vista la nostra mente è consequenziale fino a un certo punto, dopo di che applica una logica condita da un'innata tendenza al compromesso. Per questo piacere e dispiacere e bene e male hanno componenti soggettive. «Una cosa non ci è gradita o sgradita in sé, ma in conseguenza della valutazione che di essa dà il nostro corpo» [24].

Il cervello umano è una macchina per produrre argomenti vincenti con il fine di convincere gli altri che si è nel giusto e soprattutto per convincere se stessi di questo. È possibile che il cervello voglia più la vittoria della verità [52].



Un insetto mimetizzato quasi indistinguibile da una foglia secca

Dall'antropologica alla domanda cosmologica

A parere di Telmo Pievani [42] l'astrofisica è un catalogo di «buchi» esplicativi: non sappiamo spiegare la singolarità dell'inizio dell'universo, la formazione delle galassie, l'inizio del tempo, i confini dell'universo, la natura della luce, cosa c'era prima del *Big Bang*, come finirà la nostra storia universale. È possibile che alcune delle note di Pievani non trovino risposte per inerenti e ovvie difficoltà metodologiche della ricerca astrofisica.

È esperienza comune osservare che le riflessioni sul cosmo hanno sempre generato più domande che fornito risposte [53, 54]. La sola domanda se ci fu una «nascita del tempo» ha attratto l'attenzione continua di scienziati, filosofi e scrittori. Probabilmente c'è stata la nascita del nostro tempo così come è nato il nostro universo.

Qui Ilya Prigogine avverte di non dimenticare che la scienza descrive fenomeni ripetibili. Se un fenomeno è stato unico, una singolarità quale il *Big Bang*, siamo di fronte a un aspetto pressoché trascendentale, che può sfuggire alla scienza.



Ilya Prigogine (1917-2003)

La nascita del nostro tempo non dovrebbe, secondo l'autore citato, essere la nascita del tempo. Già nel vuoto fluttuante il tempo preesisteva allo stato potenziale.

Possiamo immaginare un tempo potenziale allo stato latente e che chiede un evento per attualizzarsi. In questa immaginazione il tempo non nasce con il nostro universo ma ne precede l'esistenza, e potrà assistere alla nascita di altri universi[55].

L'universo dei quanti

Propone una difficile verità del mondo, totalmente esterna all'uomo, fondata su alternative di probabilità. Werner Heisenberg scoprì che alla scala tipica delle particelle subatomiche⁸ i parametri fisici delle particelle come energia e tempo, posizione e quantità di moto sono interconnessi: quando la precisione di misura di una grandezza aumenta, la misura di una seconda perde precisione [56].

La teoria dei quanti accetta che le particelle subatomiche possano avere comportamenti inattesi spiegabili solo se una particella si trova in due luoghi contemporaneamente [44]. Questo limite di accuratezza che permea l'universo è noto come «principio di indeterminazione di Heisenberg». Hugh Everett [57] si convinse che la matematica dei quanti descrivesse la realtà: se le relative equazioni ammettono molteplici risultati, da qualche parte si verificheranno tutti. È il punto di partenza per sospettare l'esistenza, in dimensioni per noi non percepibili, di molti universi. La cosmologia quantistica ipotizza che universi-bolle multipli scaturiscano in modo casuale da un vuoto quantistico con probabilità calcolabili [58].

L'accettazione della teoria dei quanti ha profondamente modificato il nostro modo di vedere il mondo perché rappresenta un allontanamento radicale dall'antropocentrismo e ipotizza una fonte fisica di possibili eventi a noi sconosciuti e soprattutto difficilmente indagabili. Con considerazioni radicate nella biologia, già Jacques Monod [40] aveva avvertito la comunità umana del suo isolamento in un universo sconosciuto.

Al contrario, Einstein, lo scienziato che ha dominato la fisica del XX secolo⁹ sospettava che Dio potesse essere nascosto nella natura delle leggi fisiche, un atteggiamento che conteneva l'ammissione dell'esistenza possibile di una verità assoluta.

La ricerca nel cosmo di verità scientifiche è stata particolarmente fruttuosa [59], ma la complessità e vastità dell'oggetto da indagare rimane tale da rendere la verità scientifica particolarmente difficile da definire e controllare.

Il contributo della cosmologia al nostro tema è comunque rilevante: introduce domande più di risposte ma rimette in gioco discipline, come la filosofia e la teologia che, per ruolo e storia hanno e possono contribuire a rispondere al chi siamo.

Il mondo è reale e conoscibile

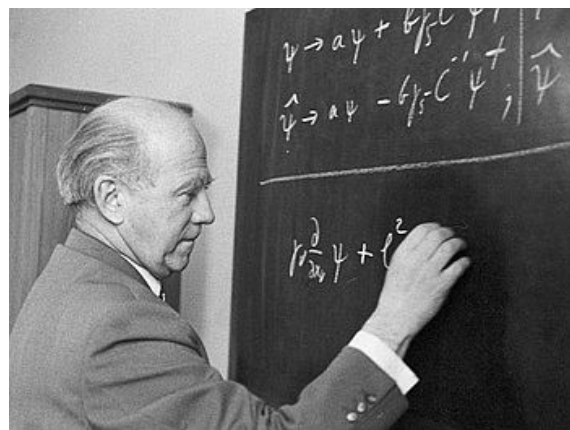
La nostra specie ha sempre considerato quasi un dovere il tentativo di spiegare il mondo e se stessa. L'approccio alle verità del mondo fisico, quelle dell'uomo incluse, per secoli oggetto della filosofia, si identifica oggi nella scienza, motore del sapere che sostiene le tecnologie in uso nelle attuali società. Con limiti o incertezze.

Un esempio riguarda lo studio della base biologica della natura umana che, verso la fine dello scorso secolo, venne considerato con timore: si temeva mettesse in dubbio gli ideali sociali che le società umane si assegnavano. Un filosofo, Emanuele Severino [60], richiama, al proposito, la tesi di Gyorgy Lukacs (*Storia e coscienza di classe*; 1923).

