



**Nota della redazione:** la nostra visione del mondo sarebbe alquanto povera se fosse limitata al Molto Grande e al Molto Piccolo, cioè ai soli due abissi di Pascal.

È necessario volgere lo sguardo, dopo Teilhard de Chardin, in direzione di un terzo abisso, quello della Complessità, che caratterizza l'opera *costruttiva* dei 'corpuscoli' di materia in evoluzione.

Nella materia vivente, il numero degli elementi coinvolti e delle loro reciproche interazioni è talmente smisurato da rendere impossibile una sua concreta rappresentazione. Il dott. Carlo Cirotto ci offre appunto l'opportunità di assumere consapevolezza degli astronomici livelli di complessità esistenti nella comunicazione cellulare. Il suo lavoro ha il pregio d'essere comprensibile anche ai non iniziati e suscita certamente delle 'domande' che oltrepassano il campo biologico. Le 'risposte' che possiamo dare, quali che siano, hanno notevole importanza per la concezione personale del mondo. Vi è tuttavia una conclusione che potrebbe essere a denominatore comune di tutti: il penoso riconoscimento che il proprio Io è posato, con lievità di farfalla, su un fragile universo d'inaudita complessità, da cui è *emerso all'essere* per una sola volta nell'intero Spazio-Tempo.

Insieme allo stupore di *esistere*, la maggiore conoscenza del mirabile 'edificio' che ci regge, potrebbe forse moderare la tendenza dell'Io a crescere in modo ipertrofico, talvolta sino al ridicolo.

## LA COMUNICAZIONE CELLULARE

Carlo Cirotto<sup>1</sup>

È forse per pigrizia o, più banalmente, per superficialità che non ci soffermiamo quasi mai a considerare i nostri organismi per quello che in realtà sono: complesse comunità di esseri viventi di grandezza microscopica, le cellule, le cui singole vite formano l'ordito della nostra stessa vita e ne determinano le caratteristiche. A nostro discarico può esserci il fatto che di una simile comunità non è possibile formarsi una immagine adeguata neanche facendo leva su tutta la nostra fantasia. Le grandezze che la contraddistinguono, infatti, sono totalmente al di fuori dell'ambito della nostra esperienza. Si prenda, ad esempio, il numero delle cellule che costituiscono un uomo di media corporatura. Se ne stimano intorno ai 75.000 miliardi. Nessuno, di sicuro, sa farsene un'immagine, neanche fantastica. E che dire, poi, dell'ordine estremo che regna nella loro disposizione spaziale e nel loro funzionamento? Tutte occupano posizioni ben definite e svolgono funzioni distinte per gruppi di specializzazione. In questo modo si configurano gruppi organizzati di cellule, e gruppi di gruppi, tessuti ed organi.

---

<sup>1</sup> È nato a Camerino nel 1944. Insegna "Citologia e Istologia" presso l'Università di Perugia. Ha svolto attività di didattica e ricerca presso le Università di Perugia e L'Aquila e presso il Laboratorio di Embriologia Molecolare del C.N.R. di Napoli. Si occupa di problemi riguardanti i processi del differenziamento embrionale a vari livelli di complessità, da quello molecolare a quello cellulare, a quello tissutale. Gli argomenti ai quali ha dedicato maggior attenzione sono il ricambio delle emoglobine, l'eritropoiesi e l'angiogenesi embrionali. È autore di oltre cento pubblicazioni scientifiche ed è co-autore di due volumi di divulgazione scientifica sull'ingegneria genetica e sulle implicazioni etiche delle sue applicazioni. (cirotto@unipg.it).

La complessità e l'ordine non regnano solo a livello cellulare e supracellulare ma anche a livello subcellulare. Consideriamo, come esempio, una qualsiasi cellula del nostro organismo. È una struttura estremamente complessa fatta da grosse molecole organiche capaci di svolgere funzioni diversificate con raffinata precisione. A seconda del tipo cellulare considerato, ci impareremo in strutture specifiche che costituiscono il fondamento delle varie "specializzazioni" cellulari. Così, ad esempio, le cellule muscolari sono specializzate a contrarsi e possono farlo grazie alla presenza, al loro interno, di sofisticate organizzazioni di proteine specifiche, che sono molecole organiche gigantesche fabbricate ad hoc dalle stesse cellule. Le cellule nervose, dal canto loro, sono iper-specializzate a ricevere stimoli dal loro ambiente, a trasformarli in impulsi elettrici e chimici e a trasferirli ad altre cellule nervose per l'opportuna conduzione o elaborazione. Anche le cellule nervose possono offrire questi raffinati servizi all'organismo grazie alla loro iper-complessa struttura proteica interna.

