

# IL FUTURO NELLO SPAZIO

CHRIS IMPEY

Traduzione di Giovanni Giri



Le Scienze

Chris Impey

*Il futuro nello spazio*

*L'ultima frontiera dell'uomo e le tecnologie per esplorarla*

Titolo originale

*Beyond*

*Our Future in Space*

Copyright © 2015 by Chris Impey

Redazione e impaginazione: Daiana Galigani

Coordinamento produttivo: Enrico Casadei

Copertina: Asintoto

Immagine di copertina: Steve Cole / Getty Images

Stampa: Rubbettino print

© 2016 Codice edizioni, Torino

Tutti i diritti sono riservati

ISBN 978-88-7578-604-5



[codiceedizioni.it](http://codiceedizioni.it)

[facebook.com/in.codice](https://facebook.com/in.codice)

[twitter.com/codice\\_codice](https://twitter.com/codice_codice)

[pinterest.com/codice\\_codice](https://pinterest.com/codice_codice)

*Alla nuova generazione di pioneri dello spazio,  
che realizzeranno il sogno di vivere lontano dalla Terra*



# Indice

XI	Prefazione
	<b>Parte I. Preludio</b>
	<i>Capitolo 1</i>
5	Sognando l'oltre
	<i>Capitolo 2</i>
23	Razzi e bombe
	<i>Capitolo 3</i>
45	Che entrino i robot
	<b>Parte II. Il presente</b>
	<i>Capitolo 4</i>
69	La rivoluzione è alle porte
	<i>Capitolo 5</i>
89	Signore e signori... a voi gli imprenditori!
	<i>Capitolo 6</i>
109	Oltre l'orizzonte
	<i>Capitolo 7</i>
131	Quanti pianeti!

### Parte III. Il futuro

153 *Capitolo 8*  
La prossima corsa allo spazio

173 *Capitolo 9*  
La nostra prossima casa

193 *Capitolo 10*  
Il telerilevamento

213 *Capitolo 11*  
Via dalla Terra

### Parte IV. Oltre

239 *Capitolo 12*  
Un viaggio verso le stelle

263 *Capitolo 13*  
Gli abitanti del cosmo

281 *Capitolo 14*  
Un universo fatto per noi

299 Credit delle immagini  
300 Indice analitico

## Prefazione

Lo spazio non è fatto per gli umani: nel vuoto assoluto, senza protezioni, non potremmo sopravvivere per più di un minuto. Viaggiare lassù è come ritrovarsi coinvolti in un'esplosione chimica senza controllo. Raggiungere l'orbita terrestre bassa presuppone mezz'ora di viaggio, ma il costo per arrivarci è mostruoso, e coloro che hanno sperimentato l'assenza di peso rappresentano uno dei club più esclusivi della storia. Eppure i viaggi nello spazio sono espressione di un tratto umano fondamentale: il desiderio di esplorare.

Questo libro è un'esplorazione del passato, del presente e del futuro dei viaggi spaziali. Ci troviamo al culmine di una transizione importante, in cui varie tecnologie hanno raggiunto uno sviluppo tale da permettere a questi viaggi di diventare routine; e presto – prima di quanto pensiate – alcuni innovatori e imprenditori venderanno viaggi spaziali non più riservati ad astronauti o a super ricchi.

Ognuna delle quattro sezioni di questo libro è preceduta da una descrizione fantasiosa che ci condurrà nel mondo di un giovane pioniere sul punto di intraprendere un viaggio verso le stelle. Per prima cosa guarderemo al *Passato* per conoscere la nostra inclinazione genetica all'esplorazione e i progressi nell'industria aerospaziale e missilistica che, a metà del ventesimo secolo, ci hanno permesso di lasciare per la prima volta la Terra. Scopriremo anche vantaggi e svantaggi derivati da questa storica impresa. Poi, nel *Presente*, vedremo come gli “acciacchi” del nostro programma spaziale stiano per essere curati da una nuova generazione di imprenditori intenzionati a rivoluzionare la nostra capacità di allontanarci dalla Terra; esamineremo le leggi e i regolamenti che intralciano i loro piani, e prenderemo in considerazione i pericoli che i

viaggiatori spaziali devono affrontare. Sbirciando nel *Futuro* vedremo come potremo raggiungere la Luna e Marte, e analizzeremo inoltre le tecnologie necessarie per stabilirvi delle colonie: incontreremo i robot, i nostri compagni nello spazio, intravedendo un'epoca in cui gli umani, lontani dalla Terra, daranno origine a una nuova specie. Infine, ipotizzeremo cosa potrà esserci *Oltre* le nostre capacità attuali, arrivando all'epoca in cui saremo in grado di raggiungere le stelle e diventare cittadini della Via Lattea. In un universo fatto per la vita, il nostro desiderio di non essere soli è grande – e, forse, restando sulla Terra, la nostra specie non potrà mai esprimere al massimo le proprie potenzialità.

Devo dire grazie ad Anna Ghosh per il suo deciso sostegno alla mia carriera di scrittore, oltre che a Tom Mayer e Ryan Harrington della W.W. Norton, per avermi aiutato a migliorare il mio libro. Negli anni ho acquisito molte informazioni dalle conversazioni avute con molti colleghi, ma sono l'unico responsabile di imprecisioni o errori rimasti nel testo. A Dinah Jasensky la mia più profonda gratitudine per l'affetto e l'incoraggiamento che mi ha dato in tutti i miei tentativi da scrittore.



Il futuro nello spazio



## Parte I

### Preludio

Avevo quattro anni quando mi scelsero per diventare Pellegrino. Troppo giovane per capire cosa significasse, sentivo mia madre che tentava di spiegarmelo, ma le sue parole per me non avevano alcun senso, così mi concentrai sul misto di entusiasmo e paura che risuonava nella sua voce.

Qualche anno dopo capii meglio. Passai anni difficili a soffrire in una scuola normale, dove venivo emarginato, bullizzato, ignorato e umiliato, con quella spietatezza che solo i bambini possiedono. Essere un Pellegrino era un onore straordinario, ma mi condannava a vita ad essere un diverso. Fu un sollievo quando, a otto anni, mi tolsero di lì per mandarmi in una scuola speciale chiamata *l'Accademia*, una scuola per quelli come me.

L'Accademia si trovava in Svizzera, sulle rive di un lago di montagna che, alla luce del sole, era tutto uno scintillio di riflessi color acquamarina, in una zona speciale al riparo dai media e da sguardi indiscreti. Eravamo quasi trecento, provenienti da più di cinquanta nazioni. Una volta all'anno tornavamo a casa, ma nessuno dei nostri familiari poteva visitare la scuola. Le videochat con il mondo esterno erano limitate a un'ora alla settimana. Può sembrare un regime molto severo, ma lo facevano per il nostro bene.

