

Al DNA sono strettamente legati i processi biochimici che avvengono nelle nostre cellule, lo sviluppo dell'organismo e il suo stato di salute. Le lingue rappresentano, invece, l'architrave e il mezzo di espressione delle culture umane. Al di là delle evidenti distanze, DNA e lingue svolgono entrambi un ruolo fondamentale nel definire chi siamo, sono elementi complementari della nostra identità. Imparare a conoscerli è fondamentale non solo per comprendere i significati della diversità, ma anche, e soprattutto, per capire quanto sia importante ciò che ci unisce come esseri umani.

UMANI, DNA E LINGUE

Giovanni Destro Bisol¹

Università di Roma La Sapienza e Istituto Italiano di Antropologia

Come tutti i viventi, noi umani siamo fatti di cellule, oggetti minuscoli separati dal mondo esterno da sottilissime membrane costituite da una combinazione di grassi, proteine e carboidrati. Al loro interno, il DNA – un insieme di zucchero, fosfato e azoto – gioca un ruolo esclusivo e indispensabile: conservare e rendere disponibili le informazioni per la “costruzione” di tutte le forme di vita, dai più semplici esseri unicellulari, come i batteri, fino a quelli più sofisticati, come noi umani.

Unica tra tutte, la nostra specie, *Homo sapiens*, possiede la capacità di creare e usare le parole, sequenze di suoni o di segni attraverso i quali vengono rappresentati oggetti, concetti, azioni, emozioni e ogni sorta di idee. Sono l’asse portante delle lingue, sistemi codificati di comunicazione che hanno un ruolo cruciale nella nostra esistenza.

Al DNA sono strettamente legati i processi biochimici che avvengono nelle nostre cellule, lo sviluppo dell’organismo e il suo stato di salute. Le lingue rappresentano, invece, l’architrave e il mezzo di espressione delle culture umane. Al di là delle evidenti distanze, DNA e lingue svolgono entrambi un ruolo fondamentale nel definire chi siamo, sono elementi complementari della nostra identità. Imparare a conoscerli è fondamentale non solo per comprendere i significati della diversità, ma anche, e soprattutto, per capire quanto sia importante ciò che ci unisce come esseri umani.²

Il DNA, un vero trasformista!

Com’è fatto il DNA, al secolo acido desossiribonucleico? Come avremo modo di vedere, il nostro sembra non volersi accontentare di una sola identità. Possiamo immaginarlo, per iniziare, come una scala. Magari di un tipo un po’ particolare, ma in cui vi sarete probabilmente imbattuti. I gradini non vanno dritti, ma seguono una curva elicoidale, avvolgendosi attorno a un asse verticale, mentre i montanti, gli elementi che li collegano e sostengono la struttura, sono curvati per seguire la forma a spirale della scala stessa (figura 1). È la scala a chiocciola, un’alternativa a quella classica (rettilinea), a cui, grazie al suo minor ingombro, può essere preferita se gli spazi all’interno di un edificio sono ristretti. Le dimensioni sono, ovviamente, assai differenti: una scala a chiocciola

¹ giovanni.destrobisol@uniroma1.it

² Per chi fosse interessato ad approfondire la storia delle scoperte e i significati più ampi del DNA: Destro Bisol G./Capocasa M (2018): *Intervista impossibile al DNA*. Bologna: Il Mulino.

domestica è larga almeno un metro, quella del DNA ventimila volte meno di un capello umano! E anche i materiali cambiano: nel materiale ereditario i montanti non sono fatti di legno o acciaio, ma di un particolare zucchero (il desossiribosio) e un gruppo fosfato, mentre gli scalini sono costituiti da piccole molecole organiche contenenti atomi di azoto, le basi azotate. Queste ultime possono assumere quattro diverse “identità” chimiche: adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T).

