

La coscienza tra discriminazione e integrazione

di *Astro Calisi*

Fra le molte teorie che continuano a venir elaborate per gettar un po' di luce sul complesso fenomeno della coscienza, quella proposta recentemente da Marcello Massimini e Giulio Tononi nel loro libro, *Nulla di più grande* (1), non manca di un certo interesse.

In breve, detta teoria pone a fondamento del sorgere della coscienza due fattori principali: la capacità di *discriminare* tra un numero molto grande di stimoli e la capacità di *integrare* questi stimoli in modo da formare un insieme unitario e coerente.

Vengono infatti proposti due assiomi:

1° assioma: «L'esperienza cosciente è ricca di informazione – ossia, ogni esperienza cosciente differisce in un suo modo specifico da un numero incalcolabile di esperienze possibili. Ciò significa che il substrato della coscienza deve avere a disposizione un repertorio potenziale altrettanto grande di stati diversi». (2)

2° assioma: «L'esperienza cosciente è integrata – ossia ogni stato di coscienza è esperito come singola unità. Ciò significa che il substrato della coscienza deve anch'esso costituire una singola unità integrata». (3)

Quindi, secondo la teoria, affinché un qualsiasi sistema fisico sviluppi una qualche forma di coscienza, non è sufficiente che sia capace di riconoscere come diversi una gran varietà di stimoli (discriminazione), è anche necessario che, a un determinato istante, l'insieme degli stimoli venga percepito come una immagine unitaria (integrazione), utilizzabile, senza ulteriori elaborazioni, ai fini di una eventuale azione da intraprendere nell'ambiente.

Per meglio far comprendere il concetto di *integrazione dell'informazione*, gli autori ci propongono l'esempio della telecamera e del nostro sistema visivo. Una telecamera ha al suo interno un sensore formato da milioni di fotodiodi sensibili alla luce, in grado di suddividere una immagine in piccolissime parti che potranno successivamente essere ricomposte su un monitor. La telecamera si presenta come un oggetto unitario – osservano gli autori – ma quello che fa non ha nulla a che vedere con l'integrazione dell'informazione. Infatti, la porzione dell'immagine captata da ogni singolo fotodiodo viene puntualmente riprodotta sullo schermo video, senza che essa venga posta in relazione con altre porzioni. Siamo noi che cogliamo il tutto – l'immagine sullo schermo – come un insieme unitario.

Il nostro sistema visivo, invece, benché abbia come punto di partenza la retina, formata anch'essa da un gran numero di cellule fotosensibili tra loro indipendenti, elabora successivamente l'immagine raccolta confrontando i singoli segnali, facendo emergere linee orizzontali, linee verticali, i margini delle figure, il movimento, ecc. L'immagine generata dal nostro sistema visivo è

dunque un'immagine unitaria, ottenuta ponendo in relazione tra loro, a diversi livelli, gli elementi raccolti all'inizio. (4)

La coscienza, in base all'ipotesi formulata da Massimini e Tononi, sorge dunque di fronte alla necessità di integrare un numero enormemente alto di stimoli diversi, a cui corrisponde ovviamente un'organizzazione cerebrale assai complessa, dove molte zone nervose specializzate interagiscono tra loro scambiandosi segnali attraverso una fittissima rete di collegamenti. Se ciò è vero, allora dev'essere possibile mettere alla prova tale ipotesi, sottoponendola a situazioni concrete, verificando il diverso comportamento del cervello di un soggetto cosciente rispetto a quello di un soggetto privo di coscienza.