Le nostre età erano comprese tra i sette e i dodici anni. Io ero uno dei più piccoli. Eravamo equamente divisi tra maschi e femmine. Culture e lingue erano talmente tante che, per evitare il rischio che quel posto diventasse una vera e propria Babele, quasi tutti portavano sempre con sé i propri traduttori digitali, e anche i corsi erano previsti in molte lingue. Studiavamo di tutto, dall'ingegneria alla filosofia, dalla medicina all'arte. All'Accademia c'erano tanti

tutori quanti erano gli studenti; l'aiuto non ci mancava di certo. Le aspettative erano elevate, e c'era sempre una lieve ma insistente pressione a fare ogni cosa al meglio. Il personale era distaccato, senz'altro istruito a non stabilire con noi legami emotivi. C'erano anche psicologi e psichiatri, che spesso avevano con noi un approccio freddo e scientifico.

Ricordo ancora i sogni di quel periodo.

Grosse forme geometriche che vagavano nelle tenebre. Un senso inesorabile di pressione sul petto. Una porticina che si apriva, a un paio di centimetri dalla mia faccia, come il coperchio di una bara. Un finestrino e, più in là, il nulla, il vuoto assoluto. Immagini abbozzate ma anche vividissime. Mi svegliai sempre di soprassalto ritrovandomi seduto sul letto, in un bagno di sudore, con il respiro corto e affannoso.

L'ultima volta che andai a trovare mia madre, prima di lasciare l'Accademia – avevo appena compiuto diciassette anni – lei mi raccontò com'era morto mio padre. Non avevo mai conosciuto i dettagli, da piccolo, e all'Accademia le informazioni che ricevevamo subivano un controllo rigidissimo. Stava facendo una seconda ispezione a una stazione di estrazione, su Fobos. La sua squadra si trovava nelle profondità di un pozzo, a caccia di inclusioni di platino e iridio. A causa di alcune difficoltà di comunicazione con la superficie, provocarono per errore l'esplosione di una carica vicina, e dalla parete del pozzo si staccarono lastre di roccia grandi come divani. Al centro di un piccolo corpo celeste non c'è gravità, per cui è impossibile finire schiacciati da una roccia che cade, come accadrebbe sulla Terra.

Le leggi di Newton, però, continuano a seguire la loro logica, implacabili. Difatti un grosso masso lo colpì, proprio al centro del petto, sospingendolo sulla parete opposta. La sua quantità di moto venne trasmessa al corpo di mio padre, schiacciandolo e uccidendolo all'istante.

Forse è anche per questo che mi hanno scelto. Mio padre era un "veterano dello spazio", un "animale spaziale", e mia sorella una pilota esperta; insomma, nei miei geni c'era lo spazio. All'Accademia, però, vedevo molti ragazzi che non avevano alcuna predisposizione alle materie tecniche: i loro genitori erano musicisti, artisti o diplomatici. Eravamo tutti diversi; formavamo un mondo in miniatura, e questo era proprio ciò che volevano.

Quando mi diplomai vidi mia madre e mia sorella, nell'auditorium, sorridere a trentadue denti ogni volta che facevo loro un cenno con la mano. Più tardi, mentre mangiavamo insieme nella sala mensa che dava sul lago, tornai con la mente al suono della voce di mia madre, dieci anni prima. Il suo entusiasmo e il suo timore si erano trasformati in un orgoglio silenzioso, venato di tristezza.

Dopo il diploma avevamo due settimane per fare i bagagli e salutarci. Niente più limiti alle visite e alle videochat. Ricordo quanto fosse emotivamente sfiancante passare tutto quel tempo con la famiglia, e la stessa cosa succedeva anche a molti altri studenti: seppur giovani, eravamo ormai adulti, cresciuti senza di loro, abituati a sostenerci l'un l'altro. Per me fu un sollievo quando arrivò il momento di raggiungere il sito di lancio, anche se subito dopo ebbi un mare di sensi di colpa.

Era arrivato il momento di imparare cosa significasse essere un Pellegrino: un emissario della Terra alla fine del ventunesimo secolo. Un membro del ristretto gruppo di prescelti destinato a un esperimento senza precedenti. Un esperimento progettato da scienziati e ingegneri molto saggi, ma che recava le insegne della follia. Eravamo i semi del genere umano, e avevamo la responsabilità di mettere radici in un mondo nuovo.



## Sognando l'oltre

### Via dall'Africa

Quando eravamo appena un milione, sognavamo già quel che ci sarebbe stato nel futuro?

Duecentomila anni fa, in Africa nord-orientale, apparvero i primi esemplari umani anatomicamente moderni<sup>1</sup>. La culla della nostra creazione fu il luogo che oggi conosciamo con il nome di Etiopia. Nei 100.000 anni successivi, la specie si diffuse in tutta l'Africa. I nostri lontani antenati non tenevano diari e, a quanto sappiamo, non avevano una lingua scritta. Di loro sono sopravvissuti soltanto ossa e qualche manufatto sparso qua e là; oggetti che parlano di una specie robusta e valorosa che celebrava rituali per seppellire i morti, che cacciava con selci appuntite trasformate in lance e frecce, e che ricopriva di graffiti le pareti delle caverne per immortalare la propria iconografia. Quelle immagini evocative, che al bagliore tremolante di un fuoco o di una lampada a olio dovevano aver dato l'impressione di muoversi ai loro autori, ci raccontano a millenni di distanza le paure e i sogni dei nostri antenati.

Le tecnologie genetiche moderne ci hanno permesso di ricostruire il viaggio in cui lasciarono l'Africa; una migrazione epica, non meno temeraria dei primi passi nello spazio mossi molti millenni dopo.

La vita sulla Terra è accomunata da un unico codice genetico: un alfabeto di quattro lettere, ciascuna accoppiata a un'altra, codifica le funzioni e l'unicità di ciascun organismo. Le quattro basi (A per adenina, C per citosina, G per guanina e T per timina) formano i gradini di quella scala a chiocciola che chiamiamo DNA. In questa scala, A si accompagna a T e C si accompagna a G; quando que-

sta scala si divide a metà, ogni lato funge da modello per una nuova molecola di DNA. Il codice genetico specifica la sequenza di 20 aminoacidi utilizzati dalle cellule viventi per fabbricare le proteine.

