

Domenica 6 maggio 2018. Palazzo Re Enzo, Salone del Podestà, ore 12.00

La coscienza: un viaggio dalla mente al cervello

GIULIO TONONI*

Introduce: ROCCO LIGUORI

La coscienza è il nostro universo privato: persone, oggetti e colori, suoni, piaceri, dolori, pensieri e sentimenti – ogni possibile esperienza. E se anche sappiamo che la coscienza dipende dal cervello, come e perché è considerato ancora un mistero, svelato solo in parte. La teoria dell'informazione integrata prende spunto dalle proprietà essenziali dell'esperienza soggettiva e ne deriva le proprietà necessarie e sufficienti per il substrato fisico della coscienza.

La teoria spiega perché alcune parti del cervello sono importanti e altre no, perché la coscienza svanisce durante certe fasi del sonno nonostante l'attività neuronale sia simile a quella della veglia. Nuovi approcci clinici e strumentali, ispirati dalla teoria, stanno aprendo la possibilità di valutare il grado di coscienza di pazienti con lesioni cerebrali, durante lo sviluppo dell'individuo, e anche in specie diverse dalla nostra. Una delle implicazioni della teoria più significative e attuali è la possibilità di dichiarare un soggetto in stato vegetativo permanente, cioè senza possibilità di risveglio, atteso magari anche per decenni da parenti che si illudono, sperano, chiedono. Inoltre può essere rassicurato chi teme un'invasione di calcolatori e robot che, se anche un domani potranno comportarsi in maniera indistinguibile da un essere umano e persino superarlo in intelligenza, rimarranno necessariamente privi di coscienza.

* Giulio Tononi, nato a Trento, è uno dei massimi esperti nello studio del sonno e della coscienza a livello mondiale. Laureato in Medicina e Chirurgia e specializzato in Psichiatria presso l'Università di Pisa, ha poi conseguito il dottorato di ricerca in Neuroscienze presso la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, svolgendo ricerche sulla regolazione del sonno. Dal 1990 al 2000 ha continuato a svolgere ricerche sul sonno presso il Neurosciences Institute prima di New York, quindi di San Diego. È professore di Psichiatria presso l'Università del Wisconsin-Madison, dove dirige l'Institute for Sleep and Consciousness. Ha sviluppato con Chiara Cirelli, da sempre sua collaboratrice, la teoria dell'omeostasi sinaptica relativa al sonno. Ha contribuito poi agli studi sulla coscienza sviluppando la teoria dell'apprendimento e dell'informazione integrata. Ha ricevuto nel 2005 il premio delle NIH e nel 2017 con Chiara Cirelli il prestigioso Premio Farrel dell'Università di Harvard, proprio per il suo contributo agli studi sul sonno. Sul tema della coscienza ha pubblicato: *Galileo e il fotodiodo* (Laterza, 2003) e *Un universo di coscienza. Come la materia diventa immaginazione* (Einaudi, 2000), in collaborazione con il Premio Nobel per la Medicina Gerald Edelman. Nel 2013, con Marcello Massimini, pubblica *Nulla di più grande* (Baldini&Castoldi) e nel 2014 *PHI. Un viaggio dal cervello all'anima* (Codice Edizioni).

PAROLE CHIAVE: **Neuroscienze – Coma – Corteccia cerebrale** (→ *Glossario*)

Come può il cervello generare la mente?

Come possono il cervello, i neuroni, la materia grigia, generare quella che noi chiamiamo mente? Gli studi di Tononi cercano (e riescono) a rispondere a questa domanda. Arrivando a calcolare il valore matematico dell'attività dei neuroni che hanno l'incredibile capacità di integrare l'enorme quantità di dati della nostra esperienza, dando vita alla coscienza, che è il nostro universo privato, ben diverso dall'universo che vive fuori di noi. Il suo ultimo libro sull'argomento si intitola proprio *PHI. Un viaggio dal cervello all'anima* (Codice Edizioni), un immaginario viaggio dantesco il cui protagonista è Galileo Galilei. Nella prima parte del volume, Galileo affronta il paradosso del rapporto tra cervello e coscienza: la coscienza genera tutto ciò che per noi è reale e, citando Emily Dickinson, Tononi ricorda che "il cervello è più grande del cielo". Ma tutti riusciamo a capire che, a confronto dell'universo, ogni cervello è un'inezia. Ecco dunque il paradosso: come può una infinitesimale realtà come il nostro cervello contenere e addirittura superare il cielo? Galileo-Tononi partono allora dall'osservazione dei casi di non coscienza o di coscienza mutilata a causa di lesioni cerebrali per capire che per uscire dal paradosso occorre tenere uniti cervello e coscienza: la mente e i neuroni non sono due realtà separate, la coscienza dipende dal cervello. Anzi, senza il cervello non è nulla. La portata di queste scoperte è enorme, perché risolve l'eterno dualismo tra mente e corpo, tra materia e spirito, tra mente e anima.