In biologia, forma e funzione sono spesso strettamente connesse tra di loro. Ad esempio, le gambe sono più lunghe delle braccia (mediamente il 26% in più), perché in questo modo possono diventare leve più potenti per la locomozione bipede. Anche la sinuosa silhouette del DNA, oltre a sembrare un raffinato oggetto di design, permette di soddisfare due importanti esigenze funzionali di questa “supermolecola”. La prima è la miniaturizzazione. Se il DNA umano presente in ogni singola cellula, lungo circa 3 miliardi di basi azotate, costituisse un’unica struttura lineare, diventerebbe come un spaghetti sottilissimo, ma anche molto lungo: circa due metri. E questo creerebbe un bel problema: il minuscolo spazio disponibile all’interno delle cellule, il cosiddetto nucleo con un diametro di appena 6 millesimi, sarebbe del tutto insufficiente per accoglierlo tutto intero. Accade però che il materiale ereditario è organizzato in modo da ridurre al minimo l’ingombro. E per raggiungere il risultato, entrano in gioco ben tre strategie diverse. Ciascuna di esse opera in armonia con le altre per garantire che il DNA sia compattato quanto è necessario per garantire la funzione e la sopravvivenza della cellula.

In primo luogo, come abbiamo detto, la forma elicoidale del materiale ereditario consente già un risparmio di spazio significativo. In secondo luogo, il DNA è suddiviso in 23 coppie di cromosomi, minuscoli bastoncini che vengono raffigurati spesso con una forma a X allungata. Disponendosi nel nucleo della cellula, essi permettono di gestire meglio lo spazio a disposizione di quanto non possa fare un’unica struttura lineare. Come accade se, dovendo far entrare degli spaghetti troppo lunghi rispetto al contenitore, li spezziamo in tanti piccoli pezzi. Per finire, il “DNA-scala a chiocciola” può avvolgersi come un filo attorno a delle “perle” (figura 2). Queste ultime sono in realtà costituite da proteine specializzate chiamate istoni, che agiscono come “rochetti” attorno ai quali il DNA si arrotola.

La seconda esigenza funzionale è la replicazione. Il DNA deve infatti essere costantemente copiato per assolvere due compiti fondamentali: fornire il materiale genetico necessario alle nuove cellule in formazione e, nel contempo, dare il via a un processo (la sintesi proteica) che porterà alla sintesi delle proteine che costituiscono le cellule, i tessuti e gli organi del nostro corpo. Non crediate però che il DNA possa svolgere questo secondo compito da solo! Per la “traduzione” dell’informazione genetica in proteine serve la collaborazione di un parente stretto del DNA, l’acido ribonucleico (abbreviato in RNA), in cui viene trascritta l’informazione contenuta nel DNA. L’RNA viene utilizzato da minuscoli organelli (come i “ribosomi”) e strutture cellulari (come il meno noto “reticolo endoplasmatico”) per completare il lavoro. Ma questa, come direbbe un noto giallista nostrano, è un’altra storia; concentriamoci d’ora in poi solo sulla copiatura e lasciamo da parte la trascrizione.



Figura 1. A sinistra, un'elegante scala a chiocciola in legno e metallo^a A destra, il DNA con le basi azotate (colorate) che richiamano i gradini e i montanti (grigio scuro) costituiti da uno zucchero (il desossiribosio): notate come l'appaiamento sia sempre tra "gradini" rossi (timina) e gialli (adenina) o tra quelli blu (citosina) e verdi (guanina).^b Guardando contemporaneamente le due strutture, potrete osservare che entrambe sono formate da due spirali (nel caso del DNA le chiameremo filamenti) che si avvolgono l'una all'altra.

Affinché possa essere copiato, il nostro DNA, da vero trasformista, prende ancora un'altra sembianza: quella di cerniera lampo o "zip" (forma abbreviata della parola zipper, che in inglese significa 'cerniera'). E' necessario che i due filamenti vengano separati, in modo tale che ciascuno di essi possa fungere da stampo per la duplicazione (figura 3).