Se il codice genetico fosse trascritto ed espresso alla perfezione non ci sarebbe evoluzione, e la vita sarebbe, per così dire, noiosa. Inoltre tutto sarebbe destinato a finire, non potendo adattarsi e sopravvivere nel tempo. Un tipo di variazione avviene quando il programma genetico, il genotipo, si esprime in un ambiente particolare, il fenotipo: due copie identiche dello stesso seme si svilupperebbero in maniera abbastanza differente se una crescesse in un terreno argilloso e l'altra su una montagna spazzata dal vento. Un secondo tipo di variazione avviene nel tempo, quando il materiale genetico subisce un'alterazione a causa di una mutazione o di un processo di copiatura imperfetto: nel corso del tempo, all'aumentare delle variazioni (la cui esistenza è inoltre condizionata dalla selezione naturale) la biodiversità prospera. Di conseguenza, il DNA della vita ha sviluppato un intrico di ramificazioni partito da una radice, un LUCA (*Last Universal Common Ancestor*, un "ultimo antenato comune universale") vissuto 4 miliardi di anni fa<sup>2</sup>: tale cellula primitiva è stata l'antenata di tutte le piante e di tutti gli animali, oltre che di tutti i microbi. Le creature a riproduzione sessuata, come gli esseri umani, mescolano il loro DNA in modo tale da rendere ogni individuo molto diverso dai genitori, e ciò accelera la variazione genetica e l'evoluzione, soprattutto nelle popolazioni di piccole dimensioni<sup>3</sup>.

L'antropologia molecolare utilizza il DNA e le evidenze fisiche per ricostruire le migrazioni umane. Abbiamo tutti in noi il DNA del nostro ultimo antenato comune: è così che sappiamo quando e dove è nato l'uomo. Il DNA si mescola grazie alla riproduzione sessuata, ma alcune sue sequenze speciali si trasmettono inalterate dai genitori ai figli: per esempio, il cromosoma Y passa solo da padre a figlio maschio, permettendo così di ricostruire la discendenza paterna dei maschi, mentre il DNA mitocondriale si trasmette solo dalla madre alla prole, permettendo tanto ai maschi quanto alle femmine di ricostruire la discendenza materna. Entrambe queste sequenze di DNA sono soggette a occasionali e innocue mutazioni, che divengono "marcatori" genetici ereditari. All'interno di una specifica regione geografica il singolo marcatore si diffonde rapidamente, e a distanza di generazioni è riscontrabile in quasi tutti i membri della popolazione locale. Quando gli individui lasciano una regione



portano con sé anche il marcatore, quindi gli scienziati possono disegnare una mappa delle prime migrazioni umane studiando i differenti marcatori genetici presenti in molte popolazioni indigene.

Il Genographic Project ha dipinto un'immagine delle migrazioni umane utilizzando "pennellate" di DNA prelevate da oltre 70.000 membri di alcune tribù indigene selezionate in tutto il mondo. Com'è giusto, la maggior parte dei finanziamenti proviene dalla National Geographic Society, che è passata dall'esplorazione del pianeta a quella del mondo interiore. Il progetto non ha mancato di scatenare polemiche: alcuni popoli indigeni, infatti, lo hanno visto come una forma di sfruttamento, e si sono rifiutate di prendervi parte. Ciononostante, il Genographic Project ha ricevuto un grande slancio grazie al crowdsourcing: più di 600.000 persone hanno potuto conoscere la loro storia genetica donando in cambio il proprio DNA, inserito in un database open source<sup>4</sup>. Grazie a tale patrimonio, e a computer molto potenti, negli ultimi dieci anni sono stati identificati più di 100.000 marcatori genetici. Il coordinatore del progetto è Spencer Wells, *explorer in residence* del National Geographic, il quale in un'occasione ha detto: «Il più grande libro di storia mai scritto è quello che si nasconde nel nostro DNA»; un libro che racconta la storia dell'urgente e profondo bisogno umano di esplorare.

Circa 65.000 anni fa ci avventurammo per la prima volta fuori dal continente in cui siamo nati. Probabilmente il percorso dal Corno d'Africa alla penisola arabica avvenne attraverso lo stretto di Bab el-Mandeb – che se oggi è una delle rotte commerciali più trafficate del mondo, all'epoca (dopo che l'ultima era glaciale aveva abbassato il livello dei mari) non era che un canale stretto dal basso fondale. La tribù che si spinse fuori dall'Africa doveva essere composta da appena qualche migliaio di individui, e non si trattò di una singola spedizione: l'"esodo" avvenne nel corso di alcuni secoli, ad opera di piccoli gruppi di persone appartenenti a famiglie tra loro imparentate alla lontana, che partirono uno dopo l'altro. Sparpagliandosi prosperarono, stabilendosi prima in Asia centrale e poi in Europa; non meno di 50.000 anni fa raggiunsero il sud della Cina e l'Australia, mentre 40.000 anni fa popolavano già l'intera Europa. Queste popolazioni si svilupparono grazie alle condizioni ospitali che trovarono in Europa meridionale e in Asia.

L'ultima fase della migrazione fu audace e drammatica. Nonostante i climi più favorevoli nel bacino del Mediterraneo e in Medio

Oriente, alcune popolazioni nomadi si spinsero più a nord. L'ultima era glaciale si faceva sentire sempre di più, ma quel gruppo di intrepidi si diffuse in una zona che comprendeva l'intera tundra siberiana. Le enormi lastre di ghiaccio avevano assorbito molta dell'umidità presente nell'atmosfera, abbassando il livello dei mari di decine e decine di metri; ciò permise ai nostri antenati di attraversare, circa 16.000 anni fa, il ponte continentale dove oggi si trova lo Stretto di Bering. Alcune prove ci dicono che raggiunsero la California meridionale 3000 anni dopo, e che nel giro di qualche millennio si diffusero in tutte le Americhe. Esaminando la mappa del viaggio che vide i nostri antenati partire dalle distese ghiacciate dell'Alaska fino a raggiungere i paesaggi brulli della Patagonia, si rimane sbalorditi di fronte alla velocità del loro viaggio: quella migrazione non poteva avere come uniche motivazioni la ricerca di cibo e di riparo.

La cronologia appena descritta andrebbe rivista in virtù della possibilità che l'uomo abbia viaggiato via mare. Alcuni dati indicano che piccoli gruppi di individui 25.000 anni fa intrapresero una difficile traversata dell'Atlantico, dall'Europa al Nordamerica, costeggiando il bordo della banchisa. In Australia, una ciocca di capelli appartenenti a un aborigeno sta riscrivendo la storia di come l'uomo abbia popolato l'isola: secondo la spiegazione tradizionalmente accettata alcuni individui lasciarono l'Africa per spostarsi verso est e stabilirsi in Australia dopo un viaggio via mare dal Sudest Asiatico, ma nel 2011 il sequenziamento genetico di alcuni capelli donati a un antropologo britannico nel 1923 ha dimostrato che gli aborigeni australiani sono più strettamente imparentati agli africani di quanto non lo siano europei e asiatici. I nativi australiani di oggi, quindi, potrebbero essere il più antico gruppo di esseri umani al di fuori dell'Africa<sup>5</sup>.

Se l'uomo ha vissuto nella savana africana per decine di migliaia di generazioni, la sua diffusione nelle Americhe ne ha richieste solo poche centinaia (Figura 1). Questa rapida e risoluta esplorazione di nuovi mondi fu, per certi versi, un abbandono della nostra *comfort zone* e un salto nel buio non meno straordinario di una nostra eventuale decisione di lasciare la Terra, una volta sviluppata la tecnologia appropriata.