Strutture organizzate su molteplici livelli - molecole, cellule, tessuti, organi, apparati - concorrono a strutturare l'organismo, il quale si presenta, quindi, come costituito da un insieme di parti ordinatamente interrelate capaci di svolgere funzioni differenti, di elevata qualità, a vantaggio della totalità dell'organismo stesso.

L'organismo, però, non nasce adulto. Non nasce già in possesso di gruppi di cellule specializzate e pronte a svolgere la loro funzione. Al contrario, nasce come un'unica cellula (lo zigote), frutto della fusione dell'uovo e dello spermatozoo, che non può essere definita "specializzata" nel senso tradizionale del termine. È solo una cellula con grandi potenzialità. Infatti è capace, dividendosi, di originare cellule-figlie che a poco a poco, durante lo sviluppo embrionale, assumeranno la necessaria specializzazione.

Ci sono dei limiti a questa potenzialità, che sono poi quelli della stessa specie di appartenenza. Non ci si può aspettare che da uno zigote di topo si sviluppi un coniglio, né un cane. Potrà svilupparsi solo un topo con muscoli di topo e sistema nervoso di topo.

Ma torniamo ancora al nostro esempio dei muscoli e dei nervi dell'adulto. Ogni unità specialistica di tali sistemi deve occupare il posto giusto al tempo giusto e, cosa ancora più importante, le unità debbono comportarsi in maniera organicamente efficace. Nel nostro corpo, ad esempio, è di fondamentale importanza che i muscoli (fasci di cellule capaci di contrarsi) ed i nervi (fasci di cellule nervose) si formino in posizioni anatomicamente corrette tali da permettere l'instaurarsi di relazioni efficaci. È altrettanto fondamentale che, sia le cellule muscolari all'interno dei muscoli, sia le cellule nervose all'interno del sistema nervoso lavorino in maniera coordinata. Fallirebbe, ad esempio, un muscolo le cui cellule non si contraessero tutte in contemporanea. E parimenti non avremmo reazioni nervose regolari se ognuna delle cellule del sistema si attivasse a caso.

L'ordine, a qualsiasi livello di complessità organizzativa lo si consideri, comporta informazione. Il che è come dire che per essere instaurato l'ordine a livello subcellulare, cellulare, di tessuto, di organo, di organismo e di specie sono necessari "messaggi" adeguati che inducano uno zigote di topo a diventare topo, cellule indifferenziate a differenziarsi adeguatamente e gruppi di cellule del tessuto ad interagire in modo funzionalmente corretto.

Tutto quanto detto e gli esempi, banalissimi, forniti fanno intravedere di quale fitto intrico di scambi di informazioni-messaggi abbiano bisogno le cellule per sopravvivere e per funzionare al meglio. Hanno bisogno di ricevere messaggi da altre cellule loro contemporanee, ma anche dalle loro cellule madri e dalle loro progenitrici. Debbono, inoltre, esse stesse inviare messaggi ad altre unità. Questo andirivieni di scambi di informazioni tra cellule presuppone l'esistenza di adeguati messaggi e della capacità delle cellule sia di emetterli che di riceverli. C'è, in poche parole, tra le cellule del nostro organismo, come in quello di tutti gli altri organismi, una efficiente ed instancabile comunicazione.

I tipi di informazione che costituiscono l'oggetto di questa comunicazione sono tradizionalmente raggruppati in tre categorie: genetica, metabolica e nervosa. Senza il patrimonio originario di informazioni genetiche non saremmo uomini come siamo e senza i sistemi di comunicazione metabolica e nervosa, non potremmo vivere ed operare come facciamo.

