

ESITAZIONI TEMPORALI

Ongakuaw a.k.a. Andrea Ferrara¹

Neurobiologia della percezione temporale

La percezione del tempo negli esseri viventi, nella sua connessione con il rapporto di causalità dei fenomeni a cui essa presiede, è senza dubbio uno dei fattori più importanti di adattamento all'ambiente e sopravvivenza. Essa dunque riveste un ruolo centrale nell'ambito della evoluzione di tutte le specie e particolarmente di quella umana. Per noi è istintivo saper stimare e prevedere intervalli temporali con una precisione sufficientemente accurata per l'azione che stiamo compiendo. Tuttavia la neurobiologia ad oggi ci offre solo risposte incomplete sulle modalità con cui il cervello riesce a classificare intervalli di tempo differenti. Quattro sono le scale temporali ritenute rilevanti per i comportamenti umani: i microsecondi, i millisecondi, i secondi e i ritmi circadiani (giornalieri). Mentre per questi ultimi abbiamo chiare indicazioni che la struttura addetta alla loro registrazione sia il nucleo soprachiasmatico dell'ipotalamo, per gli altri tre tipi di intervalli più brevi si ipotizza invece che vengano registrati da una rete distribuita di neuroni. Risultati di esperimenti su pazienti con vari disturbi della percezione degli intervalli temporali dell'ordine o minori del secondo, infatti, sembrano escludere la possibilità che esista un unico meccanismo di timing per tutti gli ordini di durata temporale che interessano l'uomo.

Tempi umani e tempi naturali

Al di là della nostra percezione psicologica del tempo, che concediamo essere mediata ed in parte distorta dalla nostra ricezione neuronale, potremmo essere convinti che in principio esista un tempo "assoluto", misurato da un orologio perfetto. Questa illusione sembra rivelarsi sempre più tale man mano che le ricerche scientifiche nel campo procedono. In primo luogo è necessario ricordare che le scale di tempo che contraddistinguono l'universo nel suo insieme si estendono su intervalli infinitamente più grandi e più piccoli di quelli che noi umani possiamo esperire. L'intervallo temporale fisico più lungo che possiamo misurare è l'età dell'Universo stesso, stimata ora con notevole precisione in 13.66 miliardi di anni; l'età della Terra è di 4.54 miliardi di anni. A questi tempi estremamente lunghi si contrappongono quelli infinitesimi che scandiscono l'evolvere della materia a livello degli atomi e dei suoi costituenti ultimi, le particelle fondamentali. Le vibrazioni atomiche che usiamo per controllare gli orologi atomici corrispondono ad intervalli temporali di circa 1 miliardesimo di secondo. L'unità di tempo più piccola finora misurata in laboratorio è di un *attosecondo*, ossia un miliardesimo di miliardesimo di secondo. Per quanto questa durata ci sembri stupefacente per la sua brevità, essa è 10^{25} (cioè 10 milioni di miliardi di miliardi) volte più grande dell'unità di tempo fondamentale, il cosiddetto tempo di Planck, pari a 10^{-44} secondi.

¹ Scuola Normale Superiore, Pisa, Italy. Sito web: www.ongakuaw.eu

Il tempo caotico

Cosa determina questo intervallo di tempo ultimo e indivisibile in natura ? Il fatto che su questi tempi, e conseguentemente su distanze, così piccole la forza di gravità diventa talmente forte che la struttura dello spazio-tempo si distorce e si frammenta passando da una sequenza continua ad una granulosa. Così come un insieme di punti allineati visti da lontano formano una linea, ma appaiono come punti discreti se guardati con un microscopio, lo stesso accade al tempo se misurato sull'intervallo ultimo di Planck. In aggiunta, come risultato del principio di indeterminazione di Heisenberg, il tempo non ha più una direzione precisa, che ci permette di seguire il tramutarsi del futuro nel presente e del presente nel passato in una sequenza ordinata di eventi. Al contrario, il tempo (e lo spazio, a cui esso è indissolubilmente legato) diventa un ribollire caotico di bolle che si creano e si distruggono incessantemente, come la schiuma sulla superficie di un liquido in ebollizione. Potremmo dire che in queste condizioni peculiari il tempo "*esita*" e non prende una direzione definita. Nonostante la teoria della relatività generale di Einstein ci abbia fatto capire come la rappresentazione corretta del nostro Universo corrisponda ad uno spazio-tempo a quattro dimensioni equivalenti (tre spaziali e una temporale), certi aspetti del tempo pongono ancora questioni assai profonde ed insolute. Se il tempo è una coordinata del tutto equivalente alle tre coordinate spaziali, ci troviamo di fronte ad un possibile paradosso. Se supponiamo di trovarci a Firenze in un certo istante, non dubitiamo del fatto che, ad esempio il Colosseo o la Torre di Pisa, continuino ad esistere nello stesso istante anche se poste in luoghi diversi da quello in cui ci troviamo. Se applicassimo parallelamente lo stesso concetto alla coordinata temporale, concluderemmo che non solo il passato (il che non ci disturba particolarmente), ma *anche il futuro* già esistano. Il paradosso consiste nel fatto che il futuro di ognuno di noi e del cosmo intero attendano solo di essere scoperti ma esistano indipendentemente dal fatto che noi prima o poi li raggiungiamo. Questo concetto, benché formalmente discendente dalla teoria della relatività che non risulta essere inficiata da nessun esperimento o test a cui è stata sottoposta e quindi dobbiamo considerare valida, è molto sorprendente e ci porta a mettere in discussione l'esistenza stessa del concetto di tempo. Ci disturba in quanto si oppone alla nostra percezione che non solo il tempo abbia una direzione univoca, dal passato al futuro, ma anche che il futuro non esista ancora, debba ancora farsi. Lo spazio invece sembra esistere in tutte le direzioni, e sta solo alla nostra scelta se viaggiare per raggiungere una certa posizione piuttosto che un'altra. Per il tempo, invece, abbiamo la sensazione di essere sul bordo di un nulla a venire, avendo alle spalle gli enormi territori di un passato che non possiamo più visitare.