Il materiale genetico può dirci *come* ci siamo diffusi sulla Terra, ma non è in grado di dirci *perché*. Per questo, è necessario conoscere la nostra natura.

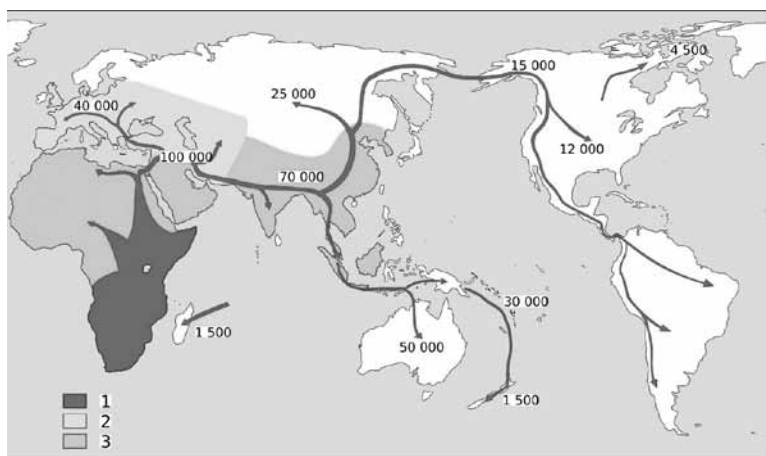


Figura 1. Mappa delle prime migrazioni umane, sulla base dei dati del DNA dei genomi mitocondriali. Le rotte migratorie sono contrassegnate con il numero di anni dall'epoca moderna. Le differenti sfumature rappresentano l'*homo sapiens* (1, grigio scuro), i primi ominidi (3, grigio) e i Neanderthal (2, grigio chiaro).

## L'impulso a esplorare

Le grandi migrazioni animali sono state determinate dal clima, dalla disponibilità di cibo o dalla possibilità di riprodursi, e quasi tutte sono stagionali. Gli umani sono l'unica specie che si sposta sistematicamente e appositamente per grandi distanze, con migrazioni che coinvolgono più generazioni, per ragioni non legate alla disponibilità di risorse. Il desiderio che spinse i nostri antenati a rischiare tutto per attraversare su piccole imbarcazioni grandi distese d'acqua come l'Oceano Pacifico è legato alla spinta che un giorno ci porterà a colonizzare Marte; e le sue origini sono da ricercarsi in un mix di cultura e genetica.

La psicologa comportamentale Alison Gopnik ha osservato che l'uomo è unico nel suo modo di unire gioco e immaginazione. I mammiferi giocano molto, da cuccioli, ma il gioco viene presto incanalato in abilità pratiche come la caccia e il combattimento, necessarie nell'età adulta. I bambini passano una quantità di tempo proporzionalmente maggiore in un mondo in cui il loro sviluppo

è protetto e facilitato dagli adulti<sup>6</sup>. Secondo Gopnik, giochiamo creando scenari ipotetici che ci permettono di verificare ipotesi, e agendo in effetti come piccoli scienziati: cosa succede se mescolo questi due liquidi? Se vado nel bosco, sarò in grado di ricordare i punti di riferimento per tornare indietro? Posso costruire un ponte con i Lego che va dal divano al tavolino? I bambini sono intrepidi fabbricatori di ipotesi, e una volta sviluppate le necessarie abilità motorie, l'esplorazione mentale li porta a esaminare l'ambiente fisico.

L'invenzione di scenari ipotetici nel gioco non è necessaria alla sopravvivenza, e la tendenza all'esplorazione mentale è tipicamente umana. La voglia di non fermarci mai non è solo nelle nostre menti, ma anche nei nostri geni.

Dato che condividiamo più del 95 per cento del DNA con le scimmie, abbiamo molto in comune con i nostri antenati più giovani. Eppure alcuni geni dello sviluppo ci hanno conferito un vantaggio su scimmie e altri ominidi: abbiamo una statura proporzionalmente inferiore per percorrere lunghe distanze, mani più adatte a manipolare gli oggetti, e cervelli in cui le regioni dedicate al linguaggio e alla percezione sono più estese. Tali geni sono regolati da regioni di DNA che (un tempo considerate "spazzatura") sono oggi ritenute le chiavi per capire come evolve una specie<sup>7</sup>.

A ricevere moltissime attenzioni per il suo ruolo fondamentale nel controllo di uno dei neurotrasmettitori più importanti è stato un gene ben preciso: il DRD4 è uno dei geni che controlla la dopamina, sostanza messaggera che influisce sulla motivazione e sul comportamento: i soggetti con una delle varianti di questo gene – chiamata 7R – sono più inclini a rischiare, a esplorare nuove terre e, oltre che estroversi e iperattivi, sono sempre in cerca di qualcosa di nuovo. Circa un individuo su cinque possiede il DRD4 nella forma 7R.

La cosa affascinante sta nel fatto che probabilmente la mutazione 7R è apparsa per la prima volta circa 40.000 anni fa, poco dopo l'esodo dall'Africa, quando l'uomo ha cominciato a diffondersi in Asia e in Europa. Altri studi collegano direttamente la variante 7R alle migrazioni: alcune ricerche compiute da Chuansheng Chen all'università della California di Irvine hanno indicato che oggi, tra le popolazioni asiatiche, in gran parte stanziali, solo l'1 per cento ha la variante 7R, mentre nei sudamericani, le cui popolazioni hanno percorso enormi distanze partendo dall'Asia 16.000 anni fa, la prevalenza è pari al 60 per cento (Figura 2)<sup>8</sup>.

Esiste quindi un “gene dell’esplorazione”? No. I geni collaborano tra loro e il comportamento è provocato in parte dall’ambiente, per cui essi non determinano il destino e nessun singolo gene è in grado di renderci “macchine esploratrici”. Inoltre, le situazioni che non conosciamo possono essere cariche di pericoli, e un gene che ci spinga all’esplorazione non per forza conferirebbe vantaggi in termini di selezione. Come se non bastasse, quando questo gene si esprime potrebbe esserci un rovescio della medaglia: gli individui con la variante 7R sono due volte e mezzo più soggetti al disturbo da deficit di attenzione e iperattività, hanno il 50 per cento in più di probabilità di essere sessualmente promiscui (il che è mal visto dal punto di vista culturale, per quanto vantaggioso dal punto di vista evolutivo...) e sono inclini all’alcolismo e alla tossicodipendenza. Il