Proseguendo nel suo viaggio, Galileo escogita la teoria della coscienza come risultato dell'informazione integrata generata dall'insieme dei neuroni e cerca il meccanismo che regola questo processo. Come fanno i neuroni a dar luogo alla coscienza? Ecco la risposta: il cervello umano, attraverso le numerosissime connessioni tra i neuroni, riesce ad assumere una quantità enorme di stati. Si è visto che se, a causa di una lesione cerebrale, si riducono le connessioni attive dei neuroni e di conseguenza si riduce contemporaneamente anche la coscienza, è possibile quantificare la coscienza stessa con una misura matematica: si possono calcolare, in pratica, le maggiori o le minori informazioni integrate secondo una variabile naturale, come la massa e la carica elettrica: Tononi/Galileo chiama questa misura "Phi".

Le scoperte di Tononi hanno aperto un nuovo orizzonte al dibattito sulla coscienza e hanno acceso ancora di più le discussioni tra filosofi e neuroscienziati riguardo alle basi neurobiologiche della coscienza. Tononi ci avverte che gli studi sono ancora all'inizio e lui stesso ha continuato a mettere mano alle sue teorie, riformulandone di nuove.

Nell'ultima parte di questo viaggio dantesco, si passa per l'Inferno della coscienza, ovvero la morte, la demenza e il dolore. Si passa per il Purgatorio, cioè per quegli stati in cui la coscienza è amputata a causa di menomazioni cerebrali o lesioni, oppure è in

via di evoluzione, come negli animali. Per finire nel Paradiso, nella piena luce interiore della coscienza, che si può arricchire con l'esplorazione psicologica, l'arte, la lettura e con il sapere scientifico.

Il nostro cervello, dunque, è capace di integrare l'enorme quantità di informazioni che tutti i giorni acquisiamo. La coscienza è frutto di questa capacità di integrazione. Tononi ha misurato il valore matematico della coscienza, calcolando l'attività neuronale di una parte del cervello (il sistema talamo-corticale) caratterizzata – nei soggetti coscienti – da integrazioni tra le varie aree e da differenziazione delle attività locali. Il valore ottenuto, chiamato “indice di complessità perturbativa” (PCI) è una misura del livello di coscienza e permette di dimostrare la presenza di coscienza in pazienti in stato vegetativo.

Gli studi di Tononi hanno fatto emergere molti interrogativi sui rapporti tra cervello e coscienza. Le conclusioni, che mostrerà anche in questa lezione, sono di grandissimo interesse: le macchine intelligenti, i robot più sofisticati, capaci di guidare l'automobile o di portare una sonda sulla luna, non avranno mai un cervello cosciente. Secondo la sua teoria, infatti, la coscienza è una proprietà intrinseca, che esiste di per sé, indipendentemente da ciò che avviene all'esterno o che può essere stimolato o simulato da un calcolatore elettronico.

La formula della coscienza

Giulio Tononi è un italiano che l'America ci ha “rubato”, uno dei maggiori studiosi al mondo del cervello e in particolare della coscienza, un mistero non solo per tutti noi ma ancora anche per la Scienza. Tononi ha individuato la parte del cervello nel quale si forma la coscienza e ha enunciato una teoria, quella della Informazione Integrata (IIT), secondo la quale non solo la coscienza esiste ma è anche misurabile e la sua misura è un numero: Phi (come la lettera greca). In questa lezione cercherà di spiegare la sua teoria soprattutto ai non addetti ai lavori presenti in un Salone del Podestà stracolmo.

Il neuroscienziato, dopo la presentazione di Rocco Liguori, inizia con il pubblico questo affascinante viaggio alla scoperta dell'anima tangibile.

[TONONI]: Grazie al professor Liguori e a voi tutti per essere qui in una bellissima domenica di maggio a sentire astruse considerazioni sulla coscienza e grazie in particolare a Fabio Roversi-Monaco, cui dicevo prima che la visione di un Festival così unico e così moderno in una Università così unica e così antica è qualcosa di straordinario e vedere tutti qui mi riempie davvero di emozione.

E poi subito la definizione di coscienza, il tema che lo appassiona e lo impegna da tanti anni. Ma che – anticipa lo studioso – viene regolarmente frainteso:

La coscienza è parte della medicina, ma esula anche dalla medicina, a meno che non consideriamo la medicina, come si dovrebbe, non solo cura del corpo ma anche cura dell'anima e naturalmente di come corpo e anima siano collegati fra di loro. Lasciate quindi che definisca la coscienza, perché conosco i fraintendimenti che solleva. La coscienza è quella cosa che svanisce quando cadiamo addormentati di un sonno senza sogni.

La coscienza esiste “per quanto mi riguarda”

Siamo tutti convinti di questo?

Ciò che dobbiamo capire – spiega Tononi – è che quando scompare la coscienza, per quanto ci riguarda, scompare tutto, ecco perché nella diapositiva che vi mostro, dopo la definizione, viene subito specificato che la coscienza è tutto quello che esiste “per quanto mi riguarda”. In altre parole, la coscienza è esperienza, qualunque tipo di esperienza; colori, suoni, odori, sapori, pensieri, emozioni, tutto quello che esiste è un'esperienza; se svanisce quell'esperienza scompare tutto, scompariamo noi stessi e scompare l'universo che ci circonda.

