
Lo stato vivente della materia

Marco Buiatti

In the previous issue we published in the focus section some of the many speeches that animated the study day "Marcello Buiatti: a legacy for the future" held in Pisa on 13 May 2022 in memory of the geneticist who died in October 2020. As promised, we continue in this number by proposing the interesting contribution of Marco Buiatti, son and collaborator of Marcello.

Keywords: *Living state of matter, Neonatal stimuli*

Prima di tutto come figlio ci tengo a dedicare un ringraziamento, come mia mamma ha già detto stamattina, a Elena, a Maurizio, a Renato e Alessandro che hanno promosso e organizzato in primo luogo questa giornata con noi e senza i quali sicuramente questa giornata non avrebbe avuto luogo. Ringrazio tutti i relatori, tutti quelli che sono intervenuti e tutto il pubblico, e anche quelli che non hanno potuto venire in presenza e che ci seguono via streaming.

Però sono qui più in veste di collaboratore di mio padre che di figlio e in questa veste vorrei parlarvi di un aspetto del suo lavoro che è diventato sempre più dominante negli ultimi trent'anni della sua carriera. La sua domanda di base era una domanda fondamentale: cosa caratterizza gli esseri viventi? Cosa li rende specifici e diversi dalla materia non vivente? Il suo libro *Lo Stato vivente della materia* è in questo senso molto significativo. Mio padre era molto affascinato dalla potenza esplicativa e quantitativa della matematica e della fisica nello studio sia del mondo fisico che in quello degli esseri viventi. Per questo ha intitolato questo libro *Lo Stato vivente della materia*: lo immaginava proprio come uno stato analogo a quelli che sono stati ben definiti dalla fisica classica: lo stato liquido, lo stato gassoso e lo stato solido. In parallelo al libro, ha scritto con me un articolo che ha lo stesso titolo, *The Living State of Matter*, in cui ho cercato di aiutarlo con la mia competenza di allora giovane fisico appena laureato per dare una definizione più precisa di alcuni punti fondamentali che sicuramente caratterizzano gli esseri viventi e non gli esseri non viventi. In occasione di questa giornata ho ripreso questo



articolo (Biology Forum 2001) cercando di sintetizzare i punti fondamentali. Ne ho scelti sei, da leggere in sequenza, ognuno parte da quello precedente per aggiungere un aspetto nuovo.

Il primo è che, rispetto ai sistemi fisici che si descrivono con la termodinamica classica, i sistemi viventi sono *sistemi aperti*, cioè scambiano continuamente informazioni, energia e talvolta anche materia con l'ambiente esterno.

Allo stesso tempo (secondo punto) questi sistemi sono *compartimentati*, cioè dotati di una struttura che è fondamentale perché gli elementi di questi sistemi siano fisicamente abbastanza vicini per interagire tra di loro. Tengo a precisare che quando mio padre parlava di *elementi*, anche se partiva dal DNA perché la genetica era la sua disciplina, intendeva il termine in senso largo: potevano essere le cellule, i tessuti, gli organi e persino gli organismi che interagiscono gli uni con gli altri.

Terzo punto: per interagire fra di loro questi elementi devono riconoscersi. Questo è un *leitmotiv* a cui mio padre teneva moltissimo. Tutto il materiale biologico all'interno della cellula per interagire con altri materiali molto diversi deve trovare un modo di riconoscerli. Una volta che si riconoscono, interagiscono tra di loro.

Quarto punto: due elementi che interagiscono formano un elemento nuovo che non è la somma dei due elementi iniziali. Mio padre teneva davvero molto a questo concetto, anche negli ultimissimi anni della sua vita: $A + B$ non è uguale ad AB . È un concetto tanto semplice quanto fondamentale. Elementi diversi si mettono insieme, interagiscono e formano delle cose nuove.

Piano piano questa catena di interazione si propaga tra più elementi e su scale spaziali e temporali sempre più grandi. Pensiamo alle cellule che si mettono insieme per fare un tessuto, questo tessuto fa un organo, quest'organo interagisce con altri organi e fa tutto l'organismo. Il quinto punto riguarda proprio questa struttura gerarchica caratteristica degli esseri viventi.

Ma come si forma? Come si sviluppano gli esseri viventi, sfruttando il fatto che sono sistemi aperti e che scambiano continuamente energia e informazioni con l'esterno? Ecco l'ultimo punto, di cui

parlerò anche più avanti. Come cambiano i sistemi viventi? Come interagiscono col mondo esterno? Essi interagiscono con *variazioni correlate*. Variazioni correlate è un termine che mio padre ha sempre tenuto a dire di aver preso da Darwin: non è che ad ogni cambiamento dell'ambiente gli esseri viventi si trasformano completamente: nel cambiamento devono comunque mantenere gran parte della loro struttura iniziale, perché questa permette loro di mantenere le funzionalità già acquisite. Quindi l'organismo da una parte si sviluppa integrando la variabilità del mondo esterno, ma dall'altra mantiene una struttura iniziale che viene conservata, in una specie di continuo compromesso che permette la crescita armoniosa della vita. Ora proseguirò il mio intervento seguendo l'approccio che io e mia mamma abbiamo condiviso quando abbiamo ideato, insieme agli altri organizzatori, questa giornata. L'idea è non solo celebrare il mio babbo per il lavoro che ha fatto, ma anche vedere in quali campi sono fiorite le sue idee. Riguardo a questo vi rivelerò una piccola sorpresa alla fine del mio intervento.