Lukacs fu negativo, riguardo all'applicazione dei metodi delle scienze naturali alla società, perché la scienza assume che la natura non sia in sé irrazionale: se contraddizione si notasse questa dovrebbe ascrivere alla riflessione scientifica sulla realtà (il concetto era stato esplicitato per evitare che nell'analisi della società capitalista automaticamente la si assolvesse, dovendo cercare le colpe solo nel metodo adottato).

Quando, con l'avvento della sociobiologia e della psicologia evoluzionistica, le paure riaffiorarono, il mondo dei biologi e dei filosofi si divise in due fazioni che si sono da allora affrontate su posizioni spesso venate da ideologie contrapposte (una lunga cronaca, di parte, di quanto succedeva si può leggere in John Dupré [61]). Malgrado la disputa non sia ancora sopita, è quasi un obbligo morale affrontare senza riserve ogni tentativo di rispondere in modo scientifico anche alle domande che ci riguardano [62].

Come già discusso, si deve però considerare che delle teorie scientifiche si dice che sono «probabilmente» vere [63]. Nonostante questo, la scienza si basa su un *a priori*:



Werner Karl Heisenberg (1901-1976)



Jacques Monod (1910-1976)

il mondo esterno a noi è reale ed è possibile comprenderlo [64]. Schiere di scienziati e di filosofi sono addirittura stati affascinati dall'idea di un mondo non solo oggettivamente reale ma anche deterministico¹⁰. Date certe condizioni iniziali, la concatenazione degli eventi evolutivi sarebbe già stata scritta all'inizio del processo, come se gli uomini fossero prigionieri di eventi che risalgono addirittura all'origine del tempo [2].

In realtà la storia naturale ci insegna che, specialmente per quanto riguarda l'evoluzione della vita sulla Terra, la contingenza (assenza di una dinamica preordinata nel gioco dei vincoli che hanno regolato la congiunzione tra caso e necessità [42]; si veda anche oltre) ha giocato un ruolo. Questa posizione è condivisibile, ricordando tuttavia che, specialmente nelle scienze biologiche, esistono quasi infiniti esiti del passato evolutivo assimilabili a tanti micro determinismi: si consideri, per esempio, lo sviluppo di un uovo di *Drosophila* in una larva, dove innumerevoli processi metabolici tra loro interagenti vengono ripetuti all'infinito in modo simile per tutte le uova, una osservazione che era servita a Conrad Waddington [65] per chiarire che lo sviluppo organico era canalizzato, concetto esteso anche all'evoluzione¹¹.

Una considerazione analoga si adatta alla struttura della materia dove le particelle elementari - che esistono in numero finito - obbediscono a leggi che regolano le loro poche interazioni [66] e che Giovanni Bignami [59], quando considera la «Teoria dell'Evoluzione del Tutto», estende, oltre alla biologia, anche alla chimica dei processi inorganici e organici affermando che, in un dato contesto locale, la diversa velocità delle reazioni chimiche premia una reazione che prevale sulle altre, un esito quasi darwiniano.

La vita deve tener conto della dinamica di queste reazioni condizionate da leggi fisiche e chimiche, e, di conseguenza, l'evoluzione chimica assegna direzione e soluzione a processi assimilabili a forme di determinismo chimico [59].

Una visione neurologica del determinismo biologico è presente nel comportamento individuale: quando gli uomini si considerano in grado di innalzarsi sopra la loro natura biologica definendo se stessi con le proprie idee vengono in parte sottovalutati i codici sociali. I neuroni specchio suggerirebbero, al contrario, che anche i codici sociali hanno uno sfondo chiaramente biologico [23].

I dubbi sull'esistenza di verità assolute e intrinseche al mondo che conosciamo possono anche essere epistemologici, la non conoscenza o poca precisione di leggi o concetti sulla natura dovute a ignoranza o indifferenza o impossibilità. Per esempio, il non conoscere «quello che c'era prima del *Big Bang*» potrebbe significare che esiste un orizzonte per la conoscenza teorica (nel senso dell'orizzonte dei fotoni: il luogo dei punti dello spazio dove la velocità apparente della sua espansione raggiunge quella della luce, frontiera dello spazio osservabile).

Verità e leggi della natura

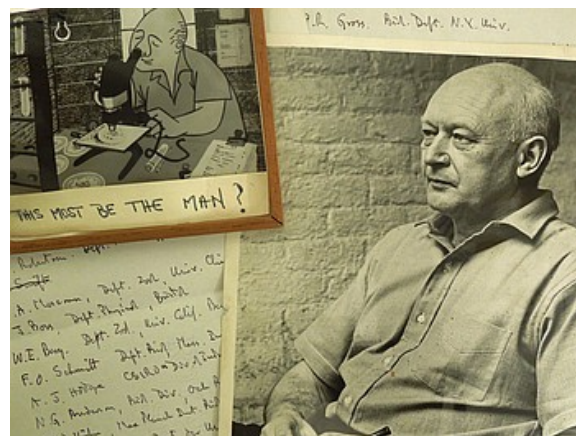
La Terra è un laboratorio in cui la natura o Dio rende manifesti i risultati di infiniti esperimenti [67]. Alla ricerca di possibili spiegazioni della natura entro la quale vive, l'uomo interpreta gli esperimenti naturali tentando di costringerli in leggi fisiche.

Il processo che la scienza segue nel cercare di definire le leggi naturali è discontinuo, essendo spesso legato a folgorazioni mentali di singoli scienziati attivi in tempi e condizioni permissivi per le loro scoperte. Inoltre, il processo è frequentemente soggetto a revisione che affina la verità scientifica.

Vengono presentati due casi di come la verità scientifica raramente è assoluta ma spesso perfezionabile se non negabile e sostituibile.