### **Comunicazione genetica**

L'informazione genetica di un organismo consiste nell'esatta sequenza delle basi azotate (adenina, guanina, timina e citosina) contenute nelle molecole di DNA presenti in ogni sua cellula. Questa frase, dal sapore un po' sibillino per i non addetti ai lavori, può essere così tradotta in linguaggio più accessibile. Tutte le caratteristiche, strutturali e funzionali, di un organismo dipendono da adeguate proprietà delle sue cellule. Le cellule, dal canto loro, hanno la giusta struttura e possono svolgere le giuste funzioni grazie ad alcuni loro costituenti molecolari altamente specializzati: le proteine. A loro volta, le proteine funzionano correttamente se anche la loro struttura molecolare è corretta. Per fabbricare corrette molecole proteiche, la cellula si deve servire dell'informazione contenuta nel DNA, che la cellula stessa ha ricevuto in eredità, al momento della "nascita", dalla sua cellula-madre. Quest'ultima prima di dare origine a due cellule figlie, infatti, lo ha opportunamente duplicato ed ha lasciato in eredità ciascuna delle due copie identiche ad ognuna delle due cellule figlie.

È riduttivo, però, prendere in considerazione soltanto l'ultimo passaggio dell'informazione genetica e cioè quello dalla cellula madre alla cellula figlia. La cellula madre infatti l'ha ricevuta, a sua volta, dalla propria cellula madre e così via, indietro nel tempo, fino ai primordi della vita. L'informazione genetica viene quindi, in realtà, da molto lontano, giungendo fino a noi attraverso una lun-

ghissima catena di comunicazioni "testamentarie" che ogni generazione cellulare ha lasciato a quella successiva. Ovviamente, durante questo processo inimmaginabilmente lungo (durato probabilmente 3 miliardi e 800 milioni di anni), le molecole di DNA sono andate incontro ai più svariati tipi di incidenti di percorso che hanno modificato la loro struttura e, di conseguenza, anche le informazioni in essa contenute. Di tali variazioni casuali alcune, la stragrande maggioranza, sono risultate incompatibili con la vita stessa della cellula e ne hanno determinato la morte; altre, molte di meno, non avendo prodotto cambiamenti significativi, sono risultate neutrali; altre ancora, di eccezionale rarità, hanno portato a miglioramenti della vita cellulare e sono entrate a far parte, a pieno titolo, del messaggio genetico lasciato in eredità da una popolazione all'altra.

La storia della vita è la storia di una comunicazione che, nata con la vita stessa, si è dipanata con alterne vicende lungo i millenni facendo sì che venissero alla luce e si evolvessero innumerevoli generazioni cellulari tutte impegnate a tramandare la comunicazione stessa.

Oltre a questa comunicazione "verticale" per la quale ogni cellula riceve la sua informazione genetica dalla cellula madre e, attraverso di essa, dalle cellule delle generazioni passate, esiste una comunicazione genetica "orizzontale" attraverso la quale le cellule scambiano la propria informazione genetica, per dar luogo ad una progenie di origine mista. Ci sono almeno quattro diversi meccanismi mediante i quali si realizza questo scambio di informazioni. Tre sono specifici dei batteri, le forme più elementari di vita cellulare. Uno, la riproduzione sessuale, è invece tipico delle forme superiori. In esse, la nuova vita nasce dalla fusione di due gameti, uno femminile (l'uovo) ed uno maschile (lo spermatozoo) che, in questo modo, mettono in comune il loro DNA. Il processo dà origine, così, ad una progenie il cui patrimonio di informazione genetica proviene dal rimescolamento del patrimonio materno e di quello paterno.

Nella comunicazione genetica "orizzontale", la novità emerge ad ogni atto riproduttivo. Nella comunicazione genetica "verticale", invece, perché emerga una novità è necessario attendere un "incidente di percorso". Poiché è sull'emergere delle novità che si basa la plasticità delle specie e cioè la loro capacità ad evolversi, risulta evidente di quale portata rivoluzionaria sia stata l'apparizione, nel corso dell'evoluzione, della comunicazione genetica "orizzontale" accanto alla preesistente "verticale".

### **Comunicazione metabolica**

Al contrario della comunicazione genetica, la cui utile influenza si protrae per periodi di tempo molto più lunghi della vita delle singole cellule, la comunicazione metabolica interessa segmenti temporali molto più brevi.

Il meccanismo di questa comunicazione consiste nel rilascio di messaggi molecolari da parte di cellule "emittenti", nel loro trasporto fino a tutti i distretti del corpo ad opera dei fluidi corporei circolanti (per esempio il sangue o la linfa) e nella loro ricezione da parte di cellule-bersaglio capaci di riconoscerli. Gli ormoni, questo è il nome generico dato a tali molecole, sono un insieme molto vasto di tipi molecolari, che differiscono per grandezza, composizione e struttura a seconda del tipo di informazione trasportato.