Tononi precisa che va distinta l'idea di coscienza, intesa come tutto quello che siamo e tutto quello che abbiamo, da alcune componenti importanti della coscienza come la nostra capacità di riflettere o di autoriflettere. Quando pensiamo alla nostra essenza, alla nostra origine, al significato della nostra vita, questa è solo una parte della nostra esperienza. Ammirare un'opera d'arte ad esempio, è un'esperienza come tantissime altre, una delle infinite esperienze che ogni istante della nostra vita riempiono la nostra coscienza. Inoltre, la coscienza non è semplicemente la capacità di rispondere agli stimoli o comportarsi in un certo modo.

Esistiamo a prescindere dal mondo esterno

[TONONI]: Un altro aspetto da comprendere è che normalmente la coscienza è del mondo esterno, che sia un paesaggio, una città, un auditorium come questo. Ma ciò non è corretto: l'esperimento più importante di tutti, per lo studio della coscienza, è il cadere addormentati questa volta in un sonno in cui sogniamo. Il sogno è esperienza. Nel sogno un intero mondo ci appare senza che nulla accada al di fuori di noi: suoni, colori, pensieri e sensazioni di qualunque tipo. Ho affermato che è l'esperimento più importante perché ci dice che esistere, per ciascuno di noi, non richiede necessariamente la presenza di un mondo esterno e quell'esistere dipende, come ormai sappiamo, dal cervello. Vi sono casi in cui è difficile sapere se c'è qualcuno dietro gli occhi spalancati che ci guardano. Quella che vedete [indica una fotografia nella diapositiva] è una paziente vegetativa, un

termine un po' triste usato dai neurologi per indicare qualcuno che non risponde agli stimoli e non ha alcun comportamento finalistico da almeno un anno. Quando troviamo un paziente di questo tipo è naturale pensare che la coscienza sia svanita, ma non è sempre così.

Perché tutti comprendano, Tononi mostra i risultati di un importante esperimento condotto nel laboratorio del professor Owen in cui è stata usata la risonanza magnetica funzionale per vedere che cosa accade nel cervello di una paziente in stato vegetativo, quindi incosciente: quando le veniva chiesto di immaginare di giocare a tennis per una decina di secondi e poi di immaginare di andare a camminare nella propria stanza, si attivavano le stesse aree cerebrali che si attivano quando noi immaginiamo di giocare a tennis, di camminare nella nostra stanza. Questo ha suggerito ai ricercatori che, per quanto la paziente non si muovesse, non rispondesse – ed era così da mesi – dietro quegli occhi spalancati c'era qualcuno che non solo era cosciente, ma anche in grado di immaginare.

Quindi la capacità di rispondere è una guida pratica che di solito funziona, ma non è né necessaria né sufficiente per essere coscienti.

Lo scienziato con il suo gruppo di lavoro è partito proprio dal sonno e dal sogno per andare a cercare in quale parte del cervello nasca la coscienza.

Sappiamo che il cervello è l'organo essenziale per la nascita della coscienza, ma ora siamo anche a conoscenza del fatto che non è coinvolto l'intero cervello, alcune parti sono più importanti di altre. I nostri ricercatori hanno utilizzato la elettroencefalografia ad alta risoluzione e sono partiti chiedendosi quale fosse la differenza nell'attività cerebrale quando siamo coscienti e quando non lo siamo, studiando soggetti del tutto normali e confrontando le immagini per verificare che cosa cambia nel cervello fra un sonno con i sogni e un sonno senza sogni. Il corpo è addormentato, il cervello presenta le onde lente, di cui ci ha parlato in precedenza Chiara Cirelli, che sono tipiche del sonno non REM. L'esperimento ha evidenziato che l'unica diversità tra i risvegli "con e senza sogno" è la presenza di coscienza. Esattamente che cosa cambiava?

La differenza la vedete qui in blu e verde – spiega Tononi illustrando la diapositiva con i risultati – questo è il cervello: lato sinistro, lato destro, la parte laterale e questa invece la parte mediale all'interno. Vedete che nella parte posteriore del cervello, sia a sinistra che a destra, sia laterale che mediale c'è una differenza, vengono meno le tipiche onde lente del sonno in questa parte posteriore quando siamo coscienti, cioè quando sogniamo. Questo in un certo senso è l'esperimento più semplice e più pulito per vedere quale parte del nostro cervello è responsabile della vera esperienza, che in questo caso è esperienza onirica.

È la corteccia cerebrale posteriore, quindi, responsabile del fatto che siamo coscienti sia quando siamo svegli sia durante il tutto il sonno, anche quello REM in cui il cervello si comporta in maniera apparentemente del tutto diversa. La differenza è una maggiore o minore presenza di onde lente.

Ma Tononi non si è accontentato di questi dati e spiega perché, nel caso dello studio della coscienza, non ci si può limitare all'attività sperimentale o clinica.

C'è un primo nodo da sciogliere.

Se è vero che queste parti posteriori della corteccia cerebrale sono responsabili del fatto che esistiamo, che siamo coscienti, cosa c'è di speciale in questa parte della corteccia? Perché non viene coinvolta la corteccia prefrontale o il cervelletto? È chiaramente un paradosso scientifico e, se non riusciamo a risolverlo, non abbiamo capito niente delle basi fisiche della coscienza.