Il primo riguarda la modifica ereditabile di un carattere indotta dall'ambiente. La pianta *Craterostigma plantagineum* perde fino al 96% del suo contenuto in acqua, risorgendo poi dopo alcune ore di re-idratazione.

Craterostigma plantagineum (si vedano le figure in margine) è una piccola pianta che cresce in Sudafrica e appartiene alla famiglia delle Scrofulariaceae. La specie è un modello per gli studi sulla resurrezione di tessuti e intere piante. La pianta, che ha un aspetto del tutto normale (in alto), lasciata senza acqua si dissecca fino a contenere solo il 2% di acqua (al centro). Differentemente dalle piante che conosciamo, le piantine secche di *Craterostigma* se rimesse in acqua ritornano allo stato normale di idratazione (in basso) e continuano a vivere.



Conrad Hal Waddington (1905-1975)



Stato normale



Essiccata



Reidratata

Il tessuto della pianta coltivato *in vitro* è tollerante alla perdita di acqua se pre-incubato con l'ormone acido abscissico (ABA). L'ormone, o la carenza di acqua, inducono, infatti, la trascrizione dei geni che conferiscono ai tessuti la capacità di idratarsi risorgendo.

Un esperimento di trasformazione di *Craterostigma* con un costrutto che, una volta inserito nel genoma, può attivare funzioni responsabili della resurrezione, ha permesso di isolare tessuti trasformati che resistono alla perdita di acqua in assenza dell'ormone.

È stato isolato e sequenziato il DNA del gene *CDT-1* responsabile del comportamento di questi tessuti che rimangono vivi anche quando hanno subito una grave perdita di acqua. Appartiene a una famiglia di retro trasposoni (elementi genetici che possono cambiare la loro posizione nei cromosomi quando il loro RNA viene prodotto, copiato in DNA e reinserito nel genoma), retro trasposoni trascritti specialmente durante l'essiccazione dei tessuti.

Il gene *CDT-1* non codifica una proteina ma un piccolo RNA (siRNA a doppio filamento di 21 paia di nucleotidi) in grado di aprire i cammini metabolici della resistenza alla perdita di acqua [68]. È stata anche ricostruita la serie di retro trasposizioni che hanno permesso alla pianta la sintesi di livelli significativi dell'siRNA e quindi la sua capacità di risorgere.

È coerente interpretare l'esperimento assumendo che una variabile ambientale - siccità - induce la retro trasposizione di un elemento ripetuto, a cui consegue la inserzione di nuove copie dello stesso nel genoma, che così acquisisce la capacità di resistere a drastiche condizioni ambientali. Quello descritto è un meccanismo del tutto coerente con l'ipotesi di Lamarck relativa all'ereditabilità dei caratteri acquisiti sotto stimolo ambientale.

Il secondo caso di distorsione della verità scientifica riguarda gli organismi geneticamente modificati.

In Europa, Italia inclusa, gli OGM sono discussi adottando la premessa falsa che sono dannosi alla salute e all'ambiente. Si comprenderebbe la posizione di governi e *media* se si sostenesse che ragioni economiche e turistiche sconsigliano il ricorso agli OGM.

Non si comprende, invece, come mai una verità molto semplice venga sostituita da un falso. Da dove viene la paura verso questi innocui prodotti della tecnologia? Se lo chiede Pinker [10]. L'autore la riconduce in parte a una scuola di giornalismo che accetta come veri dati falsi derivati da esperimenti sull'effetto nei topi dei cibi OGM, ma in parte da un'impostazione mentale relativa al nostro intuito biologico che ci spinge a credere che le cose vive abbiano un'essenza invisibile che dà loro una forma e delle facoltà.

Nel contesto della discussione degli OGM si considera che i cibi naturali derivino da organismi con una essenza pura di pianta o di animale, conferita loro anche dalla potenza dell'ambiente naturale dove essi crescono. Questa intuizione, che si forma precocemente negli uomini e aiuta a definire anche i comportamenti verso il mondo che ci circonda, è una fallacia naturalistica che ci può portare all'errore.

Per concludere su quelle che nei libri di testo vengono proposte come leggi naturali, è verosimile che ogni singolo scienziato si conceda interpretazioni variabili e livelli diversi di accettazione (è qui eventualmente da considerare la posizione di Dupré [61]: sostiene su basi empiriche e concettuali che non esistono leggi di natura universali e inderogabili).

La diversità interpretativa delle leggi naturali rimanda ai *qualia*: se da un lato mina la piena accettazione da parte della comunità scientifica, dall'altro introduce forme di critica che aiutano a modificarle o cambiarle: le verità incomplete sembrerebbero quasi una necessità della scienza in evoluzione.

Al di fuori del nostro mondo

Nella contrapposizione tra chi ritiene il mondo autosufficiente e chi lo vede come materializzazione di entità o voleri esterni al mondo, o nella discussione tra determinismo e contingenza, l'esistenza di una entità, chiamiamola Dio, viene spesso affrontata con accenni frettolosi se non indifferenti: si sostiene «ritorna il creazionismo», spesso identificato nel disegno intelligente.

La discussione che segue, tuttavia, esclude questa recente interpretazione della realtà del mondo, assumendo che discutere la sua verità senza considerare l'ipotesi Dio è atto di illogico orgoglio¹².

«C'entra o no Dio con quello che esiste?» La domanda non è inutile se nei secoli ha attirato l'attenzione di tanti filosofi e scienziati. Voltaire: «Se esiste un orologio

così perfetto deve esistere un orologiaio». Gottfried Wilhelm Leibniz: «Perché c'è qualcosa anziché niente?». Isaac Newton riteneva che la sua teoria si limitasse a descrivere gli effetti della gravità e che Dio potesse essere nascosto nella natura della gravità, una posizione simile a quella di Albert Einstein che, per un certo periodo della sua vita, sospettava che le leggi fisiche fossero l'incarnazione di Dio. Per i pitagorici Dio non era un matematico, ma la matematica era Dio.