Il significato biologico della comunicazione metabolica è fondamentalmente di due tipi.

Il primo consiste nel controllare l'ordinato sviluppo di animali e piante multicellulari. Questi organismi, come ho già sottolineato, sono comunità, altamente organizzate, di milioni o miliardi di cellule, tutte derivate da un'unica cellula (lo zigote) frutto della fusione di due gameti. Il loro numero va aumentando durante lo sviluppo grazie a successive divisioni cellulari. Anche le loro diverse specializzazioni compaiono in un ben definito ordine spazio-temporale. È così che si formano le cellule muscolari, quelle ossee, quelle sanguigne, quelle nervose e molte altre. L'organismo, infatti, è il frutto della ordinata collaborazione di gruppi di cellule capaci di svolgere funzioni specialistiche a vantaggio dell'intera comunità. Non si potrebbe definire organismo un insieme di cellule uguali, che riescono, sì, a sopravvivere e a svolgere le fondamentali funzioni metaboliche ma risultano incapaci di compiere servizi specifici a favore della comunità. Così come non ce la sentiremmo di definire società un gruppo umano in cui tutti siano mediocrementemente capaci di fare tutto, e non esistano categorie di persone che si sono specializzate a compiere in maniera egregia lavori specifici.

Buona parte del complesso lavoro della riproduzione e, soprattutto della specializzazione cellulare, che in termini tecnico si chiama differenziamento, è iniziato nel momento opportuno e diretto a buon fine dagli ormoni.

Il secondo significato assunto dalla comunicazione metabolica riguarda le modifiche che l'organismo apporta al suo ambiente interno come reazione a stimoli eccessivi provenienti dall'ambiente circostante.

Avviene con una certa frequenza che le caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente in cui l'organismo vive cambino così drasticamente da rendere difficile, se non impossibile, la stessa sopravvivenza dell'organismo. In questo caso scattano i meccanismi "omeostatici" che tendono a riportare le condizioni dell'ambiente interno dell'organismo entro valori più adatti alla vita. Un esempio farà comprendere, meglio di qualunque trattazione, il nocciolo della questione. È noto che la temperatura ottimale per la vita e la corretta funzionalità delle cellule del nostro organismo si aggira intorno ai 37° C. Ciò non vuol dire, però, che si sia costretti a passare la vita in una camera termostata. Al contrario, avviene spesso, per i più svariati motivi, che la temperatura ambientale salga al

di sopra, o scenda al di sotto, del valore ottimale, senza che ciò implichi necessariamente per noi malesseri particolari né tanto meno la morte. Ciò è dovuto all'attivazione di opportuni meccanismi omeostatici che riportano la temperatura interna dell'organismo a valori prossimi a quelli ideali. Così, se la temperatura esterna è troppo alta si attiveranno meccanismi di sudorazione e di iperventilazione polmonare, mentre se è troppo bassa compariranno brividi e pelle d'oca.

In questo complesso sistema di compensazioni, la comunicazione ormonale, insieme a quella nervosa, gioca un ruolo fondamentale. Gli ormoni, emessi da singole cellule o da gruppi di cellule a questo deputate, sono messaggi che raggiungono tutti i distretti dell'organismo, anche i più distanti, servendosi delle "vie d'acqua" dei suoi fluidi. Sono, un po', come i messaggi chiusi nelle bottiglie ed affidati dai naufraghi alle correnti del mare. Non è possibile, in alcun modo, predeterminare il loro cammino e chi li invia può solo affidarsi alla speranza che, prima o poi, essi giungano a qualcuno capace di riceverli. Anche le cellule che inviano messaggi ormonali non possono influenzarne il percorso. Si limitano a rilasciare nel mezzo liquido corporeo molte molecole-messaggio, tutte identiche, in modo che ci sia una probabilità finita che almeno una di esse giunga a destinazione. Le cellule a cui questi messaggi sono diretti possono essere localizzate in regioni dell'organismo anche molto distanti dal punto di partenza del messaggio stesso. Ciò significa che il messaggio, prima della cellula a cui è diretto, ha modo di incontrare un'infinità di altre cellule che non sono potenzialmente interessate ad esso. Come farà l'ormone-messaggio a non disperdere inutilmente il suo contenuto di informazione cedendolo a cellule ad esso non interessate? Utilizza un escamotage analogo a quello in uso nelle radio comunicazioni umane. Prendiamo, ad esempio, un messaggio riservato emesso da un radio-amatore e diretto ad un suo amico che abita molto lontano. Come fare perché il messaggio resti riservato e non giunga alle orecchie indiscrete di tutti i radio-ascoltatori della zona? Semplice. È sufficiente che il radio-amatore invii il suo messaggio su una determinata lunghezza d'onda sulla quale è sintonizzata la radio ricevente dell'amico.