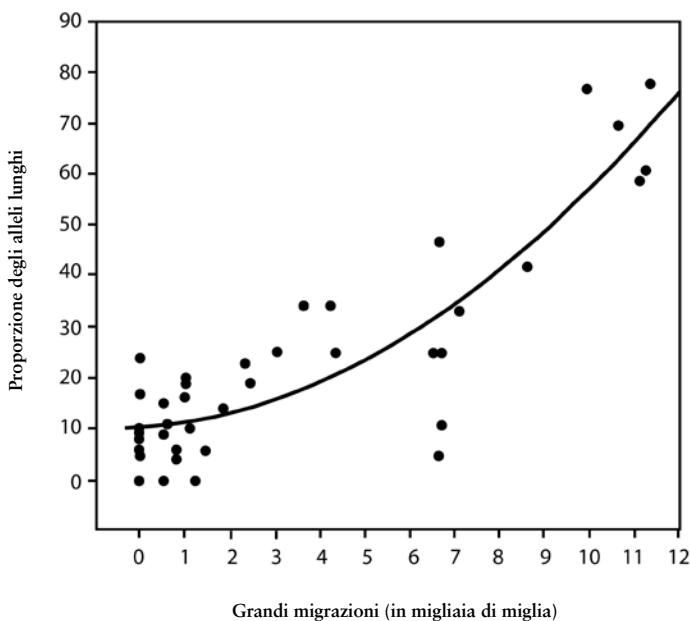


Figura 2. Correlazione tra la frequenza degli alleli DRD4 e le migrazioni su lunghe distanze tra 39 gruppi di popolazione negli ultimi 30.000 anni. Nelle popolazioni odierne, la variante lunga, o 7R, di questo gene è associata al disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD).

funzionamento corretto di qualsiasi comunità di cacciatori-raccoglitori richiede una grande collaborazione e relazioni sociali stabili; un'esagerata ricerca del brivido sarebbe pericolosa e distruttiva.

Tuttavia, in caso di scarsità di risorse o di stress, questa particolare mutazione mostra i suoi vantaggi: i portatori della variante 7R non solo si trovano a proprio agio con i cambiamenti, ma tendono anche a spaventarsi meno<sup>9</sup>, utilizzano meno le emozioni per prendere le proprie decisioni e sono più impermeabili alle emozioni negative altrui. Una bassa reattività e un'alta resistenza dal punto di vista emotivo sono caratteristiche preziose per un essere umano che si trovi in un ambiente pericoloso e sconosciuto, così come la capacità di pianificare e di risolvere problemi complessi lo è quando si presenti una minaccia. Questo genotipo "dell'avventura" potrebbe persino difenderci dallo stress, dall'ansia e dalla depressione.

Sebbene siano presenti solo in una piccola parte della popolazione, i tratti che favoriscono l'amore per l'avventura si auto-amplificano. Se la mutazione 7R ha una frequenza leggermente superiore in una popolazione che migra, all'interno di un pool genetico limitato tale frequenza crescerà. Quando tali geni si esprimono, agilità e destrezza aumentano: i nomadi più bravi troveranno nuove fonti di cibo e nuove possibilità per migliorare la propria vita, mentre i migliori utilizzatori e creatori di utensili saranno incitati a inventare nuovi strumenti e a trovare nuove applicazioni per quelli già esistenti. Il pilastro su cui si basa questo ciclo di feedback è l'unica caratteristica umana che non ci fa temere confronti con le altre specie: le dimensioni del cervello.

## La costruzione di modelli mentali

Come ci si sente ad essere un cane?

Nonostante il legame di empatia che nutriamo nei confronti del nostro "miglior amico", il divario tra le nostre specie ci impedisce di rispondere a questa domanda. Il cervello dei cani assomiglia al nostro per struttura, e subisce modificazioni chimiche che si associano a un'ampia gamma di stati emotivi. Come noi, i cani sognano; ci sono affascinanti prove secondo cui i cani sarebbero addirittura in grado di classificare mentalmente gli oggetti in categorie, un talento in termini di pensiero astratto che in precedenza era stato ri-

scontrato solo in alcuni primati e uccelli. Lo sviluppo emotivo di un cane, però, si ferma a un livello pari a quello di un lattante umano.

I cani non sono in grado di creare modelli mentali come quelli che l'uomo produce in quantità. Se, all'improvviso, vi ritrovaste intrappolati nella mente del vostro cane, sareste in balia di un'accozzaglia di odori e stimoli visivi, e sempre intenti a plasmare il vostro comportamento sulla base dell'ambiente esterno e dei desideri del vostro padrone. Però non creereste mai modelli mentali basati sull'esperienza in grado di guidarvi nelle decisioni future.

L'uomo ha una capacità unica di ragionare con il linguaggio e con i simboli; e comincia a farlo presto. Tra i sei e i nove mesi il bambino passa dal ciangottare e imitare all'associare nomi agli oggetti reali e, più o meno nello stesso periodo, acquisisce la capacità di concepire un oggetto anche senza vederlo: entrambi i momenti presuppongono la creazione di uno schema mentale come strumento per conoscere il mondo reale.

All'età di due anni il bambino è in grado di individuare schemi statistici e, basandosi su di essi, stabilire rapporti di causa-effetto. In un esempio riportato da Alison Gopnik, alcuni bimbi di due anni si trovavano alle prese con una scatola di giocattoli contenente molte rane verdi e qualche papera gialla<sup>10</sup>. Il coordinatore dell'esperimento tirava fuori dei giocattoli dalla scatola, apparentemente a caso, poi chiedeva al bimbo di prenderne uno e consegnarglielo. Il piccolo non mostrava alcuna preferenza di colore quando il coordinatore tirava fuori rane verdi da una scatola piena di giocattoli in prevalenza verdi. Tuttavia tendeva a dare al coordinatore una papera se questi aveva in precedenza tirato fuori dalla scatola il giocattolo giallo, relativamente raro: il piccolo sapeva che il coordinatore aveva meno probabilità di tirare fuori delle papere, per cui il comportamento dell'uomo indicava una preferenza, appunto, per queste ultime. I bambini non sperimentano né maneggiano la statistica in maniera consapevole, come gli adulti, ma elaborano inconsciamente informazioni con un metodo molto simile a quello scientifico.

Il passo successivo nello sviluppo riguarda il gioco. Quando i bambini dicono "facciamo finta che...", evocano mondi alternativi popolandoli di amici immaginari. Come tutti sappiamo, tali mondi immaginari possono essere molto complessi: un comportamento tipicamente umano. Nonostante le moltissime ore passate a osservare gli scimpanzè di Gombe, in Tanzania, Jane Goodall ha individuato

pochissimi esempi di finzione ludica, un comportamento normalissimo in un qualsiasi bambino di quattro anni. Concettualmente, i bambini usano il ragionamento controfattuale, formulando ipotesi che vanno al di là della normale esperienza. Si tratta di un passo in avanti rispetto alla creazione di modelli mentali del mondo reale, che tende a creare modelli mentali di mondi bizzarri e ignoti. Mentre gli scienziati utilizzano il pensiero controfattuale come abilità di alto livello per sviluppare le proprie teorie, domandandosi: “Cosa, di quel che non esiste, potrebbe esistere, e perché?”, i bambini vi fanno ricorso per sviluppare le abilità necessarie a esplorare l’ambiente in cui vivranno da adulti.