L'idea che la matematica sia il linguaggio dell'universo, e di conseguenza l'idea che Dio sia un matematico, nasce dall'opera di Archimede a cui Galileo Galilei si allinea [5]. Anche Stephen Hawking ritiene che se verrà sviluppata una teoria del tutto gli uomini conosceranno la mente di Dio.

Posizioni più agnostiche o critiche obiettano che qualsiasi entità capace di reggere il cosmo intero deve trovarsi al di là dell'umana comprensione, nel qual caso non importa se affermiamo che esiste o che non esiste [3], la domanda non è di pertinenza scientifica e il *Big Bang* non è una metafora della creazione. Per Richard Dawkins sfidare l'autorità di pensatori come Kant e Hume non deve intimorire: «Dio esiste o non esiste. È una questione scientifica; un giorno conosceremo la risposta e nel frattempo possiamo dire qualcosa di abbastanza concreto in merito alle probabilità» [42].

È certo che esiste almeno un universo, il nostro, compatibile con la vita umana. Da dove provengono le costanti fondamentali della natura? Perché sono così «adatte» alla comparsa della vita e dell'uomo?

Un'estinzione di specie acquatiche avvenuta tra il Pleistocene e il Pliocene fu forse causata da radiazioni cosmiche provenienti da una supernova dello Scorpione Centauro. È stata fatta l'ipotesi che forme di vita avanzate abbiano concrete probabilità di evolversi solo nelle regioni galattiche povere di stelle, le zone di vita. Nelle regioni più dense fenomeni assimilabili all'esplosione di supernove potrebbero cancellare con regolarità ogni tentativo evolutivo [69].

Una ipotesi cosmologica è il modello scientifico tradizionale: l'universo inizia in un determinato momento e lentamente degenera verso lo stato di morte termica. Il modello ha consenso perché introduce la nozione di tempo universale - il tempo di Dio - e la certezza che è esistita una data precisa per la creazione [64].

La cosmologia quantistica ammette invece l'esistenza di universi multipli che nascono, con probabilità calcolabili, in modo casuale dal vuoto quantistico, come se esistessero limiti assoluti alla nostra capacità di predire il futuro basandoci su leggi fisiche.

La sua accettazione ha profondamente modificato il nostro modo di vedere il mondo. Forse ha solo spostato la domanda cosmologica più indietro in un improbabile tempo assoluto [70], aggiungendo comunque incertezze che la scienza deve considerare sollecitando anche i contributi della filosofia e della teologia.

La verità è una responsabilità individuale

Nel testo si è cercato di condurre il lettore su sentieri difficili anche per chi ha scritto. Quello che emerge dalle pagine che precedono spesso contiene, infatti, molte verità almeno parzialmente questionabili. Inoltre, se la sede ultima della verità è la coscienza, questa esiste solo come sede dell'unicità di ogni singolo individuo: unico vuol dire diverso ma anche responsabile in sé e per sé. Un atteggiamento che può aiutare è riconoscere che se da una parte l'orgoglio di essere come siamo ci avvicina alle grandi domande, dall'altra la pratica dell'umiltà suggerirebbe un giudizio di sé continuo in termini di verità.

È vero che conoscere come l'evoluzione ha influito sugli impulsi morali aiuta se li si considera parte del nostro patrimonio genetico [52, 71]. Per Immanuel Kant, invece, solo una legge universale può garantire a un essere razionale una ragione sufficiente per agire in buona fede, una anticipazione della necessità di un Ente esterno al mondo che diventa il riferimento per i giudizi di verità.

La psicologia morale, dominata nel secolo scorso da Jean Piaget (1896-1980) e Lawrence Kohlberg (1927-1987), sosteneva una terza via: i giudizi morali sono tramandati dalla società, perfezionati in funzione dell'esperienza e basati sulla capacità di ragionare su dilemmi morali [72].

In questo dibattito plurisecolare viene spesso dimenticato il ruolo di una possibile cultura della verità praticata su basi personali. Infatti, sia che si faccia riferimento a principi di valore emananti da un Ente esterno al mondo e all'universo, sia che dentro di noi il caso, la necessità e la contingenza li abbiano creati, o sia che il futuro, mente umana compresa, sia stato in potenza contenuto nella molecola di un DNA primigenio,

la coscienza di ciascuno uomo, definito il suo stato morale, chiede di essere leali accettando e praticando le verità che ha maturato.

È un richiamo difficile da comunicare, ma nondimeno particolarmente utile per chi si dedica alla ricerca scientifica (si riconsideri il paragrafo sull'autoinganno). La migliore espressione di questa raccomandazione è una citazione posta in apertura di un capitolo del libro *La segreta geometria del cosmo*.

L'autore cita Rabbi Akiba, martire nel 132 d.C.¹³: «Misura la sincerità e la pietà nel tuo cuore e conoscerai le distanze nel cielo»[58].

Francesco Salamini

Accademico dei Lincei, membro del comitato scientifico di Expo 2015. Già professore di Botanica e Fisiologia all'Università di Piacenza, ha diretto istituti per il miglioramento genetico delle piante in Italia e all'estero.

Note

¹ Anche Martin Gardner [73] sostiene che i numeri e la matematica hanno un'esistenza propria, indipendente dagli uomini. Godfrey Harold Hardy [74] ritiene che la realtà matematica è indipendente da noi e che il nostro compito è solo di scoprirla.

Quanti credono che la matematica esista indipendentemente dagli esseri umani si dividono in due gruppi: i «veri» platonisti, per i quali la matematica esiste in un mondo eterno e astratto, e coloro che credono che le strutture matematiche sono una parte reale di «questo» mondo naturale.

² Darwin ebbe molti predecessori relativamente all'ipotesi che le specie fossero soggette a cambiamenti e quindi in evoluzione. Di questo parere era stato Erasmo Darwin, il nonno di Carlo. Erasmo scrisse una *Zoonomia* pubblicata nel 1794 dove introduce concetti poi discussi da Darwin.