Una zip, come quella dei pantaloni, è costituita da due strisce di tessuto munite di file di dentini che, sotto l'azione di un cursore, possono agganciarsi orizzontalmente l'uno all'altro (chiudendola) o sganciarsi (aprendola). Nel caso del DNA, le due strisce sono formate dai due filamenti avvolti a spirale che creano la scala a chiocciola, mentre il ruolo dei dentini è svolto dalle basi azotate. Non essendo disponibile un cursore fisico, il compito di separare i due filamenti è svolto da una proteina specializzata che si chiama elicasi (a richiamare la forma elicoidale della scala a chiocciola).

Quando si apre una normale cerniera lampo, le due strisce si separano, consentendo l'accesso a ciò che si trova dietro al tessuto in cui la cerniera è inserita (non fate strani pensieri...). Nel caso della zip-DNA, non c'è nulla di importante da "nascondere", ma ciò che conta è proprio ciò che sta nella cerniera: Ogni filamento, separato dall'altro, diventa uno stampo che viene sfruttato da una proteina specializzata che si

^a Foto di Celine Ylmz su Unsplash.

^b Modificato da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Difference_DNA_RNA.svg (user: Sponk).

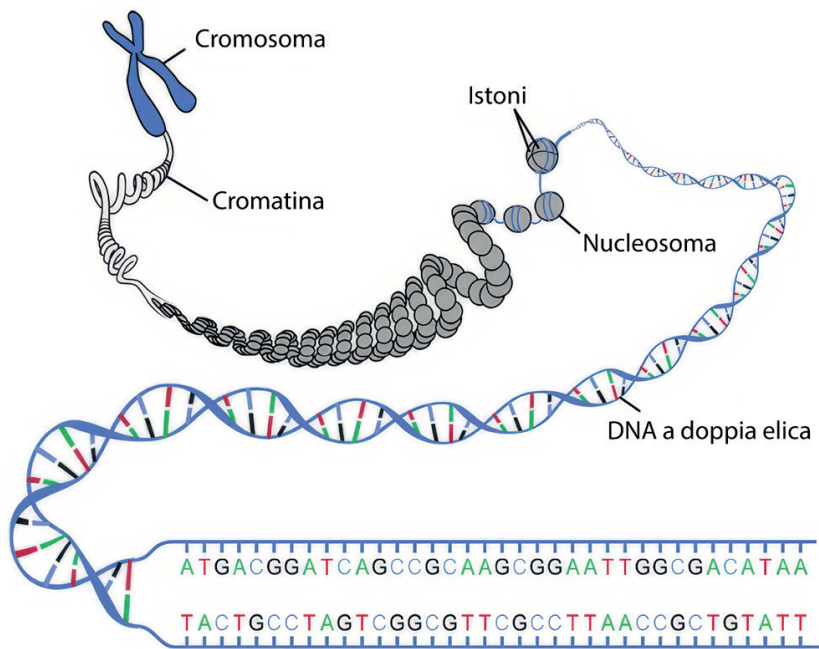


Figura 2. Una delle caratteristiche che permettono al DNA di condensarsi in uno spazio estremamente limitato è il suo avvolgimento intorno a proteine specializzate (istoni). Il complesso di DNA e istoni forma i cosiddetti nucleosomi, che aggregandosi formano la cromatina, il materiale di cui sono fatti i cromosomi.^c

chiama polimerasi del DNA. Questa crea un altro filamento, non uguale, ma complementare a quello stampo, seguendo una regola: a ogni adenina (A, base rossa) presente sul filamento stampo si appaia una timina (T, base gialla) sul nuovo filamento (e viceversa), mentre a ogni guanina (G, base blu) deve corrispondere una citosina (C, base verde) (e viceversa) (vedi figura 1). Dopo la prima copiatura, da ogni molecola di DNA se ne originano due, che fungono entrambe da stampo nella seconda copiatura, alla fine della quale abbiamo quattro molecole. Queste diventano otto dopo la terza copiatura, e via così secondo una progressione che, anche se non è sempre esattamente geometrica, impone una notevole velocità al processo di replicazione.