Il secondo nodo da sciogliere riguarda la ragione stessa per cui Tononi e collaboratori si sono dedicati a studiare il sonno. Stiamo parlando del sonno stesso. Che cosa accade quando dormiamo? Qualche volta siamo coscienti qualche volta no, esiste il sonno con sogni e il sonno senza sogni, ma i neuroni sono attivi nella veglia e nel sonno, come ha spiegato Chiara Cirelli nella sua lezione del giorno precedente; eppure nel sonno talvolta siamo coscienti e sogniamo, e talvolta no, anche se l'area del cervello interessata continua a essere attiva, seppur in maniera leggermente diversa. Durante una crisi epilettica generalizzata con perdita di coscienza, i neuroni nel cervello non solo sono attivi ma lo sono più del solito, sono altamente sincroni. Eppure invece di essere più coscienti la coscienza svanisce completamente. Come spiegarlo?

Cosa succede nel sonno senza sogni per cui svaniamo noi e l'universo che ci circonda? Ci sono vari casi fondamentali nella clinica e nelle neuroscienze che ci mettono davanti a questo paradosso fondamentale: c'è qualcosa di speciale in certe parti della corteccia che è fondamentale perché noi siamo chi siamo, perché abbiamo l'esperienza che abbiamo. Ci sono tantissime altre cose che succedono nel cervello che non hanno nulla a che fare con quello che esperiamo, con la coscienza. Come mai?

E non è solo un problema di conoscenza, è anche un problema etico e medico. Per esempio, i nostri ricercatori hanno visto che nei pazienti in stato vegetativo in cui la stimolazione a immaginare di giocare a tennis o di camminare non ha provocato reazioni, l'area della corteccia posteriore è rimasta attiva.

Coma: chi c'è dietro quegli occhi?

C'è qualcuno, dietro gli occhi spalancati di quel paziente? Non c'è nessuno? Come facciamo a saperlo? Che cosa vuol dire avere solo una piccola porzione di cervello atti-

va? Significa che c'è solo una parte di coscienza? Oppure che non c'è assolutamente nulla?

[TONONI]: Guardiamo il cervello di un neonato: in nero vediamo le parti attive, vediamo soltanto una piccola parte, la cosiddetta amigdala, fortemente attiva al risveglio. Chissà, forse per il terrore di essere gettati nel mondo sconosciuto, non possiamo dire perché questo accada mentre tutto il resto si sta ancora sviluppando nella corteccia ed è ancora quieto. È cosciente il neonato appena nato, è cosciente il feto: si prova qualcosa a essere un neonato? La domanda è difficile, nessuno al giorno d'oggi sa quale sia la risposta.

Mostra la diapositiva di un cervello di un bambino di un anno:

Vedete che improvvisamente c'è attività, evidenziata in nero, in tutta la corteccia cerebrale che si sta ancora sviluppando, ma è fortemente attiva. Si prova qualcosa a essere un bambino di un anno? Verosimilmente sì ma non abbiamo ancora la risposta certa.

I sonnambuli sono coscienti? Anche questa è una domanda alla quale non abbiamo a tutt'oggi una risposta, eppure è una condizione che conosciamo da millenni. Tononi prosegue con le sue riflessioni e le tante domande che lo hanno accompagnato durante i suoi studi:

Prendiamo un polpo, che ha un cervello centrale con circa mezzo milione di neuroni e poi ha otto cervelli periferici collegati fra loro. È un animale particolarmente intelligente, con un cervello però radicalmente diverso dal nostro: ha nove cervelli. Mi chiedo allora se si provi qualcosa a essere un polpo. Forse una strana forma di esperienza in qualche modo oceanica in cui si fondono questi nove cervelli? Oppure non si prova assolutamente niente ed è semplicemente una complicata macchina che scivola sulle rocce sul fondo del mare? Anche questa volta la risposta è che non lo sappiamo, non c'è esperto al mondo che vi possa dire cosa si prova o se si prova qualcosa a essere un polpo. Così è anche per tante altre specie viventi, sempre più aliene da noi. Persino un telefonino, un calcolatore che come vedremo può essere in grado di rispondere a delle domande meglio di tanti pazienti: sappiamo benissimo come sono costruiti, sappiamo come farli funzionare e potremmo paradossalmente cominciare addirittura a chiederci se non si provi qualcosa ad essere un calcolatore: alla fin fine, quando i calcolatori si comporteranno come ci comportiamo noi, quale sarà la differenza?

Se potessimo aprire il nostro iPhone, ingrandirlo e vedere letteralmente i 10-15 miliardi di transistor che lo costituiscono (la nostra corteccia cerebrale ha circa 10-15-16 miliardi di neuroni), osservando come sono collegate, capendo come funzionano, l'unica cosa che ci apparirebbe sono parti che spingono altre parti, ingranaggi che muovono

altri ingranaggi. Così il cervello, nel quale non riusciamo a trovare nulla che possa spiegare il perché da questa serie di ingranaggi (i neuroni, le sinapsi, i collegamenti tra le cellule) emerga la percezione, vedere le cose, i colori, sentire i suoni, gustare i sapori, annusare i profumi.