Erasmo Darwin risentì dell'influenza di Lamarck quando scrisse «Nel corso di molte generazioni gli organi sembrano essere stati gradualmente modificati dagli sforzi che gli animali hanno fatto per soddisfare i loro bisogni, tramandando alle prole quel costante perfezionamento acquistato nell'adeguarsi a determinati usi» [31]. Darwin non riconobbe mai crediti al nonno Erasmo così come a Lamarck [29].

³ Wallace si era reso conto che ogni area geografica isolata aveva specie diverse da quelle di altre regioni, anche se queste erano climaticamente e geologicamente simili. Inoltre sapeva che specie affini estinte erano compresenti nello stesso strato geologico, a certificare che specie simili tendevano a essere coeve e contigue spazialmente.

Wallace ne dedusse che la distribuzione degli organismi sulla terra dipendeva dal fatto che specie affini avevano avuto un antenato comune. Propose la *Sarawak law*: «ogni specie ha avuto un'origine coincidente sia nello spazio sia nel tempo con una specie preesistente strettamente affine». Per la prima volta veniva stabilito dove e quando poteva avvenire la speciazione.

La legge venne illustrata nel lavoro pubblicato in *The annals and magazine of natural history* nel 1855 dal titolo *On the law which has regulated the introduction of new species*. Il saggio, scritto quattro anni prima di *L'origine delle specie*, tratta tutti i temi cari a Darwin: il gradualismo, l'adattamento, la speciazione allopatrica, le testimonianze fossili [75].

⁴ Su duemilaseicento famiglie di insetti e altri artropodi solo quindici hanno specie eusociali: l'eusocialità è comparsa una volta nelle formiche, tre nelle vespe e almeno quattro nelle api. È molto rara nei vertebrati: solo un ramo delle grandi scimmie africane ha superato la soglia dell'eusocialità.

La sequenza evolutiva ha due passaggi. Una cooperazione altruistica protegge un nido stabile. I membri dei gruppi appartengono a generazioni diverse e si dividono il lavoro sacrificando gli interessi personali a quelli del gruppo [11].

⁵ Per Darwin l'esistenza delle caste sterili nelle società degli insetti era una violazione del ruolo della selezione tra individui come motore della speciazione. Il paradosso

«è meno evidente o addirittura scompare se si considera che la selezione potrebbe applicarsi alla famiglia, come fa il miglioratore vegetale che avendo notato un carattere positivo in una pianta ricorre ai semi dello stock originario da cui aveva attinto, convinto di ottenere di nuovo piante superiori» [26].

Nel 1963 un giovane biologo, William Hamilton, elaborò la teoria della selezione per famiglia (o di parentela), *kin selection*, forse riprendendo il concetto da una nota di Darwin, ma in tempi particolarmente propizi perché la genetica era in pieno sviluppo [52].

- ⁶ *The blank slate*. Questa interpretazione della mente umana corrisponde all'idea che essa non ha una struttura dedicata e che può essere modificata a piacere dalla società. In latino: *tabula rasa*.

Di solito attribuita a John Locke [76], è allineata con l'idea del «nobile selvaggio», e cioè che i popoli allo stato naturale sono altruisti e pacifici: la violenza sarebbe il prodotto delle società cosiddette civili. Jean Jacques Rousseau non riteneva corretta l'idea della *tabula rasa* ma era convinto che i comportamenti negativi fossero dovuti alla civilizzazione.

Thomas Hobbes era di opinione opposta: ciascun uomo lotta contro ogni altro; l'attitudine al male si oppone alla civilizzazione che è solo possibile se le popolazioni delegano la loro autonomia a un sovrano o a una assemblea di comunità, il Leviatano, mostro marino sottomesso da Dio al momento della creazione. Per Hobbes la natura umana differisce da un orologio meccanico solo nella complessità [10].

- ⁷ Dopo che Hamilton aveva suggerito di cercare le radici dell'altruismo nella selezione per famiglia, George William [77] suggerì che l'altruismo potrebbe essere esteso oltre la barriera della parentela.

Egli suggerì che gli individui che danno più valore all'amicizia e meno all'aggressività hanno un vantaggio evolutivo e che la selezione tra gruppi dovrebbe favorire quei caratteri che promuovono le interazioni tra persone diverse [52].

- ⁸ Nella meccanica quantistica si assume che le forze o le interazioni tra le particelle siano tutte descrivibili attraverso lo scambio di particelle.

La forza gravitazionale che può agire anche a grandi distanze è attrattiva e dovrebbe essere mediata da particelle (i cosiddetti gravitoni).

La forza (interazione) elettromagnetica coinvolge le particelle dotate di carica elettrica, come gli elettroni e i protoni, ma non con quelle prive di carica, come i neutroni. L'interazione elettromagnetica è attribuita allo scambio di particelle dette fotoni.

La terza forza è indicata come forza nucleare debole responsabile della radioattività, cioè del decadimento dei nuclei atomici.

La forza nucleare forte, tra le quattro la più forte, garantisce la coesione tra la materia del mondo in cui viviamo. È responsabile del legame che unisce i protoni e i neutroni nel nucleo di un atomo. All'interno dei protoni e neutroni, le particelle elementari (i *quark*) sono tenuti insieme da una particella, il gluone [69].

Il problema dell'unificazione delle forze e delle particelle elementari che costituiscono la materia è discusso, con difficoltà per l'eccesso di dettagli specialistici, in Frank Wilczek [66].

- ⁹ La relatività generale non tiene conto delle proprietà della materia descritte dalla fisica quantistica. Assume che la gravità sia conseguenza della curvatura dello spazio-tempo che è «distorto» dalla distribuzione della massa-energia in esso presenti. La massa del Sole incurva lo spazio-tempo quadrimensionale: la Terra segue una traiettoria rettilinea nello spazio-tempo, ma nello spazio tridimensionale si muove lungo un'orbita ellittica. Secondo la relatività generale, in prossimità di una massa elevata come quella della Terra lo scorrere del tempo è più lento.