Vi propongo due brevi esempi dal mio lavoro di neurofisico (un fisico convertito alle neuroscienze) in cui emerge molto chiaramente "lo stato vivente della materia". Entrambi gli esempi riguardano lo studio del cervello, forse il sistema più complesso che conosciamo. Il primo è relativo alla *cognizione sociale*. Noi esseri umani siamo animali molto sociali, viviamo in relazione con gli altri, i nostri genitori, la nostra famiglia, le persone che ci circondano. E per stare in relazione con gli altri dobbiamo costruire piano piano una cognizione sociale, una capacità in cui siamo straordinari. Siamo infatti molto bravi a riconoscere chi sono le altre persone, cosa pensano, cosa si aspettano da noi. Nell'ambito delle neuroscienze cognitive è provato che una funzione fondamentale per relazionarsi con le altre persone è il riconoscimento dei volti. Negli ultimi vent'anni, con l'avvento della risonanza magnetica funzionale e di altri metodi di neuroimmagini, abbiamo capito molto bene quali sono le aree cerebrali che si occupano dell'elaborazione dei volti. Sono aree distribuite, ma che ruotano intorno a un'area principale nella

zona occipito-temporale. Un'area molto riproducibile, indipendentemente dalle culture e dall'età. Ma da dove viene questo modulo funzionale? Abbiamo acquisito questa capacità con l'esperienza oppure ha origini precedenti? Per capirlo, io ed altri ricercatori (tra cui mia moglie Manuela Piazza) abbiamo studiato questa capacità negli umani che hanno meno esperienza di tutti, i neonati. Sappiamo già che i neonati, anche a pochissimi minuti di vita, sono più attratti dai visi delle persone che da qualsiasi altro tipo di oggetto. E allora ci siamo chiesti se questo modulo funzionale, ben identificato negli adulti, sia già presente nei neonati prima che abbiano esperienza visiva. Abbiamo registrato l'attività cerebrale tramite elettroencefalogramma dei neonati nel reparto maternità dell'ospedale di Rovereto presentando loro delle facce stilizzate, due punti per gli occhi e uno per la bocca, confrontandole con uno stimolo di controllo molto simile al primo tranne che per l'orientamento invertito dei tre puntini, grazie al quale lo stimolo non corrisponde più a una faccia. Abbiamo quindi identificato un'area cerebrale che risponde molto di più ai volti che ai non-volti¹. Questa regione è proprio la stessa regione specializzata per il riconoscimento dei volti negli adulti, una predisposizione probabilmente sviluppata durante l'evoluzione, che potrebbe quindi avere anche una base genetica. Questo è un esempio della *variazione correlata* di cui vi ho parlato prima: esiste una funzione di base, la capacità di riconoscimento di volti, che evolutivamente è stato conveniente mantenere nello sviluppo di qualsiasi essere umano; tutti i cambiamenti che ci hanno permesso lo sviluppo della cognizione sociale si sono basati su questa predisposizione iniziale, che si mantiene durante lo sviluppo di ogni individuo. Secondo esempio. Negli ultimi vent'anni è stato scoperto – una scoperta che è valse un premio Nobel – che nel cervello sia degli esseri umani che