Un esercito di 16 miliardi di neuroni

[TONONI]: Lasciate che vi mostri allora il nostro cervello con le fibre che lo costituiscono. La corteccia cerebrale ha 16 miliardi di neuroni di cui circa la metà nella corteccia posteriore che è cruciale per la coscienza; il cervelletto che vi ho indicato prima ha quasi 70 miliardi di neuroni, eppure non ha nulla a che fare con la coscienza e dentro ci sono ingranaggi complicatissimi.

Il neuroscienziato proietta nuovamente un'immagine, già mostrata da Chiara Cirelli, in cui si vede una sinapsi, precisamente il terminale presinaptico con tante piccole vescicole cariche di trasmettitore elettrochimico, e la spina post-sinaptica dove avviene la trasmissione nervosa. Ci sono circa 100 trilioni – ossia miliardi di miliardi – di queste sinapsi nella corteccia cerebrale, ma se guardiamo tramite la microscopia elettronica non è altro che un complicatissimo insieme di ingranaggi che sono impacchettati in maniera estremamente densa. E questo assetto non presenta grandi differenze fra la corteccia cerebrale e il cervelletto. Esse si assomigliano molto ma in uno, per qualche misteriosa ragione, si crea l'esperienza di ciascuno di noi, nell'altro no.

Questo è il problema fondamentale secondo me. La cosa di cui mi convinsi molto presto: possiamo studiare il cervello quanto vogliamo, possiamo studiarlo come gli astronomi studiano il cielo, ma non riusciremo mai a ottenere il succo della coscienza dalla materia grigia del cervello. Potete spremere quanto volete e non ne verrà mai fuori la coscienza.

La strada da prendere secondo il professore è esattamente l'opposto, bisogna partire dalla fenomenologia, dalla nostra esperienza quotidiana, dal mattino quando al risveglio ci appaiono forme, colori e suoni nello spazio di fronte a noi. Da qui bisogna tornare alla fisica, alla sua origine, là dove nasce la nostra coscienza. Questa è la strada che ha perseguito Tononi, formulando la Teoria dell'Informazione Integrata, IIT, che non parte dal cervello ma dalle caratteristiche fondamentali dell'esperienza della nostra coscienza, le cui proprietà fondamentali per Tononi sono cinque.

Da Cartesio al cervello

[TONONI]: Chiedo ora un po' di comprensione, non posso non accennare a quali siano i fondamenti della teoria per darvi il senso di cosa sia la coscienza, evitando di approfondire l'aspetto matematico. La teoria parte dall'esperienza, la mia esperienza – perché ogni esperienza è personale, vale solo per ciascuno di voi – da cosa vuol dire vedere e sentire una cosa che esiste dal punto di vista fenomenico. È l'unica cosa di cui siamo assolutamente certi che esista la prova che c'è qualcosa, anziché il nulla.

Ricordiamo tutti il *cogito ergo sum* di Cartesio, nella terza meditazione Cartesio parla del criterio di verità, in base al quale una cosa è vera se concepita come chiara e distinta (“Solo se saprò dimostrare che Dio esiste avrò una conferma metafisica del criterio di verità”). Egli afferma che “tutto ciò che è nella mia testa come chiaro e distinto è vero: l'idea di Dio è da me così concepita, quindi è contraddittorio negarne l'esistenza: l'esistenza è una perfezione, Dio ha tutte le perfezioni, dunque Dio esiste”. Il filosofo intendeva riferirsi all'esperienza, alla coscienza: Cartesio aveva capito che l'unica cosa certa è l'esistenza della sua coscienza, su cui aveva cercato di fondare la sua filosofia.

Se andiamo ancora indietro nella storia della filosofia, l'altro modo di vedere l'esistenza fisica ci riporta a un dialogo platonico, *Il Sofista*, in cui Parmenide, che entra improvvisamente nel dialogo, afferma: “Dichiaro che esistere significa essere in grado di fare una differenza anche pur minima o di subire una differenza anche pur minima, significa in altre parole avere potere causale”. Quest'idea, che è quasi scomparsa nella storia della filosofia, è il modo più elegante di definire cosa intendiamo per esistenza fisica, diversa dalla fenomenica, che è l'unica di cui siamo certi. La teoria dell'informazione integrata parte da questi assunti e dice che la coscienza, cioè l'esperienza, non solo esiste ma è l'unica cosa certa e identifica cinque proprietà essenziali: l'intrinsecità, la composizione, l'informazione, l'integrazione e l'esclusione.

Le cinque proprietà dell'esperienza

Intrinsecità significa che l'esperienza, ciò che vedo in questo istante, è ovviamente personale, non appartiene a nessun altro, è un fenomeno interno a noi come soggetti.

Per “composizione” intendiamo che l'esperienza è strutturata, con un sopra o un sotto, sinistra e destra, un colore e una forma.