L'evoluzione ha trovato questo ingegnoso stratagemma della cerniera lampo, con i nucleotidi che si comportano come pezzi a incastro di un puzzle, per formare velocemente delle copie "conformi" all'originale. E così, mentre il DNA viene duplicato, l'informazione di cui è portatore viene fedelmente riprodotta. Beh, fedelmente... a dirla tutta, talvolta capita che durante la copiatura si verifichi qualche errore, ma di questo ne parleremo più in là.

Si accennava prima ai cromosomi e al loro ruolo nel processo di miniaturizzazione. La loro presenza porta in realtà due vantaggi anche alla replicazione del materiale

^c Modificato da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:0321_DNA_Macrostructure.jpg (user:CFCF).

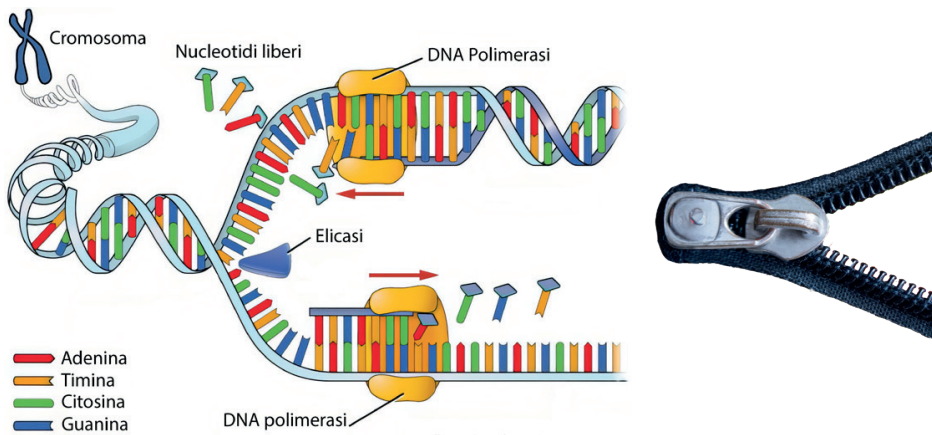


Figura 3. A sinistra, nel processo di duplicazione del DNA, ogni filamento, una volta separato dall'altro, diventa uno stampo che viene sfruttato da una proteina specializzata che si chiama "DNA polimerasi", la quale crea un filamento complementare.^d Notate la similitudine tra il DNA che si "apre" per essere copiato con la cerniera lampo.^e

ereditario. Il primo è in termini di tempo: potendo avere inizio indipendentemente nei diversi cromosomi, la duplicazione è più veloce di quanto sarebbe se partisse solo da un unico punto. È un po' come avere un gruppo di persone che lavorano contemporaneamente per copiare un testo, ciascuna su una parte del totale, piuttosto che una sola che si deve sobbarcare l'intero compito. Il secondo vantaggio riguarda la qualità dell'informazione: il fatto che ogni cromosoma viene duplicato in modo indipendente dagli altri limita eventuali errori di copiatura ai soli cromosomi che ne sono colpiti, evitando che si propaghino all'intero materiale ereditario di nuova formazione. La metafora in questo caso potrebbe essere quella di una biblioteca in cui vengano copiati dei manoscritti preziosi; la loro trascrizione in libri separati, piuttosto che in un unico grande tomo, farà sì che ogni singolo errore venga circoscritto a un solo specifico volume, mentre gli altri conserveranno inalterato il loro contenuto.

Parole, simboli, gesti: l'immenso potere del linguaggio umano

È estremamente difficile stabilire con precisione quando *Homo sapiens* abbia iniziato a utilizzare la comunicazione verbale come la conosciamo oggi. Le testimonianze materiali più antiche di sistemi di scrittura risalgono al IV millennio a.C, frutto di ritrovamenti fatti nell'attuale Iraq. Sono tavolette di argilla incise con caratteri cuneiformi, che contenevano informazioni contabili e documenti amministrativi.