Traduciamo ora il discorso nei termini molecolari dell'attività ormonale. La cellula emittente invia i suoi messaggi sotto forma di molecole che colpiscono indiscriminatamente tutte le cellule che incontrano sul loro cammino, come le onde radio dell'esempio colpiscono indifferentemente tutte le antenne. Di tutte queste cellule però solo alcune, quelle "bersaglio", sono attrezzate a riconoscere l'ormone. Per tutte le altre, le molecole ormonali che passano nelle adiacenze non rivestono alcun significato.

Le cellule bersaglio sono sensibili al corrispettivo ormone perché sono attrezzate a riconoscerlo. Sono dotate, sulla loro superficie, di piccole cavità, come nicchie, le cui pareti si adattano alla perfezione alle molecole ormonali, un po' come la serratura si adatta alla sua chiave ed un guanto alla

sua mano. Questo gioco ad incastro è talmente raffinato e perfetto che nessuna altra molecola, all'infuori di quella prevista, può entrare nella nicchia ed adattarsi alle sue pareti. Va così che solo un certo tipo di cellule è capace di captare un certo tipo di messaggio.

Una volta che l'ormone-messaggio è stato captato sulla superficie della cellula ricevente, la sua stessa presenza nella nicchia, fino a quel momento vuota, scatena una cascata di reazioni che sono la risposta della cellula al messaggio o, se si preferisce, costituiscono l'atto di obbedienza della cellula all'ordine ricevuto.

Il tempo intercorso tra l'emissione del messaggio e la sua ricezione dipende fondamentalmente da due fattori: dalla velocità con cui i messaggi-molecole diffondono attraverso il mezzo liquido intercellulare e dalla distanza tra la cellula emittente e quella ricevente. La velocità di diffusione molecolare in un liquido è piuttosto lenta. Ha bisogno di alcune ore, per esempio, una qualsiasi molecola per diffondere da un capo all'altro del corpo di un animale piccolo come una mosca. Le ore diventano giorni e settimane se si sale con la taglia dell'animale considerato.

Gli intervalli temporali tipici della comunicazione metabolica sono estremamente piccoli se confrontati con quelli che scandiscono gli eventi della comunicazione genetica. Pur tuttavia un animale non potrebbe fare totalmente conto su di essi per la propria sopravvivenza. La maggior parte degli animali, infatti, per mantenersi in vita deve poter reagire a certi eventi del suo stesso ambiente in tempi dell'ordine di secondi o addirittura di millesimi di secondo. Per far ciò deve poter contare su di un altro tipo di comunicazione intercellulare, particolarmente efficiente e veloce: la comunicazione nervosa.

### **Comunicazione nervosa**

L'informazione nervosa dipende dall'attività di un particolare tipo di cellula posseduta da tutti gli animali multicellulari: la cellula nervosa o "neurone". La funzione biologica della comunicazione dell'informazione nervosa, svolta dai neuroni, è quella di generare le rapide reazioni stimolo-risposta che danno vita al comportamento animale.

I neuroni sono provvisti di due caratteristiche che li rendono particolarmente adatti a questo scopo. In primo luogo, a differenza di quasi tutti gli altri tipi di cellule, essi possiedono delle ramificazioni molto lunghe e sottili, per mezzo delle quali raggiungono altri neuroni posti lontano e con i quali formano una trama di connessioni che si estende a tutto il corpo dell'animale. In secondo luogo, a differenza di quasi tutti i tipi di cellule, i neuroni sono capaci di produrre segnali elettrici in risposta a stimoli di natura chimica o fisica. Essi propagano, poi, questi segnali lungo le ramificazioni

e li trasmettono ai neuroni da esse raggiunti. La trama delle connessioni dei neuroni ed il movimento dei segnali elettrici che in essa avviene costituiscono il sistema nervoso.