L'informazione ci dice che l'esperienza è tale ogni istante della nostra vita; le immagini, i suoni sono quelli che sono e pertanto diversi da infinite altre immagini, da infiniti altri suoni che avremmo potuto esperire ma che in questo momento non stiamo aspettando. L'esempio più semplice è quello di un film, dove ogni immagine produce

un'esperienza, diversa da quella prodotta dall'esperienza delle immagini successive, tanto che il numero di esperienze possibili non si può contare: l'unica esperienza è quella prodotta in quell'istante ed è quella che è. Pertanto questo è l'aspetto "informazione" dell'esperienza cosciente.

Per la proprietà dell'integrazione ogni esperienza è unificata: non ha senso affermare che questa è la mia esperienza e poi ve ne è un'altra, perché la mia esperienza non si divide mai in due: non vi è una parte sinistra e una parte destra della visuale: il campo visivo è unico. Qualche esperienza ha questa proprietà fondamentale.

E infine l'esclusione dice semplicemente che ogni esperienza è definita, contiene quello che contiene ed esclude quello che esclude.

Gran parte del lavoro svolto negli ultimi vent'anni da Tononi ha cercato di dare una veste matematica alla traduzione delle proprietà fondamentali dell'esperienza cosciente.

Come possiamo trasformare un'esperienza intrinseca, strutturata, informativa, integrata e definita in termini fisici? Fisico vuol dire potere causale, quindi la traduzione matematica diventa un modo di prendere un qualunque sistema fisico, cervello o meno, di perturbare, manipolare, osservare, di vedere le differenze che fanno la differenza e di andare a controllare che queste proprietà fondamentali per ogni nostra esperienza cosciente possano essere soddisfatte da certi sistemi fisici e non da altri.

E sulla base di questo si può sviluppare una teoria che alla fine dirà esattamente che cosa è cosciente e che cosa non lo è, quanto e in che modo è cosciente.

Quanto pesa l'esperienza?

[TONONI]: La teoria dell'informazione integrata afferma che un'esperienza, qualunque essa sia, è identica a una struttura causale, si chiama struttura concettuale, che può essere supportata da un substrato fisico, verosimilmente una parte del cervello che caratterizza l'esperienza in tutto e per tutto, nella sua quantità che è espressa da questo simbolo greco, la lettera Phi. Come spesso nella scienza, si comincia con l'osservare se sulla base di cinque principi fondamentali, cui è stata data veste matematica, possiamo spiegare questi fatti misteriosi. Per esempio abbiamo detto che è coinvolta una parte della corteccia cerebrale, soprattutto una determinata parte posteriore: i dati empirici dicono questo. Ma perché siamo coscienti in questa condizione e solo in questa? La teoria osserva l'architettura della parte posteriore della corteccia cerebrale, valuta se effettivamente sia in grado di produrre livelli elevati di informazione integrata di questa quantità Phi. E la risposta è che il modo con cui è organizzata la corteccia cerebrale posteriore sembra essere ideale per raggiungere livelli elevati di Phi.

Se osserviamo invece il cervelletto – per quanto abbia cinque volte più neuroni della corteccia cerebrale e per quanto siano collegati in maniera complicata e sofisticata, ricevano impulsi dal mondo esterno e controllino il movimento – la sua struttura non è

in grado di integrare informazioni, si suddivide in tanti moduli separati l'uno dall'altro, ciascuno fa il suo lavoro ma non si parlano tra loro ed è questa la ragione per cui possiamo asportare il cervelletto in toto e l'esperienza non cambia minimamente.

Infine, tutti i circuiti complessi che partono dalla corteccia cerebrale vanno nella parte frontale, scendono nei gangli della base e ritornano alla corteccia cerebrale; queste funzioni complicatissime che ci consentono di parlare, giocare, svolgere infinite funzioni intelligenti, avvengono nell'inconscio, la coscienza le chiama, eppure anche se vengono svolte noi non ne sappiamo nulla, non sono parte di noi, sono semplicemente funzioni. Ancora una volta la teoria riesce a spiegare come mai questi anelli, pur partendo dalla corteccia cerebrale posteriore, non diano luogo a coscienza.

La teoria deve anche poter spiegare perché dalla veglia al sonno senza sogni la stessa struttura, cioè la corteccia posteriore, passa dalla coscienza all'incoscienza, quando tutto ciò che cambia sono "solo" alcuni livelli di neuromodulatori come la noradrenalina e l'acetilcolina e si modificano un po' le onde lente, eppure la coscienza svanisce nonostante i neuroni siano ancora attivi. La teoria dimostra che, cambiando queste condizioni di contorno – quindi i livelli dei neuromodulatori – lo stesso sistema, pur rimanendo attivo, si disintegra e si trasforma in una serie di piccoli moduli, ciascuno dei quali è solo minimamente cosciente e la coscienza, integrata e differenziata, svanisce.

Una teoria – prosegue Tononi – deve essere in grado anche di fare previsioni e le abbiamo fatte in collaborazione soprattutto con Marcello Massimini dell'Università di Milano. [...]

Usando la stimolazione magnetica transcranica, che induce una corrente nella superficie della corteccia cerebrale e poi controllando con elettroencefalografia, possiamo registrare come si attiva il cervello e abbiamo osservato come risponde il cervello cosciente alla complessità caratteristica delle informazioni integrate elevate, con alti valori di Phi.