Entropia e la freccia del tempo

Perché dunque il tempo ha una direzione preferenziale dal passato verso il futuro - attraverso il presente - quando lo misuriamo su intervalli molto più lunghi di quello del tempo di Planck ? In altre parole, ci chiediamo perché le esitazioni del tempo non avvengano anche sui tempi, ancorché piccolissimi, che possiamo misurare. Il tempo procede spedito (a velocità percepita come variabile, ne discuteremo in seguito) ma sempre in una direzione, tanto che

spesso gli scienziati usano il termine "freccia del tempo" per indicarne l'ineluttabile moto verso il futuro che non può essere modificato. Per capire meglio questo fatto dobbiamo rivolgerci alla termodinamica ed introdurre una quantità fisica detta *entropia*. A tutti noi è noto lo spiacevole evento con cui a seguito di una collisione la nostra auto va in mille pezzi. Nessuno di noi però è mai stato testimone del processo inverso per cui i frantumi del nostro mezzo miracolosamente si ricompattino nella loro posizione iniziale e la nostra auto ritorni di nuovo come prima dell'incidente. La ragione è che questo processo è (virtualmente) vietato dal secondo principio della termodinamica che afferma che in ogni sistema isolato il grado di disordine, definito appunto come *entropia*, tende sempre ad aumentare con il tempo. Ovviamente nessuna legge fisica vieterebbe che i pezzi si rimettessero insieme dopo averli magari agitati un po', ma le probabilità che ciò avvenga sono ridicolmente piccole. Nell'esempio precedente, i pezzi della macchina si trovavano prima della collisione in uno stato altamente ordinato, mentre dopo l'incidente essi si trovano in uno stato disordinato. E' interessante notare l'importanza della parola *isolato* nell'economia del secondo principio. Gli organismi viventi, ma ad es. anche la disposizione ordinata delle molecole d'acqua in un cristallo di ghiaccio, sono caratterizzati da un notevole ordine. Nel cervello umano sono presenti più di cento miliardi di neuroni collegati in reti in cui il singolo nodo può avere fino a 100.000 interconnessioni. La materia che costituisce gli esseri viventi si è difatti organizzata in molecole complesse, cellule e tessuti passando da uno stato disordinato ad uno ordinato, e quindi decrescendo la sua entropia in apparente contraddizione con il secondo principio. Tutto questo però è stato possibile grazie al fatto che gli organismi viventi *non* sono sistemi isolati, ma scambiano energia e calore con l'ambiente circostante. Ne consegue che essi decrescono la loro entropia a spese di quella dell'ambiente. L'entropia totale del sistema (organismo + ambiente) tuttavia risulta comunque aumentata.