Il sistema nervoso si divide in tre parti: una parte ricevente, o "sensoriale", specializzata a comunicare all'animale informazioni relative al suo ambiente esterno o interno; una parte "centrale" deputata ad elaborare le informazioni ricevute dal sistema sensoriale e decidere la risposta più opportuna; una parte emittente o "effettrice", che comunica alla periferia le decisioni prese dal sistema centrale, determinandone l'attuazione. Un esempio classico è quello di una preda che veda il suo predatore. L'immagine di quest'ultimo giunge ai neuroni sensoriali degli occhi della preda e da questi, attraverso i nervi ottici, la comunicazione passa al sistema centrale. Qui l'immagine viene elaborata, il predatore è identificato e, per mezzo del sistema nervoso efferente, viene comunicato ai muscoli delle zampe di attivarsi opportunamente.

Comunicazioni in ingresso, quindi, e comunicazioni in uscita. Tra l'uno e l'altro percorso, poi, c'è la parte più importante: l'elaborazione delle informazioni che è, essa stessa, un iper-complesso scambio di messaggi.

Considerando l'esempio della preda e del predatore, si comprende quanto sia importante la velocità e la precisione in questo tipo di comunicazioni. Ritardi anche piccoli nella reazione di fuga potrebbero significare la morte e, parimenti, informazioni approssimative potrebbero essere altrettanto letali. Quali sono, allora, i meccanismi biologici che assicurano una tale efficienza di scambio di informazioni?

I neuroni, come sottolineato qui sopra, sono capaci di produrre segnali elettrici in risposta a stimoli di diversa natura, depolarizzando momentaneamente (per uno o due millesimi di secondo) la loro regione stimolata. L'impulso elettrico si propaga, poi, fino alle parti terminali delle ramificazioni ad una velocità di circa 100 metri al secondo. Una via nervosa è in genere composta non da un solo neurone, ma da una catena di più neuroni, ognuno dei quali riceve il messaggio dal neurone che lo precede e lo trasmette a quello che segue. Poiché il messaggio è un impulso elettrico, verrebbe spontaneo pensare che il suo passaggio da un neurone all'altro avvenga per contatto elettrico e che, quindi, la comunicazione neurone-neurone sia essa stessa di natura elettrica. In realtà non è così. I neuroni che costituiscono il sistema nervoso, infatti, non si toccano l'un con l'altro, ma anche nei punti in cui sembrerebbero entrare in contatto, le "sinapsi", rimane pur sempre tra di essi uno spazio (da 26 a 40 milionesimi di millimetro) che li rende elettricamente isolati. Attraverso questo piccolissimo spazio la comunicazione neurone-neurone è assicurata da un meccanismo di diffusione molecolare analogo a quello degli ormoni. Vale la pena di entrare un po' di più nel particolare. Immaginiamo che un impulso elettrico attraversi il primo neurone della catena e giunga fino alla e-



stremità delle sue ramificazioni. Giunto lì, provoca la liberazione di circa 3 milioni di molecole-segnale, i "neurotrasmettitori", nello spazio sinaptico che sta tra il primo ed il secondo neurone. Dopo un viaggio di circa 2 millesimi di secondo, queste molecole arrivano sulla superficie del secondo neurone dove vengono riconosciute e legate da recettori specifici. Il legame del neurotrasmettitore emesso dal primo neurone con il corrispondente recettore del secondo neurone determina, su quest'ultimo, l'insorgere di un nuovo impulso elettrico. Il segnale, poi, si propagherà fino alle estremità del secondo neurone, provocherà un nuovo rilascio di neurotrasmettitori, che, a loro volta, attiveranno il terzo neurone, e così via.

L'interposizione di comunicazioni di tipo chimico tra i neuroni della catena sembra essere, a prima vista, controproducente in quanto rallenta il processo globale di trasmissione del messaggio. In realtà, la perdita in velocità è abbondantemente ripagata dall'emergere di una possibilità del tutto nuova, quella di modulare il segnale attraverso i neurotrasmettitori, facendo sì che possa assumere una vasta gamma di intensità. Ed è su questa modulazione della comunicazione interneuronale che si basa l'attività del cervello, la parte di gran lunga più importante del sistema nervoso centrale.