^d Modificato da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_Bag_of_Colors_-_Flickr_-_ElleFlorio.jpg (user Red panda bot).

^e Modificato da https://en.wikipedia.org/wiki/File:0323_DNA_Replication.jpg (user:CFCF).

Si ritiene che l'uso della lingua parlata possa aver avuto inizio molto tempo prima, probabilmente tra i 60.000 e i 100.000 anni fa, in Africa. Evidenze importanti in questo senso sono fornite dal record archeologico rinvenuto nella cava di Blombos in Sudafrica⁷³. In questo sito i Sapiens seppellivano, insieme ai morti, ocra rossa decorata e realizzavano braccialetti e collane con gusci di conchiglie marine, dimostrando una capacità di elaborazione simbolica che verosimilmente sfruttava una forma di comunicazione verbale.

Gli specialisti contano attualmente settemila lingue a livello mondiale e stimano che ne siano esistite circa centomila nel corso della storia dell'umanità. Oggi, la gran parte della popolazione mondiale parla meno del 5% delle degli idiomi attualmente esistenti. Mentre il cinese, nelle sue numerose varianti, è quella più parlata, l'inglese è la lingua "franca" per antonomasia, utilizzata attualmente da quasi un miliardo di persone.

Numeri a parte, è importante essere consapevoli del fatto che le lingue sono molto più che strumenti per condividere informazioni in maniera ordinata ed efficace. Questa è solo la punta dell'iceberg. La nostra capacità di comunicazione verbale è legata allo sviluppo di processi cognitivi che hanno avuto un ruolo fondamentale nell'evoluzione umana e ci hanno resi quello che siamo: primati ciarlieri, ingegnosi (non sempre lungimiranti...) e ipersociali. La possibilità di tradurre in segni e suoni codificati (e come tali portatori di significati condivisi) non solo situazioni presenti, ma anche immagini mentali che descrivono il passato o elaborano il futuro, conferisce alle lingue una potenza che non ha rivali tra gli strumenti di comunicazione utilizzati dal (resto del) mondo animale. Ad esempio, ascoltando un racconto del passato, magari dalla voce di una persona autorevole (come vuole farvi immaginare la figura 4), non solo possiamo conoscere fatti che ignoravamo, ma anche riflettere e diventare consapevoli del significato di storie che prima avevamo sottovalutato e, magari, arrivare a guardare il mondo e perfino noi stessi con occhi diversi.

La straordinaria efficienza delle lingue nel veicolare concetti astratti e complessi è legata al fatto che le parole possono assumere il valore di simboli, rappresentazioni sintetiche e visuali di concetti, idee o informazioni che acquisiscono significato all'interno di un sistema di segni e convenzioni condivise. I simboli hanno anche la capacità di portare la nostra mente al di là della "semplice" rappresentazione statica del mondo fisico e contingente ed evocare perfino immagini in movimento. Quando, ad esempio, ascoltiamo la parola guerra nella nostra mente si possono animare degli eserciti che si scontrano o delle bombe che esplodono in città densamente popolate; quando invece la parola è pace, l'immagine mentale può essere quella di campane a festa e di persone che sciamano esultanti per le strade. In questo modo, parlare e ascoltare hanno effetti che vanno ben oltre il semplice scambio di informazioni: rendono possibile condividere esperienze reali o immaginarie, instaurare rapporti ancora più profondi con gli altri umani e costruire reti di relazioni nelle quali le parole possono veicolare fatti, conoscenze e cultura.

Ma c'è dell'altro: tutti gli esseri umani tramite la loro lingue possono comunicare anche sentimenti ed emozioni. Per fare questo, le parole e i loro significati simbolici

⁷³ Henshilwood Christopher S./d'Errico Francesco (eds.) (2011): *Homo symbolicus: the dawn of language, imagination and spirituality*. Amsterdam: Benjamins.