Quando invece cadiamo addormentati in un sonno senza sogni – accade generalmente all'inizio della notte – lo stesso cervello, per quanto attivo, risponde in maniera radicalmente diversa, si disintegra in tanti piccoli moduli. Questa è stata una conferma della previsione numero 1, la più semplice della teoria dell'informazione integrata. Quando invece sogniamo, il cervello diventa un'unità integrata e differenziata e in questo modo può sostenere la coscienza, come dimostrato dal fatto che stiamo sognando.

Abbiamo un modo di misurare la coscienza e questo dato, oltre a essere utile per la scienza in generale, può essere estremamente utile nell'ambito della medicina, della clinica. Tononi porta gli esempi di studi svolti dall'équipe di Marcello Massimini che, servendosi della stimolazione transcranica magnetica applicata all'elettroencefalografia, usando alcuni metodi di analisi complesse, è riuscita a ottenere un indice che si chiama indice di complessità perturbativa. Se questo indice ha per esempio valori di 0,6 ci informa che c'è elevata informazione integrata. Quest'indice rimane alto in soggetti

affetti da sindromi neurologiche come la sindrome Locked-in, soggetti completamente paralizzati che però sappiamo aver conservato la coscienza.

Rimane alto in soggetti con ictus cerebrali che sono coscienti ma hanno la corteccia cerebrale danneggiata e in varie altre condizioni patologiche in cui siamo certi della presenza di coscienza, mentre nel sonno senza sogni e nell'anestesia questo indice scende al di sotto dello 0,3. In sintesi potremo avere un numero al di sopra del quale possiamo affermare che il soggetto è cosciente e al di sotto del quale il soggetto è incosciente, indipendentemente dalle risposte comportamentali e possiamo per la prima volta sapere se c'è o non c'è qualcuno dietro gli occhi sbarrati. L'équipe di Massimini ha dimostrato che nei pazienti in stato vegetativo o in quelli che si trovano in uno stato di coscienza minima, i soggetti che a ragione si sospetta siano coscienti hanno un indice superiore a 0,3 e invece i soggetti vegetativi che clinicamente sono considerati come incoscienti possono presentare valori molto bassi, più o meno vicini allo 0, per cui c'è speranza che i pazienti nei quali si registrano valori bassi ma non pari a zero, magari con tentativi di stimolazione cerebrale, possano essere portati a un livello più elevato di coscienza: possono, in altre parole, essere svegliati. È facilmente intuibile quanto sia importante riferire alla famiglia che in un paziente, a seconda del valore di Phi, sia presente o no la coscienza. Tononi spera di poter sviluppare questa tecnica in modo che sia utilizzata sistematicamente nella clinica.

Il robot potrà avere coscienza?

Alcuni oggi, non solo fra gli scienziati, pensano che la coscienza non sia solo degli uomini ma che possano averla anche le macchine. Riproducendo ogni funzione umana, compresi linguaggio, emotività e intuito, arriveremo presto a un punto nel quale funzionalmente le macchine saranno indistinguibili da noi e se una macchina è funzionalmente identica a noi si porrà il problema se avrà o meno anche una coscienza. Molti neuroscienziati ed esperti di intelligenza artificiale sono convinti di sì. Per loro l'equivalenza funzionale – vedere, sentire, pensare – significa avere una coscienza; si stanno sviluppando molto rapidamente calcolatori che grazie all'intelligenza artificiale potranno diventare intelligenti. Tononi ci mostra Woods che due anni fa è riuscito a vincere i campioni del “Rischiatutto” americano; una macchina che è in grado di guidare da sola, che vede ed evita gli ostacoli meglio di noi; Siri o comunque qualunque strumento portatile che è in grado di riconoscere volti, qualche volta di avere una conversazione, rispondere a domande meglio di tanti umani.

In teoria, in futuro, potrà essere possibile simulare persino il funzionamento del cervello di ciascuno di noi, dei collegamenti fra tutti i neuroni; avremo veramente un sosia, un sosia elettronico che dirà le stesse cose che diciamo noi e si comporterà come noi.

[TONONI]: Eppure la teoria dimostra che esiste una dissociazione fondamentale fra coscienza e intelligenza, fra esistere nel senso fenomenico, avere un'esperienza e svolgere determinate funzioni. Se mai arrivassimo a costruire una forma di intelligenza paragonabile alla nostra, che siamo in alto nella scala dell'intelligenza, la teoria dimostra che non potrebbe esserci coscienza: l'esperienza è nostra, l'altro non esiste, è soltanto e davvero una macchina.

Considerando gli investimenti miliardari che in tutto il mondo vengono fatti nel settore dell'intelligenza artificiale, a me appare inevitabile che qualunque funzione umana verrà prima o poi riprodotta. Ma non la coscienza. Perfino l'immaginazione e la creatività sono alla portata. In certe mosse al gioco del Go, l'intelligenza artificiale di DeepMind ha dimostrato una creatività del tutto imprevedibile.