La teoria predice l'esistenza nell'universo di un punto dove la teoria stessa perde validità: le soluzioni delle equazioni di Einstein indicano che circa 13,7 miliardi di anni fa la distanza fra le particelle vicine deve essere stata pari a zero.

L'esistenza di questa particolare topografia cosmica è un esempio di ciò che i matematici definiscono una singolarità dello spazio-tempo che, per il nostro universo, corrisponde al cosiddetto *Big Bang*. George Gamow predisse che a quel tempo l'universo avrebbe dovuto essere estremamente caldo e denso. Robert Henry Dicke e Jim Peebles suggerirono allora che fosse possibile vedere i bagliori dell'universo primitivo perché la luce delle regioni remote avrebbe potuto raggiungerci soltanto ora.

Questa luce esisterebbe sotto forma di una radiazione a microonde: la radiazione

cosmica di fondo. In qualsiasi direzione Arno Penzias e Robert Wilson puntarono la loro antenna, la radiazione di fondo non variava: confermarono così l'assunto di Alexander Friedman: l'universo appare identico in qualunque direzione si guardi [69].

Oggi sappiamo che l'universo si sta espandendo di un valore compreso tra il 5 e il 10 per cento, ogni miliardo di anni [69]. Le galassie si allontanano sistematicamente tra di loro con velocità proporzionali alla loro distanza; Georges Lemaitre indica che non fuggono ma è lo spazio-tempo che si espande. Le galassie, inoltre, non dovrebbero essere strutturate se dovessero essere trattenute solo dalla loro gravità. Nasce da qui l'ipotesi della materia oscura che comunque sviluppa gravità. Se l'universo si sta espandendo, deve esistere una corrispondente forza espansiva, per ora indicata come energia oscura. Tra energia e materia oscura si raggiunge il 96% di tutto quanto l'universo contiene. Il restante 4% è la materia che conosciamo che, secondo il modello standard, consiste di due tipi particelle: *quark* e *leptoni*.

Il modello standard spiega la forza elettromagnetica e le due forze nucleari (forte e debole) che sono mediate da messaggeri, i bosoni (fotone, gluone, bosoni W e Z). Il bosone di Higgs dovrebbe conferire alle particelle una massa. Non è ancora disponibile una visione del mondo che contenga anche la forza di gravità (discusso in Bignami [59]).

Secondo la teoria quantistica è possibile che lo spazio-tempo abbia un'estensione finita senza però avere dei limiti come un confine o un margine esterno [69]. Carl Friedrich Gauss, Janos Bolyai, Nikolai Ivanovich Lobacevskij e Bernhard Riemann hanno, infatti, sviluppato le geometrie non euclidee, dimostrando che uno spazio illimitato non è necessariamente infinito: è finito ma senza frontiere, una ipersfera.

¹⁰ Stephen J. Gould [78] nello spiegare il significato della parola evoluzione assegna al processo una curiosa connotazione deterministica, posizione che non traspare dalla sua poderosa opera di ricercatore e divulgatore «Evoluzione in inglese significa svolgere nel tempo, in modo progressivo e direzionale, una sequenza di eventi, come si srotola la cima arrotolata delle foglie di felce, una "evoluzione" di parti preformate».

¹¹ Il concetto di canalizzazione considera il ruolo di decisioni metaboliche relative specialmente all'organizzazione dei piani di sviluppo corporale, decisioni che in stadi di sviluppo successivi condizionano la scelta di ulteriori possibilità di sviluppo. Queste, infatti, dovranno rispettare i limiti posti dalle decisioni precedenti.

¹² Un tema affascinante è posto dalla domanda: è concessa all'intelligenza e alla ragione la capacità di provare l'esistenza di Dio? La considerazione della vita e del pensiero di Anselmo d'Aosta [79] contribuisce a una risposta.

Credo per comprendere, *credo ut intelligam*, riassume la speculazione del filosofo medioevale. Anselmo ritiene molto umano che la fede tenda all'auto-comprensione [80]. Infatti, premette che «se non crederò, non comprenderò» (*Proslogion*) e conferisce al pensiero un ruolo indispensabile nel realizzare un piano della verità dove la mente umana è capace di cogliere la realtà e di dare giudizi morali [81]: «l'intelligenza raggiunta nella vita sta a metà tra fede e visione beatifica, e quanto più si cammina verso l'intelligenza, tanto più ci si avvicina alla visione».

È un atteggiamento che tende alla ricerca dell'evidenza intellettuale dell'oggetto, Dio, dell'indagine [82]. Anselmo manifesta, in questo, un profondo desiderio: *Credo sed intelligere desidero* (*De libertate arbitrii*). Nel *Monologion* afferma «E quando parlo di un dire della mente o della ragione, intendo non il pensare il suono significativo, ma il vedere presenti alla mente con lo sguardo del pensiero le cose stesse future o esistenti». Fino a esplicitarsi nell'affermazione che «la mente razionale è la sola creatura che possa assurgere a investigare la somma essenza [...], per similitudine di natura. È quindi evidente che quanto più intensamente la mente razionale attende a conoscere se stessa, tanto più efficacemente ascende a conoscere la somma essenza».

Anselmo ha anticipato che nella comprensione di come il cervello opera e si è evoluto sta la chiave che spiega l'uomo e che lo avvicina al primo motore.

¹³ Rabbi Akiba. Ben Joseph Akiba (Akiva) è stato una autorità della tradizione ebraica e uno dei padri del giudaismo rabbinico. Nato attorno al 50 d.C. morì nel 132 d.C., giustiziato dai romani dopo molti anni di carcere.

Rifiutò di obbedire a un editto dell'imperatore Adriano che vietava la pratica e l'insegnamento della religione ebraica. La sua tomba a Tiberiade è meta di pellegrinaggi di preghiera.