Figura 4. Donne e bambini ascoltano con devozione i racconti del capofamiglia (Wellcome Library, London)⁸.

si fondono con i gesti e le espressioni facciali, andando a costituire ciò che nel suo insieme definiamo “linguaggio umano”. Mentre, da una parte, combiniamo segnali verbali e non verbali rendendo le parole piene di significati e ne aumentiamo la potenza comunicativa, dall’altra, grazie a ciò che trasmettiamo utilizzando il nostro corpo, mettiamo in grado gli altri di leggere la nostra mente; vale a dire comprendere e interpretare gli stati d’animo e le intenzioni che si nascondono dietro alle parole. Come accade, quando, scrutando il suo volto e facendo attenzione a come si muove, riusciamo a percepire se e quanto chi ci sta parlando creda in quello che sta dicendo, o se abbia una reale intenzione di far seguire alle parole i fatti. Già da bambini, attraverso l’interazione linguistica con i genitori, i coetanei e chi si prende cura di noi, impariamo a comprendere e a utilizzare il linguaggio per esprimere pensieri e desideri e per interpretare le parole e le azioni degli altri. Diventando adulti, continuiamo ad affinare le nostre abilità linguistiche e a utilizzarle in modo più complesso e sofisticato.

Da un punto di vista sociale, il linguaggio umano facilita la condivisione e la negoziazione di significati tra le persone. Rende possibile adattare agli altri il nostro modo di comunicare, così da essere più efficaci anche nelle dinamiche interpersonali e sociali. Grazie a esso, inoltre, due o più persone possono condividere in maniera molto efficace l’attenzione su un oggetto o un fenomeno o un’idea, aumentando la

⁸ L0019232 A family group of women and children sitting listening” (Author: Wellcome Library, London). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_family_group_of_women_and_children_sitting_listening_to_a_Wellcome_L0019232.jpg.

loro comprensione reciproca, fino a creare empatia e a potenziare la spinta motivazionale. Grazie a questa “attenzione condivisa”, le persone acquisiscono una capacità di perseguire un certo scopo o realizzare un determinato risultato che va al di là della somma delle capacità individuali. E’ grazie ad essa che la nostra specie è riuscita a sviluppare comportamenti cooperativi complessi ed efficaci che hanno contribuito in modo decisivo al successo di *Homo sapiens* nel complesso gioco dell’evoluzione.

In definitiva, senza la nostra capacità di leggere la mente, la sola comunicazione verbale non sarebbe diventata uno strumento fondamentale, tanto nella nostra vita quotidiana, quanto nella nostra storia naturale.

Il DNA è il “grande libro della vita”

Esistono dei nessi che legano il DNA e le lingue? E quali sono? Incominciamo col dire che le nostre capacità cognitive, risiedono nell’azione coordinata di vaste reti cerebrali di neuroni e sono determinate da una complessa interazione tra fattori genetici e ambientali. Anche le basi genetiche del linguaggio sono molto complesse; non esiste un “gene del linguaggio” e nemmeno un gruppo ristretto di geni che possa essere sufficiente a svolgere questa funzione, mentre l’ambiente, inteso soprattutto come contesto sociale, ha un’importanza fondamentale. Basti pensare a quei bambini che, per diverse vicissitudini, perdono il contatto con il loro gruppo sociale e crescono “accuditi” da altre specie animali, quelli che spesso vengono definiti “bambini lupo”. Se il loro reinserimento nella società avviene dopo il periodo critico della crescita, essi non riescono più a sviluppare una piena capacità linguistica e, più in generale, manifestano gravi deficit di interazione sociale che non possono più essere recuperati. Pur con tutte queste limitazioni, le informazioni scritte nel patrimonio genetico hanno un ruolo essenziale, come dimostra il fatto che mutazioni che avvengono in determinati geni possono determinare conseguenze molto gravi per lo sviluppo delle capacità linguistiche.