Il cervello è il nostro mondo

Il cervello è una macchina complicata e affascinante, ma non misteriosa se ci atteniamo alla sua struttura. È composto da cellule, come qualsiasi altro organo, eppure se smette di funzionare scompariamo e questo è una conseguenza del principio della teoria dell'informazione integrata, se ne verrà dimostrata la fondatezza. La coscienza è tutto ciò di cui abbiamo esperienza: è l'insieme di diversi aspetti e forme, colori, suoni, pensieri ed emozioni che, integrati fra loro, la compongono. La coscienza può essere generata soltanto da sistemi fisici organizzati in maniera particolare come il nostro cervello e sparisce quando ci addormentiamo in un sonno senza sogni. È quest'integrazione di ogni singola esperienza che rimane al di fuori della portata dei calcolatori, semplicemente perché non hanno la giusta struttura fisica. E allora una macchina potrà anche riuscire a imitarci in tutto e per tutto e magari non riusciremo più a distinguerla da noi, ma non avrà una coscienza se si limiterà a riprodurre funzioni.

Una commedia senza spettatori

[TONONI]: Molti pensano che i robot nel futuro potranno essere funzionalmente equivalenti a noi, comportarsi in maniera indistinguibile da noi e a quel punto, perché no, tendono ad attribuire loro la stessa coscienza che abbiamo noi. C'è un pezzo teatrale, *Sayonara*, in cui un robot si prende cura di una paziente malata con estrema empatia, con estrema attenzione, un'infermiera squisita se vogliamo, un compagno o una compagna ideale, eppure si tratta di un calcolatore.

Sarà inevitabile per noi proiettare quello che proiettiamo regolarmente nel nostro simile, la presenza di qualcuno che sente, pensa e ama; ma se la teoria è giusta, è esclusivamente una macchina; se IIT è corretta, non c'è nessuno a casa dietro la maschera, non c'è assolutamente nulla. Voglio finire con una citazione di Erwin Schrödinger, grande fisico che aveva ipotizzato il mondo prima del-

la nascita della coscienza, e vorrei augurarmi che non esista un mondo dopo la scomparsa della coscienza. Scriveva Schrödinger: “Tornerà il mondo a essere una rappresentazione teatrale, una commedia o una tragedia di fronte a dei sedili vuoti, che non esiste per alcuno, quindi, propriamente parlando, che non esiste affatto”.

Qualche dato

250 mila: le persone che entrano ogni anno in coma per incidenti stradali o sul lavoro, per malattie o intossicazioni.

3.000 circa: casi in Italia in condizione di stato vegetativo, situazione di gravissima disabilità.

700: i bambini in stato vegetativo nel nostro Paese.

Glossario

Neuroscienze: il termine “neuroscienze” deriva dall’inglese “neurosciences”, neologismo coniato nel 1962 dal neurofisiologo americano Francis O. Schmitt, che intuì che se ci si voleva avvicinare a una piena comprensione della complessità del funzionamento cerebrale si dovevano abbattere le barriere tra le diverse discipline scientifiche, unendone le risorse e gli sforzi. Il complesso di discipline oggi note come neuroscienze rappresenta una scienza sempre più interdisciplinare, che attinge da matematica, fisica, chimica, nanotecnologie, ingegneria, informatica, psicologia, medicina, biologia, filosofia, e va in senso opposto rispetto al confinamento specialistico dello studio del cervello e alla delimitazione del sapere tecnico degli anni passati. L’indagine delle neuroscienze riguarda un ampio spettro di problematiche: lo sviluppo, la maturazione e il mantenimento del sistema nervoso, la sua struttura anatomica e funzionale, con un’attenzione particolare al cervello e al ruolo che esso riveste nel comportamento e nella cognizione. Le neuroscienze cercano di comprendere non solo i normali meccanismi del sistema nervoso, ma anche cosa c’è alla base dei disturbi dello sviluppo, psichiatrici e neurologici, con l’intento di trovare nuove strade per prevenirli o curarli.

Coma: condizione clinica secondaria a molteplici tipi di danno cerebrale, strutturale o metabolico, a carattere focale o diffuso. È caratterizzato da uno stato di abolizione della coscienza e delle funzioni somatiche (motilità, sensibilità, espressione e comprensione verbale) associate ad alterazioni, talora marcate, del controllo e della regolazione delle funzioni vegetative o vitali (respirazione, attività cardiaca e pressoria) e della vita di relazione. Il paziente giace per lo più immobile, a occhi chiusi, in uno stato non suscettibile di risveglio e in assenza di risposte finalizzate a stimoli esterni o bisogni interni. Le uniche risposte che si possono ottenere, diversamente alterate a seconda dei casi, sono di tipo riflesso, tronco encefalico, spinale o vegetativo.

Corteccia cerebrale: è considerata la struttura più evoluta e complessa tra tutti i sistemi viventi: si stima che nell'uomo la superficie corticale sia di circa 2.600 cm², i neuroni circa 30 miliardi, le sinapsi circa 1.015 e 10 elevato a 1 milione i circuiti che si potrebbero formare. A questa struttura così complessa si devono le nostre capacità sensoriali, motorie e percettive, la memoria e le funzioni che chiamiamo superiori (linguaggio, coscienza, capacità logica, previsione delle conseguenze delle azioni, creatività e così via), capacità e funzioni che permettono la miglior adattabilità della nostra specie all'ambiente e rappresentano la base della cultura dell'uomo.