Indicazioni bibliografiche

1. Dawkins R., 2003. *A devil's Chaplain*. Trad. E. Faravelli, T. Pievani, 2004. *Il cappellano del Diavolo*. Raffaello Cortina Editore, Milano.
2. Sansavini S., 2015. *Il difficile dialogo fra le culture umanistica e scientifica*. Il Carrobbio (estratto anticipato), Patron, Bologna.
3. Blackburn S., 2011. *Le grandi domande. Filosofia*. Trad. A. Migliori. Edizioni Dedalo, Bari.
4. Lakoff G. e Núñez R., 2000. *Where mathematics comes from*. Basic Books, New York.
5. Livio M., 2009. *Is God a mathematician?* Simon e Schuster, Inc. Trad. C. Caparro, A. Zucchetti, 2009. *Dio è un matematico?* Rizzoli, Milano.
6. Ramachandran V.S., 2011. *The Tell-tale brain*. Heinemann, London.
7. Damasio A.R., 2000. *Emozione e coscienza*. Adelphi, Milano.
8. Darwin C., 1884. *L'origine dell'uomo e la scelta in rapporto col sesso*. Edizioni "A. Barion" della Casa per Edizioni Popolari – S. A.
9. Maffei L., 2011. *La libertà di essere diversi*. Il Mulino, Bologna.
10. Pinker S., 2002. *The blank slate. The modern denial of human nature*. Penguin Books, New York.
11. Wilson E.O., 2012. *The social conquest of earth*. Trad. L. Trevisan, 2013. *La conquista sociale della terra*. Cortina Editore, Firenze.
12. Sacco R., 2006. In *Il senso della diversità*. Centro Linceo interdisciplinare, Accademia Nazionale dei Lincei.
13. Gazzaniga M. S., 2006. *La mente etica*. Codice Edizioni, Torino.
14. Cavalli-Sforza L.L., Cavalli-Sforza F., 2006. *Geni e comportamento, diritti e doveri: prevenzione, punizione e riabilitazione*. In *Il senso della diversità*. Centro Linceo interdisciplinare, Accademia Nazionale dei Lincei.
15. Lynch M., 2010. *Rate, molecular spectrum, and consequences of human mutations*. PNAS, 107: 961.
16. Sgaramella V., 2014. *The hypergenome in inheritance and development*. Cytogen. Genome Res.
17. Riddihough G., Zahn L. M., 2010. *What is epigenetics?* Science, 330: 611.
18. Edelman G.M., 1993. *Neural darwinism: selection and reentrant signaling in higher brain function*. Neuron, 10: 115.
19. Civita A., 2003. *Gerald Edelman: caso e necessità nel sistema cervello-mente*. In *Atti dei convegni Lincei*, 185. *Giornata lincea in ricordo dell'opera e del pensiero di Jacques Monod*, pg 45.
20. Sgaramella V., Salamini F., 2006. *Gene paucity, genome instability, clonal development: has an individual genome the potential to encode for more than one brain?* DNA Repair, 5: 531.
21. Ramachandran, V., 2004. *Che cosa sappiamo della mente*. Mondadori, Milano.
22. Rizzolatti, G., 2006. *Neuroni specchio: un meccanismo per capire gli altri*. In *Il Cervello, scatola delle meraviglie*. E. Boncinelli, G. Martino curatori. Editrice San Raffaele, Milano.
23. Iacoboni M., 2008. *Mirroring people. The new science of how we connect with others*. Farrar, Straus and Giroux, New York. Trad. dell'autore. *I neuroni specchio. Come capiamo ciò che fanno gli altri*. Bollati Boringhieri, Torino.
24. Boncinelli E., 2010. *Mi ritorno in mente. Il corpo, le emozioni, la coscienza*. Longanesi, Milano.
25. Lodge D., 2002. *La coscienza e il romanzo*. Studi Bompiani, RCS MediaGroup, Milano.
26. Darwin C., 1859. *On the origin of species by means of natural selection*. John Murray, London.