Verso il disordine totale

Gli scienziati sono ora convinti che la consapevolezza percettiva della direzione di scorrimento degli eventi temporali (i.e. la freccia del tempo) esista come fenomeno indotto dalla uni-direzionalità dell'aumento dell'entropia imposta dal secondo principio. Come possiamo convincerci di questo ? Il fisico S. Hawking ha proposto un semplice parallelo tra la memoria umana e quella di un computer. Sappiamo che i segnali digitali con cui i circuiti elettronici lavorano sono di tipo binario, ossia possono assumere solo uno dei due valori 0 o 1. Quando tentiamo di memorizzare una certa informazione nella memoria RAM dobbiamo forzare il sistema a porsi necessariamente in uno dei due stati e questo può essere fatto solo a spese di una certa quantità di energia, ad esempio la corrente elettrica che alimenta il computer stesso. Tale energia è dissipata come calore e va ad aumentare il grado di disordine (legato al moto caotico delle molecole in un gas scaldato) dell'Universo. Dunque, il disordine dell'Universo è aumentato di una quantità che si può dimostrare essere sempre superiore a quella corrispondente all'aumento del grado di ordine della memoria stessa. La direzione del tempo in cui un computer ricorda il passato è la stessa in cui il disordine (o meglio, l'entropia) aumenta. Il cervello umano sembra funzionare in una maniera assai simile. Il nostro senso psicologico del

tempo è dunque determinato all'interno del cervello dalla freccia termodinamica del tempo, ossia siamo costretti a ricordare le cose nell'ordine in cui l'entropia aumenta. Questa conclusione benché possa essere ritenuta soddisfacente, lascia aperta per i fisici la domanda del perché l'Universo sia evoluto da uno stato altamente ordinato al suo inizio per giungere ad uno stato altamente disordinato nel remoto futuro. Questa domanda fondamentale ha solo vaghe risposte perché le leggi fisiche che conosciamo falliscono quando vogliamo applicarle a tempi pericolosamente vicini ad un tempo di Planck dopo il Big Bang; avremo delle risposte a riguardo solo se svilupperemo in futuro una teoria quantistica della gravità. Lasciamo questo difficile compito ai fisici e continuiamo nell'analisi della percezione temporale umana. Abbiamo visto che il tempo ha una direzione dettata dalla termodinamica e dal suo secondo principio. Ci chiediamo ora: il fluire del tempo lungo questa direzione è costante o sembra subire delle variazioni? In altre parole, esistono delle "esitazioni temporali" analoghe al tempo caotico sotto il tempo di Planck anche al livello macroscopico della nostra esperienza percettiva del fluire del tempo?

Informazione è entropia

Per tentare di rispondere a questa domanda dobbiamo rivolgerci alla teoria dell'informazione, una branca della matematica che si propone di quantificare il contenuto informativo di un dato messaggio. Essa fa uso della stessa quantità, l'entropia, che abbiamo incontrato precedentemente in contesto fisico. In teoria dell'informazione, l'entropia corrisponde al grado di incertezza contenuto in un messaggio che trasmettiamo e quindi ne misura il contenuto informativo. Un esempio ci aiuta a capire meglio. Se inviamo una sequenza di 100 caratteri binari (bit) fatti di 1 e 0 a un nostro corrispondente, e se quest'ultimo conosce già la sequenza a priori, non ci sarà stato alcuno scambio di informazione. Se invece ogni bit può essere in maniera equiprobabile un 1 o uno 0, allora il contenuto di informativo del messaggio sarà massimo. La formula che esprime questo concetto è esattamente la stessa che useremmo per calcolare l'entropia di un sistema, e dunque tra i due fenomeni esiste una perfetta analogia.

Velocità del tempo e flusso informativo

Ora, con slancio speculativo, vogliamo fare un passo ulteriore per spiegare la nostra percezione del tempo e delle sue variazioni. L'ipotesi che voglio proporre qui è che *la durata percepita del tempo derivi dal rapporto tra la quantità di informazione che possiamo immagazzinare e la velocità a cui ci viene fornita*. Ma poiché abbiamo visto che contenuto di informazione ed entropia sono essenzialmente sinonimi, l'entropia non solo indica la direzione preferenziale del tempo su base fisica, ma anche il ritmo del suo fluire psicologicamente percepito. In questa ipotesi, fatta fissa la capacità di ritenere informazioni del nostro cervello, se siamo esposti ad un flusso informativo maggiore, la nostra percezione degli intervalli tenderà a diminuire ed il tempo quindi ad accelerare. Il flusso informativo a cui siamo esposti è ovviamente dato da messaggi verbali, visivi, uditivi; in una parola: sensoriali. In breve, gli esseri umani percepiscono l'esistenza di informazioni e, grazie all'apparato sensitivo, le acquisiscono; nel compiere quest'operazione emerge la percezione

del tempo. Ma ne segue logicamente che il fluire tempo è fortemente influenzato dall'acquisizione dell'informazione.