Abbiamo visto che, nei bambini, esiste uno stretto legame tra gioco e pensiero logico astratto. Un tempo gli psicologi erano convinti che qualsiasi tipo di ragionamento implicasse l’utilizzo della logica – ma in genere la vita reale è così caotica che regole come “se faccio questo, accade quello” non risultano applicabili. La logica presuppone premesse e affermazioni che potrebbero essere difficili da verificare. Peggio ancora, partendo da un insieme di informazioni dato è possibile giungere a un numero sterminato di inferenze logiche; così come conclusioni perfettamente valide possono contrastare con i dati di fatto. La ragione umana non è ordinata né semplice, e assomiglia molto poco a una dimostrazione logica.

A descrivere meglio il ragionamento è la produzione di modelli mentali in grado di rappresentare i fenomeni che esperiamo. Un modello mentale equivale alla simulazione di alcuni aspetti del mondo, rimpolpata dalla nostra conoscenza e arricchita dalla nostra esperienza: si tratta di un processo dinamico in cui adattiamo o scartiamo subito i modelli che riteniamo insufficienti<sup>11</sup>. Li testiamo servendoci di situazioni ipotetiche, creando una moltitudine di modelli mentali per tutte le possibili situazioni che possiamo trovarci ad affrontare. Si tratta di un metodo semplice ed economico: non servono attrezzature, né strumenti, e non dobbiamo nemmeno esporci ad alcun rischio. “Se mi arrampico sul ramo dell’albero per prendere il miele, il ramo potrebbe spezzarsi e le api potrebbero pungermi. Ma se riesco ad agganciare il ramo con una frasca, posso spezzarlo per poi venire a prendere il miele una volta che le api se ne saranno andate”. Quel che accade è tutto nella nostra testa!

Tra gli studiosi è in corso un acceso dibattito per ricostruire la nascita del pensiero e del ragionamento in astratto; dopotutto è già



abbastanza difficile sapere cosa pensi nostra moglie, o il nostro migliore amico, immaginate un antenato preistorico morto centinaia di migliaia di anni fa.

Quasi unanime è il consenso sul fatto che gli esseri umani possedessero la struttura anatomica odierna già circa 200.000 anni fa. Fino a pochi decenni or sono, la convenzione fissava la comparsa del pensiero creativo e astratto a circa 40.000 anni fa, dopo che l'uomo lasciò l'Africa per stabilirsi in tutta l'Europa e in tutta l'Asia, mentre sviluppava la mutazione 7R. Gli scienziati attribuiscono a questo periodo i primi esempi di pitture rupestri, oltre alla pratica di incidere ossa e pietre per realizzare opere d'arte o utensili. La comparsa più o meno improvvisa del linguaggio e del comportamento umano odierno è chiamata *il grande balzo in avanti*, e i tratti che caratterizzano l'uomo "moderno" sono riassunti dal neurofisiologo americano William Calvin nelle *b* del comportamento: *blades, beads, burials, bone tools* e *beauty*, lame, monili, sepolture, utensili d'osso e bellezza<sup>12</sup>. L'ultima voce sta a indicare una capacità di giudizio estetico e forme di rappresentazione che includono il gioco, la narrazione di storie, e la creazione artistica e musicale.

Recenti scoperte, tuttavia, hanno messo in dubbio tale ipotesi. Alcuni archeologi hanno scoperto, in una caverna sulle coste ventose del Sudafrica, il guscio di un abalone contenente una pasta secca fatta di carbone, polvere ferrosa, ossa di animali triturate e un liquido sconosciuto: si tratta di un barattolo di vernice preistorico. Nel Marocco orientale sono stati ritrovati gusci incisi e dipinti che venivano utilizzati come perle ornamentali, e sempre in Africa sono state ritrovate in molti siti delle trappole per animali. Tutti e tre questi tipi di manufatto possono essere fatti risalire a circa 80.000 anni fa, ma esistono prove ancora più antiche che indicano la capacità di pensiero astratto. Tali scoperte suggeriscono, piuttosto che un grande balzo in avanti, un accumulo graduale di conoscenze, abilità e cultura nell'arco di parecchie centinaia di migliaia di anni.

A prescindere da *quando* abbiamo sviluppato queste capacità unicamente umane, il noto psicologo Steven Pinker ha rivolto l'attenzione a un altro problema, quello del *perché*. Lo studioso si chiede infatti: «Perché l'uomo è capace di imprese intellettuali astratte come la scienza, la matematica, la filosofia e la legge, considerando che nell'ambiente selvaggio in cui si è evoluto non esistevano opportunità di praticare questi talenti, e non li avrebbe sfruttati per

ottenere vantaggi nella sopravvivenza e nella riproduzione, neanche avendone la possibilità?»<sup>13</sup>. In altri termini, nella nostra cultura moderna, la matematica e le scienze trovano miriadi di applicazioni per aiutarci a fare i conti con l'ambiente che ci circonda e a vivere più a lungo, ma i concetti astratti non hanno alcuna utilità per un cacciatore-raccoglitore che, ogni giorno, deve trovare cibo e riparo.

Pinker e altri psicologi evolutivi ipotizzano che questi tratti siano comparsi come sottoprodotto della selezione naturale; secondo la loro teoria, all'interno dell'evoluzione occuperemmo una "nicchia cognitiva" che non condividiamo con nessun'altra specie<sup>14</sup>. Manipoliamo l'ambiente e formiamo reti sociali complesse in modo da poter far fronte in fretta alle sfide ambientali, mentre gli animali ricorrono all'evoluzione genetica, processo molto più lento. Per esempio, la nostra abilità ci permette di creare nuovi utensili e strategie di caccia che raggiungono la massima efficacia se utilizzate in cooperazione; nel frattempo, il nostro linguaggio ha consentito l'evoluzione di comportamenti sofisticati come l'altruismo e la reciprocità, mentre i modelli mentali ci permettono di prefigurare scenari ipotetici prima ancora di verificarli nella realtà. Un adattamento utile a uno scopo potrebbe dimostrarsi utile anche a un altro. La carne è una fonte concentrata di nutrienti per un onnivoro opportunisto, ma per abbattere un animale serve molta più intelligenza che per raccogliere delle bacche: mangiare carne agevolerebbe, dunque, lo sviluppo di un'intelligenza superiore. Le nostre capacità sociali, mentali e fisiche si sarebbero evolute tutte insieme: è una tesi difficile da dimostrare, ma spiega come il ragionamento astratto abbia potuto evolversi pur non avendo avuto alcun effetto diretto sulla sopravvivenza.