27. Lamarck J-B., 1809. *Philosophie zoologique ou exposition des considerations relatives a l'histoire naturelle des animaux*. Museum d'Histoire Naturelle, Paris.
28. Lyell C., 1830-1833. *Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation*. Vol. 1-3. John Murray, London.
29. Olby R.C., 1967. *Charles Darwin*. Clarendon Biographyes, Oxford University Press.
30. Burkhardt R.W. Jr., 1995. *The spirit of system. Lamarck and evolutionary biology*. Harvard University Press, Cambridge.
31. Lessona M., 1883. *Carlo Darwin*. Casa Editrice A. Sommaruga e C., Roma.
32. Dawkins R., 1976. *The selfish gene*. Oxford University Press, Oxford.
33. Davies, R., 2013. 1 July 1858: what Wallace Knew; what Lyell thought he knew; what both he and Hooker took on trust; and what Charles Darwin never told them. *Biological J. Linnean Society*, 109, 725.
34. Battaglia B., 2001. *Note introduttive*. In Accademia Nazionale dei Lincei, 2001. *Centenario della riscoperta delle leggi di Mendel. Atti dei convegni Lincei 169*.
35. Gould J.S., Eldredge N., 1977. *Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered*. *Paleobiology*, 3: 115.
36. Coyne J.A., Orr H.A., 2004. *Speciation*. Sinauer Associates, Sunderland.
37. Rieseberg, L.H., Willis, J.H., 2007. *Plant speciation*. *Science*, 317:910.
38. Darwin C., 1868. *The variation of animals and plants under domestication*. Murray, London.
39. Zwilling R., 1995. *Can the concept of evolution tell us who we are?* In *Natural sciences and human thought*. Ed. R. Zwilling. Springer Verlag, Berlin.
40. Monod J., 1970. *Les hazard et la nécessité*. Trad. A. Busi 1971 e 2001, *Il caso e la necessità*. Mondadori, Milano.
41. Boniolo G., 2003. *Che cos'è il caso in biologia? Riflessioni a partire da J. Monod, Il caso e la necessità*. In *Atti dei convegni Lincei 185. Giornata lincea in ricordo dell'opera e del pensiero di Jacques Monod*, pg 25.
42. Pievani T., 2011. *La vita inaspettata. Il fascino di un'evoluzione che non ci aveva previsto*. Cortina, Milano.
43. Shapiro J.A., 2011. *Evolution, a view from the 21st century*. FT Press, New Jersey.
44. Bryson Bill, 2003. *Breve storia di (quasi) tutto*. Ugo Guarda, Parma.
45. Trivers R., 1985. *Social evolution*. The Benjamin/Cummins Publ. Comp., Menlo Park.
46. Ridley M., 1996. *The origins of virtue*. Penguin Books, New York.
47. Hamilton W.D., 1964. *The genetical evolution of social behaviour*. *J. Theor. Biol.*, 7: 1.
48. Hamilton W.D., 1963. *The evolution of altruistic behaviour*. *Amer. Nat.*, 97: 354.
49. Wilson O.E., 1975. *Sociobiology*. Harvard University Press, Cambridge.
50. Nowak M.A., Tarnita C.E., Wilson E.O., 2010. *The evolution of eusociality*. *Nature*, 466: 1057.
51. Wilson E.O., 1978. *On human nature. With a new preface*, 2004. Harvard University Press, Cambridge.
52. Wright R., 1994. *The moral animal*. Vintage Books, New York.
53. Rovelli C., 2014. *Sette brevi lezioni di fisica*. Adelphi, Milano.
54. Smolin L., 2014. *La rinascita del tempo. Dalla crisi della fisica al futuro dell'universo*. Einaudi, Torino.
55. Prigogine I., 1984-1987. *La nascita del tempo. Le domande fondamentali sulla scienza dei nostri giorni*. Bompiani, Milano.
56. Clark S., 2012. *The big questions: the universe*. Quercus Pub. Plc, London. Trad. A. Migliori, 2012. *Le grandi domande. Universo*. Edizioni Dedalo, Bari.

57. Everett H., 1957. *Relative state formulation of quantum mechanics*. Rev. Mod. Physics, 29: 454.
58. Luminet J-P., 2004. *La segreta geometria del cosmo*. Trad. C. Sinigaglia. Cortina Editore, Milano.
59. Bignami G.F., 2011. *Cosa resta da scoprire*. Mondadori, Milano.
60. Severino E., 2002. *Lezioni sulla politica*. Marinotti Edizioni, Milano.
61. Dupré J., 2001. *Human nature and the limits of science*. Oxford University Press. Trad. Tortorella B., 2007. *Natura umana. Perché la scienza non basta*. Laterza, Roma.
62. Salamini F., Soave C., 2007. *Biologia e domanda antropologica*. In *Sentieri dell'umano. La domanda antropologica*. Ed. G. Richi Alberti. Marcianum Press, Venezia.
63. Reeves H., 2011. *L'universo spiegato ai miei nipoti*. Trad. R. Patriarca. Castoldi, Milano.
64. Davies P., 1996. *I misteri del tempo. L'universo dopo Einstein*. Mondadori, Milano.
65. Waddington C.H., 1962. *The nature of life*. Atheneum, New York.
66. Wilczek F., 2008. *The lightness of being. Mass, ether, and the unification of forces*. Trad. Frediani S., 2009. *La leggerezza dell'essere. La massa, l'etere e l'unificazione delle forze*. Einaudi Editore, Torino.
67. Wilson O.E., 2006. *The creation. An appeal to save life on earth*. Trad. G. Barbiero, 2008. *La creazione*. Adelphi, Milano.
68. Hilbricht T., Varotto S., Sgaramella V., Bartels D., Salamini F., Furini A., 2008. *Retro-transposons and siRNA have a role in the evolution of dessication tolerance in the plant Craterostigma plantagineum*. New Phytologist, 179: 877.
69. Hawking S.W., 2005. *La grande storia del tempo*. BUR Rizzoli, Milano.
70. Sussmann G., 1995. *Time flow*. In *Natural sciences and human thought*. Ed. R. Zwilling. Springer Verlag, Berlin.
71. Pinker S., 1997. *How the mind works*. Norton and Company, New York.
72. Hauser M.D., 2006. *Moral minds*. Trad. A. Peddeferri, 2007. *Menti morali. Le origini naturali del bene e del male*. Il Saggiatore, Milano.
73. Gardner, M., 2003. *Are universes thicker than blackberries?* Norton, New York.
74. Hardy G.H., 1940. *A mathematician's apology*. Cambridge University Press, Cambridge.
75. Focher F., 2006. *L'uomo che gettò nel panico Darwin. La vita e le scoperte di Alfred Russel Wallace*. Bollati Boringhieri, Torino.
76. Locke, J., 1690, 1947. *An essay concerning human understanding*. E. P. Dutton, New York.
77. William G., 1966. *Adaptation and natural selection: a critique of some current evolutionary thought*. Princeton University Press, Princeton.
78. Gould S.J., 2002. *I have landed. The end of a beginning in natural history*. Harmony Books, New York. Trad. Blum I.C., 2009. *I have landed. Le storie, la Storia*. Codice Edizioni, Torino.
79. Anselmo d'Aosta, 1094-1098. *Perché un Dio uomo? Lettera sull'incarnazione del verbo*. 2007. Città nuova, Roma.
80. Orazio A., 2007. *Introduzione*. In *Anselmo d'Aosta, Perché un Dio uomo*. Città nuova, Roma.
81. Ghisalberti A., 2006. *Filosofia medievale. Da Sant'Agostino a San Tommaso*. Giunti, Milano.
82. Rossi P.B., 2008. *Premessa alle Opere filosofiche di Anselmo d'Aosta*. Laterza, Roma.