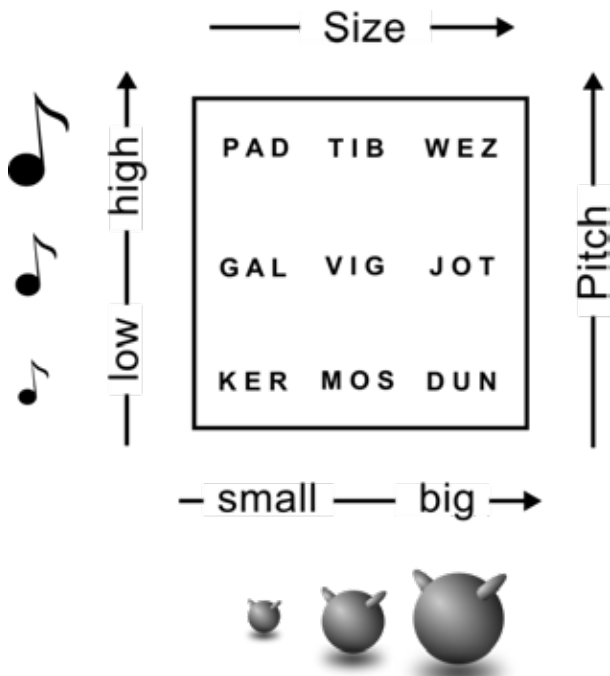
dei roditori ci sono diverse cellule che permettono capacità incredibili di navigazione spaziale. Ci sono cellule nell'ippocampo che si attivano quando si è in una certa posizione nello spazio, e poi – scoperta ancor più intrigante – ci sono cellule nella corteccia entorinale (contigua all'ippocampo), dette *cellule griglia*, che rappresentano appunto delle “griglie” o reti spaziali, di forma esagonale, e si attivano al passaggio nei nodi della griglia. Questa creazione incredibile del cervello permette di navigare, ad esempio, attraverso una città, identificando le relazioni spaziali tra le vie, i palazzi, le piazze che conosciamo per costruire la mappa della città. Adesso pensate al mondo dei nostri pensieri, dei nostri concetti. C'è chi ha proposto che, quando pensiamo alle relazioni tra i concetti che usiamo, spesso usiamo delle metafore spaziali. Ad esempio si può dire di una persona che mi è più vicina per dire che mi è più cara, o più lontana per dire che mi è indifferente. Si può anche associare lo spazio alla similarità tra significati: una pecora è più vicina a una capra che a una formica. E se ci pensate questa metafora spaziale si usa tantissimo. Allora c'è chi ha pensato che non si



Registrazione elettroencefalografica di un neonato presso la Neonatal Neuroimaging Unit del Centro Interdipartimentale Mente e Cervello dell'Ospedale di Rovereto (TN)

1. Buiatti M, Di Giorgio E, Piazza M, Vallortigara G, *Cortical route for facelike pattern processing in human newborns*, PNAS 2019.

tratta solo una metafora: la rappresentazione delle relazioni tra concetti potrebbe basarsi sugli stessi neuroni che servono alla navigazione nello spazio. Questo è uno studio ideato da mia moglie, Manuela Piazza, inventandosi dei “concetti” nuovi: animaletti che possono essere più piccoli o grandi e possono avere un verso che ha un tono alto e un tono basso; ha associato a questi animaletti delle parole inventate, e poi ha presentato queste parole a dei soggetti adulti nella risonanza magnetica funzionale.



Stimoli utilizzati per lo studio pubblicato in Viganò et al., 2021: concetti di "animaletti" inventati di tre dimensioni diverse e che emettono suoni con tre toni diversi.

La domanda era: passando da una parola all'altra, navigando cioè in questo spazio concettuale creato nella testa dei soggetti che partecipavano allo studio, si ritrova lo stesso tipo di codice neurale nella stessa area cerebrale che si trova quando si naviga nello spazio fisico? Utilizzando un'analisi

dei dati basata su un modello che riproduce quel codice neurale, abbiamo dimostrato che è proprio così! Questo è un secondo esempio di come il nostro cervello, basandosi su una funzione di base (la navigazione spaziale), riesce a creare una nuova funzione, il sistema neurale che rappresenta la relazione tra i concetti. Questo concetto in neuroscienze si chiama “riciclaggio neurale”, secondo me perfettamente compatibile con il concetto di *variazioni correlate*.

Questi sono due esempi di dove si ritrovano alcune delle idee che mio padre ha proposto in maniera totalmente pionieristica già alla fine degli anni '80. Altri esempi sono emersi dai relatori che mi hanno preceduto, sottolineando un approccio che è per sua natura multidisciplinare: ci vuole l'osservazione, ci vuole la conoscenza del sistema biologico, ma ci vuole anche la capacità di modellizzazione, di quantificazione.

E allora qui introduciamo l'ultimo punto, la sorpresa che vi ho preannunciato. Un giorno mia mamma, nell'ottica di pensare questa giornata verso il futuro, ha detto: “a me piacerebbe promuovere un premio di laurea intitolato a Marcello”. Ne abbiamo parlato insieme e abbiamo pensato che sarebbe bello istituirlo, proprio per promuovere lo studio dello *stato vivente della materia*. Tramite Manuela Giovannetti, ho parlato con Riccardo Mannella, fisico che fa parte del CISSC (Centro Interdipartimentale per lo Studio dei Sistemi Complessi), e poi con Roberto Marangoni, attuale direttore del CISSC. Ci è sembrato che il CISSC sia proprio il contesto migliore per istituire questo premio. Potranno partecipare laureate e laureati provenienti da diverse discipline come matematica, fisica, biologia, neuroscienze. La speranza è che l'approccio interdisciplinare per lo studio del mondo vivente immaginato da mio babbo continui e fiorisca nelle nuove generazioni. ●