## Molti mondi

Immaginate di essere trasportati indietro nel tempo, fino a 2500 anni fa, in un brulicante porto della costa ionica, tra i discepoli di un filosofo di nome Anassagora (Figura 3). Giovane sensibile e austero, Anassagora pensava che la possibilità di comprendere l'universo fosse la ragione per cui era meglio essere nati piuttosto che non esistere.

Anassagora faceva parte di un movimento di pensiero convinto che nello spazio la Terra non fosse l'unico mondo abitato<sup>15</sup>.



Figura 3. Il filosofo greco Anassagora, da un manoscritto del XV secolo intitolato *Le Cronache di Norimberga*. Anassagora visse dal 510 al 428 a.C. e fu il primo filosofo a ipotizzare l'esistenza di un'intelligenza che governasse il cosmo e a proporre l'idea di *pluralismo*, ovvero di una "pluralità di mondi".

Per capire quando sia audace tale tesi, pensate a come abbiamo considerato il cielo per molti millenni, a partire dagli antichi greci: il cielo era una mappa, un orologio, un calendario e una miniera di miti e leggende. Sembrava ovvio che la Terra fosse ferma al centro dell'universo, e che i cieli ruotassero sopra le nostre teste; il Sole, la Luna, i pianeti e le stelle erano luoghi remoti e inaccessibili. Gli uomini preistorici avevano la capacità di pensare in astratto e di costruire modelli mentali, ma non c'è alcun indizio che usassero tale capacità per immaginare quel che c'era al di là della Terra.

Anassagora si trasferì dallo Ionio ad Atene, attratto dal centro pulsante della vita intellettuale. Il grande drammaturgo greco Euripide integrò la teoria della mente di Anassagora nelle sue tragedie, e il suo amico Pericle divenne il più grande statista e oratore dell'età d'oro di Atene. Anassagora sfornava in continuazione nuove idee e teorie rivoluzionarie: sosteneva che il Sole fosse una massa di metallo fuso molto più grande del Peloponneso, che la Luna fosse una roccia come la Terra ma che non emetteva luce propria, e che le stelle fossero rocce fiammeggianti. Pensava che la Via Lattea fosse composta dalla luce di innumerevoli stelle. Spiegò dal punto di vista fisico il moto stagionale del Sole, le eclissi e l'origine delle comete, e ipotizzava che il cosmo, in origine, fosse una massa indifferenziata contenente tutti i suoi elementi costitutivi futuri. Non vedeva limiti logici alla formazione di strutture, così suggerì che potessero esistere infiniti mondi all'interno di altri mondi, grandi e piccoli<sup>16</sup>.

Le idee originali tendono a provocare reazioni forti. Anassagora venne accusato di ateismo per aver proposto una spiegazione fisica e naturale dell'universo, senza alcun accenno a dèi o a interventi divini, e per aver osato suggerire che il Sole fosse grande come la Grecia. La sua grande amicizia con Pericle lo danneggiò: il celebre politico, infatti, aveva nemici potenti. Evitò la morte tornando nella Ionia, dove trascorse in esilio il resto della sua vita.

L'idea della "pluralità dei mondi" aveva un precedente nell'opera di quello che spesso viene definito il padre della filosofia, Talete, il quale ipotizzava che lo spazio fosse infinito; la riflessione fu ripresa dalle opere degli atomisti e degli epicurei. Pochi secoli dopo, il filosofo e poeta romano Lucrezio scriveva coraggiosamente: «... se permane la stessa forza [e] natura per combinare i semi delle cose nei vari luoghi in modo somigliante a quello in cui furono combinati qui, è necessario che tu ammetta che in altre parti dello spazio esistono altre terre e diverse razze di uomini e specie di fiere»<sup>17</sup>.

La filosofia greca cercò di sostituire la paura e la superstizione con il pensiero razionale. Gli uomini avevano acquisito da tempo la capacità di astrazione, ma nelle mani dei greci essa venne rafforzata grazie alla matematica e alle regole formali della logica. Aristarco utilizzò la geometria e lo studio delle eclissi e delle fasi lunari per dedurre che il Sole doveva essere più grande della Terra: ciò lo portò a proporre un modello eliocentrico quasi duemila anni prima di Copernico. Eratostene mise in relazione la consapevolezza che la Terra fosse rotonda (deducendolo dalla forma della sua ombra durante un'eclissi lunare) con il fatto che il Sole generava ombre diverse in luoghi differenti della crosta terrestre, calcolando così le dimensioni della Terra – il filosofo, che in vita sua non aveva mai percorso più di un chilometro e mezzo dal luogo in cui viveva, riuscì a comprendere un concetto che, ai primi esseri umani che avevano compiuto eroiche migrazioni da una parte all'altra del pianeta, era rimasto sconosciuto.

I filosofi dell'antica Grecia applicarono i modelli mentali ad ambiti completamente nuovi. Democrito si chiese cosa sarebbe accaduto se avesse suddiviso più e più volte una pietra con un coltello affilatissimo: stando alla logica, si sarebbe potuto continuare il processo all'infinito fino all'infinitamente piccolo, oppure ottenere un'unità di materia basilare e indivisibile. Il filosofo respinse l'idea che esistessero particelle infinitamente piccole e

ipotizzò l'esistenza degli atomi. Il filosofo greco Archita si chiese cosa sarebbe successo raggiungendo i limiti dello spazio e scagliando una lancia al di là di esso: se la lancia avesse incontrato un ostacolo ci si sarebbe dovuti domandare cosa ci fosse dopo, per cui ipotizzò che lo spazio fosse infinito. Non potendo disporre di acceleratori di particelle né di telescopi, i greci non riuscirono a dare risposta a tali interrogativi, ma i loro "esperimenti di pensiero" prepararono la nascita delle scienze<sup>18</sup>.

Purtroppo per il progresso della cosmologia, l'idea dei "tanti mondi" venne messa in ombra dalle diversissime teorie e dal predominio intellettuale di Aristotele, il quale credeva che la Terra fosse l'unico mondo possibile e che non potessero essercene altri. La visione geocentrica di Aristotele prese piede perché più vicina al senso comune: se la Terra non fosse stata il centro dell'universo, avrebbe dovuto muoversi rapidamente, mentre non c'era alcun movimento apparente. La cosmologia geocentrica si integrò nella cosmologia cristiana, dove ben si sposava con l'idea di un rapporto speciale tra l'uomo e il suo Creatore. Intanto, altre tradizioni religiose si dimostravano più in sintonia con l'idea di una pluralità di mondi: l'induismo e il buddismo affermano l'esistenza di molti mondi abitati da forme di vita intelligenti<sup>19</sup>, e in un mito il dio Indra dice: «Ho parlato soltanto dei mondi all'interno di questo universo. Ma considerate la miriade di universi che esistono, uno dopo l'altro, ognuno con il suo Indra e il suo Brahma e ognuno con i suoi mondi che evolvono e si dissolvono».