Cervello e computers: un semplice confronto

Al giorno d'oggi il flusso informativo che ci investe quotidianamente è senza precedenti nella storia umana, tanto da far sorgere il dubbio che le nostre capacità cerebrali siano insufficienti a dialogare proficuamente con le tecnologie informatiche che abbiamo a disposizione. Ancora un esempio ci aiuterà a capire la gravità del problema. Consideriamo il Canto I dell'Inferno dalla Divina Commedia di Dante, composto da 44 terzine ed una quartina per un totale di 136 versi: il numero di caratteri che lo compongono è di 4034. In informatica un carattere corrisponde ad un Byte, i.e. una stringa di 8 uni e zeri. Poiché anche gli spazi portano informazione, dobbiamo includere anch'essi nel computo (insieme ad altri caratteri di controllo) portando la dimensione informatica del testo a 5198 Bytes. Ho quindi letto interamente il Canto I, ad una velocità che mi permettesse almeno una comprensione minima del testo stesso (L'Inferno dantesco non forse è il testo più semplice che avrei potuto scegliere, ma ciò non influenza la sostanza delle conclusioni); questo processo di acquisizione è durato 6' 38", ossia 398 secondi. Il mio rate di acquisizione di questi dati dunque è stato di 13 Bytes al secondo, una velocità che ci qualifica come bradipi informatici! Per farci un'idea più precisa, possiamo confrontare questo numero con la velocità di trasmissione di dati via internet da una comune rete ADSL. Al momento in cui scrivo un semplice test rivela che la velocità di trasmissione in *download* della mia rete è di 1848000 bits al secondo, ossia, in notazione più concisa 1848 kbps (kilobits per secondo; una trasmissione di rete si definisce in "banda larga" quando questo valore è superiore a 1500 kbps); poiché 1 Byte è costituito da 8 bits, possiamo dunque concludere che ricevo 231 kBps (kiloBytes per secondo). La velocità di trasmissione è dunque 18000 volte più grande di quella a cui il mio cervello mediamente riesce ad acquisire. Ovviamente le cose andrebbero meglio se invece che un testo tentassi di acquisire una immagine (il nostro cervello sembra essere più adatto a questo tipo di acquisizione), ma non di tanto; e comunque la velocità della mia rete è appena sufficiente per essere definita di banda larga.

Information overflow

Ecco che il problema della percepita accelerazione del tempo comincia a chiarirsi: siamo costretti ad assorbire informazione ad una velocità di molto superiore a quella propria del cervello, un processo che si definisce *information overflow*. Secondo l'ipotesi entropica fatta sopra, questo genera intervalli di tempo percepiti sempre più brevi. Naturalmente ci "difendiamo" filtrando le informazioni in molti modi, ad esempio ritenendo solo certi *patterns* e/o comprimendo l'informazione. Tuttavia tale compressione spesso porta ad una perdita di parte dei dati originali. Un altro aspetto problematico riguarda non solo la velocità a cui siamo in grado di acquisire informazione, ma anche la capacità di ritenerla. Per quanto tempo riuscirò a ricordare e con che grado di precisione il Canto I che ho appena letto? Anche in termini di capacità ritentiva (ossia memoria, legata alla plasticità cerebrale) il nostro cervello sembra

essere sfavorito rispetto ad un computer. Si può forse arguire che attualmente le capacità del nostro cervello siano sotto-sfruttate. Tuttavia M. Rees ha dimostrato che le dimensioni del nostro cervello costituiscono il limite massimo della capacità animale di sviluppare concetti intelligenti, oltre il quale le informazioni tra le sinapsi impiegherebbero troppo tempo per costituire ragionamenti costruttivi.

Verso il futuro

L'accelerazione del tempo che tutti proviamo può potenzialmente diventare un serio problema sia sul piano psicologico individuale, ma in una certa misura ancora più gravemente, sulle nostre relazioni sociali e sul progresso umano. E' probabile che questa accelerazione sia uno dei prodotti iniziali del processo conosciuto come la Singolarità Tecnologica, ossia il fatto che l'accelerazione della tecnologia consente di produrre macchine ultrainelligenti le cui attività intellettuali superano di gran lunga quelle umane (e in parte, vista la discussione precedente, siamo già in questa situazione) lasciando indietro l'intelligenza dell'uomo. Queste macchine a loro volta potrebbero progettare macchine sempre migliori, generando una "esplosione di intelligenza". Forse è giunto il momento di chiedere aiuto alla scienza per intraprendere con più decisione il cammino verso l'ibridazione del cervello/corpo umano con la robotica in un organismo cibernetico (cyborg), come preconizzato nel lavoro di Haraway, Gibson ed altri già negli anni '80. Potremo così rimetterci al passo con le creature sintetiche che noi stessi abbiamo costruito e con quelle che ancora esistono solo nel limbo della nostra (e loro) immaginazione. E solo questo potrà rappresentare la nostra speranza quando un giorno dovremo lasciare la Terra per cercarci una nuova casa nel Cosmo.