Giunti a questo punto, la mia impresa si fa veramente ardua. Dovrei abbandonare la trattazione delle singole comunicazioni interneuronali, per passare ad un livello superiore di descrizione, presentando le configurazioni globali dei flussi di comunicazione che interessano la totalità dei neuroni dell'intero cervello. Sono queste configurazioni globali, infatti, più che le singole unità che le compongono, a costituire il fondamento fisiologico di tutto ciò che ci fa essere quello che siamo. Per usare un parallelo musicale, ciò che è importante non è ciò che cantano i singoli coristi, ma il coro nella sua globalità. E qui ci si scontra con difficoltà di ogni genere: descrittive, sperimentali, interpretative, e tante altre ancora. Il motivo è molto semplice. Il cervello è in assoluto la struttura più complessa dell'universo conosciuto. Un semplicissimo calcolo renderà ragione della mia affermazione. Il cervello umano è costituito da circa 100 miliardi di neuroni. In media ogni neurone dialoga con gli altri attraverso 1000 sinapsi. Il numero totale delle reciproche connessioni sinaptiche è quindi 100 mila miliardi. La configurazione globale di questi 100 mila miliardi di connessioni è di fondamentale importanza per l'individuo che la possiede perché è essa che determina il modo in cui il cervello reagisce alle informazioni sensoriali, risponde agli stati emotivi, pianifica il suo comportamento futuro eccetera. Sappiamo calcolare quante diverse smazzate di bridge possono essere distribuite usando un normale mazzo di 52 carte: abbastanza da occupare svariate vite del giocatore più incallito. Si provi ora a pensare quante "smazzate" possono essere distribuite dal ben più grande "mazzo" cerebrale, con i suoi 100 mila miliardi di connessioni sinaptiche modificabili. Non è difficile calcolare la risposta. Assumendo, con un margine di cautela, che ogni connessione sinaptica possa avere uno qualunque di 10 possibili gradi di intensità, il cervello ha a sua disposizione un

numero totale di possibili configurazioni distinte che è pari a 10 elevato a 100 mila miliardi, cioè  $10^{100.000.000.000.000}$ . Si provi ora a confrontare questa cifra con quei miserabili  $10^{87}$  metri cubi che rappresentano la stima corrente del volume dell'intero universo astronomico!

Questa è la motivazione che mi ha spinto a sorvolare sull'argomento della configurazione globale delle comunicazioni interne cerebrali, facendomelo definire "arduo". Spero che il lettore mi comprenda e ... non me ne voglia, avendo comunque ormai compreso che il benessere ed il funzionamento unitario dell'organismo dipendono in maniera diretta dal benessere e dalla concordia operativa di un numero enorme di componenti. L'ordine, a qualsiasi livello di complessità organizzativa lo si consideri, comporta informazione, e quindi comunicazione, tra di essi. Questa affermazione sembra, a prima vista, ovvia. Quando però ci domandiamo in che modo questo straordinario ordine venga raggiunto e mantenuto nel corso del tempo ci troviamo di fronte ad uno, forse il più grande, dei misteri della vita...

## Fonti bibliografiche

### Riviste scientifiche:

"Le Scienze" (Milano), "Nature" (London), "New Scientist" (London), "Rivista di Biologia/Biology Forum" (Perugia), "Science" (Washington), "Darwin" (Roma), "The Scientist" (Philadelphia).

### Testi:

Alberts B., Bray D., Lewis J., Raff M., Roberts K., Watson J.D., *Biologia Molecolare della Cellula*, Zanichelli, Bologna 2004.

Carroll S., Grenier J., Weatherbee S., *Dal DNA alla diversità*, Zanichelli, Bologna 2004.

Rose S., *Linee di vita*, Garzanti, Milano 2001.

Margulis L., Sagan D., *What is Life?*, University of California Press, Berkeley - Los Angeles 2003.

Von Baeyer H., *Informazione*, Dedalo, Bologna 2005.

Rose S., *Il cervello del ventunesimo secolo*, Codice, Torino 2005.

Vincent J.D., , *Viaggio straordinario al centro del cervello*, Ponte alle Grazie, Milano 2008.

Queste letture sono consigliate anche a coloro che vogliono approfondire l'argomento.