Le idee forti catturano l'immaginazione. Sebbene la tradizione intellettuale occidentale sia poco affabile, poeti e sognatori hanno cercato di ipotizzare cosa ci sia lontano dalla Terra. Nel secondo secolo dopo Cristo, Luciano di Samosata scrisse un racconto fantastico che anticipava la moderna fantascienza<sup>20</sup>: *Storia vera* parlava di esseri umani trasportati sulla Luna, dove incontrano una razza simile a quella umana che viaggia sul dorso di uccelli a tre zampe. In questo energico racconto di fantasia, pianeti e stelle sono popolati da esseri umani e creature fantastiche.

A quanto pare, non si poteva fare altro che elaborare congetture sullo spazio. Più o meno negli anni in cui Copernico suggerì l'idea che vedeva la Terra come uno dei tanti pianeti, andavano sviluppandosi tecnologie che, per la prima volta, avrebbero molto avvicinato l'uomo allo spazio.

## Note

1. Il Genographic Project, finanziato dalla National Geographic Society, ha utilizzato il DNA di quasi un milione di persone per costruire una mappa delle migrazioni umane. Si veda <http://tinyurl.com/hnj6wyr>.
2. Darwin teorizzò l'idea di un albero della vita e di un ultimo antenato comune sulla base delle affinità morfologiche tra le specie; tuttavia, le dimensioni e la forma di un organismo possono essere elementi fuorvianti, e i batteri hanno tutti la stessa forma. Per questo, la moderna filogenesi misura gli elementi comuni nelle sequenze di coppie di basi di DNA e RNA. È difficile ricostruire il tempo lineare utilizzando le differenze genetiche, inoltre il trasferimento genico e le convergenze evolutive possono determinare confusione. Quando il confronto avviene tra molte specie, più di un albero può corrispondere ai dati.
3. Otto, S.P. e T. Lenormand (2002), *Resolving the Paradox of Sex and Recombination*, in "Nature Reviews Genetics", vol. 78, pp. 737-56.
4. Il kit per il test Geno 2.0 costa 200 dollari su internet. Dopo aver inviato un campione di DNA, si ricevono i risultati individuali che mostrano l'ampio schema della genealogia e il grado di affinità genetica con diverse popolazioni native. I risultati della ricerca si trovano in Behar, D.M. *et al.* (2007), *The Genographic Project Public Participation Mitochondrial DNA Database*, in "PLoS Genetics", vol. 3, n. 6, p. e104.
5. Hiscock, P. (2012), *The Arrival of Humans in Australia*, in "Agora", vol. 47, n. 2, pp. 19-22.
6. Gopnik, A. (2010), *How Babies Think*, in "Scientific American", luglio, pp. 76-81. Si veda anche Gopnik, A., A.N. Meltzoff e P.K. Kuhl (2000), *Tuo figlio è un genio: le straordinarie scoperte sulla mente infantile*, Baldini & Castoldi, Milano (ed. orig. *The Scientist in the Crib: Minds, Brains and How Children Learn*, 1999).
7. La classificazione di parte del DNA come "spazzatura" probabilmente riflette la nostra ignoranza nel riconoscere il modo in cui esso innesca l'espressione dei geni nell'organismo. Nel 2008, uno studio condotto da James Noonan della Yale University ha scoperto che una piccola regione di DNA non codificante o "spazzatura" controllava modificazioni a livello di caviglie, piedi, pollici e polsi fondamentali nell'evoluzione, le stesse che ci hanno permesso di assumere la stazione eretta e di usare utensili.
8. Chen, C. *et al.* (1999), *Population Migration and the Variation of Dopamine D<sub>4</sub> Receptor (DRD<sub>4</sub>) Allele Frequencies Around the Globe*, in "Evolution and Human Behavior", vol. 20, n. 5, pp. 309-24.
9. Roussos, P., S.G. Giakoumaki e P. Bitsios (2009), *Cognitive and Emotional Processing in High Novelty Seeking Associated with the L-DRD<sub>4</sub> Genotype*, in "Neuropsychologia", vol. 47, n. 7, pp. 1654-59.

10. Meltzoff, A.N. e A. Gopnik (2013), *Learning about the Mind from Evidence: Children's Development of Intuitive Theories of Perception and Personality*, in Baron-Cohen, S., H. Tager-Flusberg e M. Lombardo (a cura di), *Understanding Other Minds: Perspectives from Developmental Social Neuroscience*, Oxford University Press, Oxford, pp. 19-34.
11. Walker, C.M. e A. Gopnik (2011), *Causality and Imagination*, in Taylor, M. (a cura di), *The Development of the Imagination*, Oxford University Press, Oxford. Si veda anche Johnson-Laird, P.N., *Mental Models and Human Reasoning*, in "Proceedings of the National Academy of Sciences", doi/10.1073/pnas.1012933107.
12. Calvin, W. (2004), *A Brief History of the Mind*, Oxford University Press, Oxford.
13. Pinker, S. (2010), *The Cognitive Niche: Coevolution of Intelligence, Sociality, and Language*, in "Proceedings of the National Academy of Sciences", doi/10.1073/pnas.0914630107.
14. Withen, A. e D. Erdal (2012), *The Human Socio-cognitive Niche and Its Evolutionary Origins*, in "Philosophical Transactions of the Royal Society B [Biological Sciences]", vol. 367, pp. 2119-29.
15. Bertola, F., *Plurality of Worlds* (2000), in Chela-Flores, J. et al. (a cura di), *First Steps in the Origin of Life in the Universe*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 401-407.
16. Taylor, C.C.W. (1997), *Anaxagoras and the Atomists*, in Taylor, C.C.W. (a cura di), *From the Beginning to Plato: Routledge History of Philosophy, Vol. 1*, Routledge, New York, pp. 208-43. Si veda anche Graham, D. (1994), *The Postulat of Anaxagoras*, in "Apeiron", vol. 27, pp. 77-121.
17. Lucrezio, *De Rerum Natura*.
18. Per una panoramica dei progressi del pensiero compiuti da un piccolo numero di audaci pensatori 2500 anni fa, si veda Barnes, J. (1996), *The Presocratic Philosophers*, Routledge, New York.
19. Sarebbe inappropriato dedurre un moderno contesto cosmologico dalla pluralità delle religioni mondiali. Per esempio, la "pluralità di mondi" nei testi buddisti fa parte di una cosmologia geocentrica che vede al proprio centro il monte Meru, e non vengono indicate distanze relative a queste lontane regioni, che entrano ed escono costantemente dalla condizione di esistenza.
20. Swanson, R.A. (1976), *The True, the False, and the Truly False: Lucian's Philosophical Science Fiction*, in "Science Fiction Studies", vol. 3, n. 3, pp. 227-39.