Nonostante la nostra comprensione delle basi genetiche del linguaggio rimanga un campo di studio “in progress”, possiamo sin d’ora mettere a fuoco alcune importanti analogie dal punto di vista semantico tra DNA e lingue. Come queste ultime, anche il materiale ereditario possiede un suo codice, ovvero un insieme di regole che consentono la comunicazione e la traduzione delle informazioni stesse. Il modo in cui adenina, citosina, guanina e timina si dispongono in sequenza all’interno dei geni determina l’informazione contenuta nel DNA. Ogni sequenza di tre basi (la cosiddetta tripletta) corrisponde a un aminoacido, l’unità di base delle proteine. Le diverse combinazioni di nucleotidi nelle triplette corrispondono a venti diversi aminoacidi. Per esempio la tripletta TAT (timina-adenina-timina) codifica per la tirosina, aminoacido di partenza per la sintesi di importanti neurotrasmettitori come la dopamina e l’adrenalina.

Mentre le quattro basi nucleotidiche possono essere paragonate alle lettere e le singole triplette nucleotidiche alle parole, un insieme di più triplette che codificano per sequenze di aminoacidi possono diventare l’analogo delle frasi. Come potrebbe essere, in forma estremamente semplificata, una sequenza tirosina-alanina-glicina; l’alanina

è fondamentale per regolare il pH del sangue e dei fluidi corporei, mentre la glicina svolge un ruolo nel metabolismo dell'azoto.

Per attribuire un significato completo alle singole frasi di un discorso, è fondamentale comprendere come queste si connettono con le altre all'interno dei paragrafi. Anche le singole catene di aminoacidi assumono un significato biologico quando sono inserite in strutture più grandi, le proteine. Per fare un esempio che molti conosceranno, possiamo parlare per un attimo dell'emoglobina, la proteina che trasporta l'ossigeno dai polmoni al resto del corpo attraverso il sangue. Questa è composta da quattro diverse catene aminoacidiche che singolarmente non sono capaci di assolvere ad alcuna funzione, ma che legandosi tra loro formano una struttura tridimensionale complessa in grado di legare l'ossigeno nei polmoni e rilasciarlo nelle cellule. Proprio quello che serve affinché le diverse parti del corpo ricevano l'ossigeno di cui hanno bisogno per funzionare correttamente.

Tutte queste analogie tra lingue e DNA mettono in luce qualcosa di straordinario: il nostro materiale ereditario riesce a mantenere e trasmettere le istruzioni per la costruzione degli esseri viventi (un compito immane!) sfruttando un repertorio formato da sole quattro lettere (quante sono le diverse basi nucleotidiche) e venti parole (gli aminoacidi). E non solo. Ci accompagnano verso quella che è forse la più conosciuta metafora del DNA: il "grande libro della vita".

Magari potrà sembrare un po' troppo poetico per un "banale" insieme di zucchero, fosforo e azoto, ma l'accostamento funziona per diversi motivi. Abbiamo già detto del codice che, seppur con diverse modalità, accomuna lingue e DNA; questo permette al nostro materiale ereditario di archiviare, trasmettere e rendere "traducibili" le informazioni di cui è portatore. Come i libri sono organizzati in capitoli, il DNA è suddiviso in pacchetti discreti di informazione, i cromosomi. Come le conoscenze culturali possono passare da una generazione ad un'altra attraverso i libri, le istruzioni per la costruzione di proteine, cellule, tessuti ed organi sono trasmesse dal DNA dai genitori ai figli. Come i libri possono avere diverse edizioni o versioni, il DNA può essere modificato nel corso del tempo dalle mutazioni genetiche. E, per chiudere in bellezza, così come le storie e il nostro passato (e, in definitiva, anche la nostra identità) non potrebbero esistere oggi se racconti e testi scritti non ce li avessero conservati e tramandati, per nessun organismo vivente ci sarebbe la possibilità di riprodursi, crescere, svilupparsi e adattarsi all'ambiente senza quell'insieme di zucchero, fosforo e azoto. E noi, evidentemente, non saremmo qua a disquisire di geni e lingue. Non c'è che dire: il DNA è proprio il "grande libro della vita"!