Scrivono Massimini e Tononi: «Il passo fondamentale verso lo sviluppo di una misura oggettiva e affidabile della coscienza è il seguente: individuare le proprietà del cervello che sono sempre presenti quando la coscienza è presente [...], e viceversa sono sempre assenti quando la coscienza svanisce [...]. L'idea di fondo è semplice: se un processo segnala infallibilmente la differenza tra un soggetto cosciente e uno incosciente, la presenza di questo stesso processo nel cervello di un soggetto che non risponde ad alcuno stimolo, deve essere assunta come segno di coscienza». (5)

Se davvero la coscienza ha origine da un elevatissimo grado di discriminazione e di integrazione dell'informazione, allora quello che occorre fare è perturbare una ristretta area del cervello e andare a vedere come varia l'attività nervosa nelle altre zone (6). Un cervello caratterizzato dalla coscienza dovrebbe essere un cervello in cui esiste un bilancio ottimale tra differenziazione dell'informazione e integrazione, dove elementi molto diversi tra loro sono in grado di interagire come un tutt'uno. L'ipotesi da verificare è quindi se la perturbazione produrrà una eco estesa e complessa quando è presente la coscienza e una eco locale o addirittura inesistente quando la coscienza è assente. (7)

Il metodo scelto da Massimini e Tononi per generare correnti in aree nervose ben definite è la *stimolazione magnetica intracranica*, tecnica non invasiva che sfrutta il principio dell'induzione magnetica. Per registrare l'estensione e la complessità della risposta viene invece usato un apposito apparecchio encefalografico in grado di registrare contemporaneamente segnali provenienti da circa 60 diversi punti della calotta cranica. (8)

Massimini e Tononi raccontano di aver intrapreso, sulle basi di questi elementi teorici e metodologici, una lunga ricerca sul campo, durata 10 anni. Con essa, gli autori si proponevano di verificare la solidità della loro concezione sulla coscienza. E' il resoconto di questa ricerca, secondo me, la parte più interessante del libro, perché qui ci si cimenta concretamente con i diversi stati associati alla coscienza o alla sua assenza – la veglia ordinaria, il sonno, il sogno, l'anestesia e il coma – fornendo un gran numero di informazioni e di notizie relative al funzionamento del cervello di cui solitamente non si parla nelle opere dedicate alla coscienza.

Le conclusioni di Massimini e Tononi in seguito alla loro lunga indagine è che la teoria da essi proposta ne esce pienamente confermata: in tutti gli stati in cui la coscienza è presente (in particolare la veglia e il sogno), la risposta del cervello alla stimolazione magnetica si presenta ampia e molto articolata; mentre invece tale risposta risulta essere molto limitata nel sonno senza sogni, nell'anestesia e nel coma profondo.

Siamo di fronte a un risultato di notevole rilievo, che emerge da una ricerca – stando al resoconto degli autori – svolta con metodi rigorosi e su un campione abbastanza ampio da essere ritenuto più che significativo.

Per quanto mi riguarda, riconosco senz'altro l'importanza della teoria della coscienza proposta da Massimini e Tononi, se non altro per la possibilità che essa lascia intravedere di venir utilizzata per riconoscere la presenza della coscienza in soggetti incapaci di comunicare con l'esterno, come tanti se ne incontrano negli ospedali di tutto il mondo, in conseguenza di gravi

incidenti. Tale teoria potrebbe fornire un criterio più affidabile delle misure tradizionali, quali il livello generale di attività cerebrale o il grado di sincronizzazione dei neuroni, per decidere se un soggetto che giace immobile su un letto è cosciente o meno. Non credo tuttavia che essa possa essere considerata una soluzione soddisfacente al problema del sorgere della coscienza.

Un conto è dire che esiste una stretta relazione tra l'ampiezza della diffusione di correnti indotte artificialmente in un cervello e la presenza della coscienza; un altro conto è concludere che tale scoperta è la *prova* della validità della teoria che pone all'origine della coscienza l'integrazione dell'informazione. L'integrazione dell'informazione, così come la capacità di discriminazione tra stimoli diversi, rappresentano indubbiamente aspetti importanti dell'attività del cervello e, come suggeriscono le ricerche di Massimini e Tononi, sono in qualche modo connesse alla presenza dell'esperienza cosciente. Ma da ciò a concludere che l'integrazione dell'informazione, qualora sviluppata a livelli elevatissimi, *produce* la coscienza, ce ne corre.

In definitiva, l'esistenza di una relazione tra integrazione e coscienza non costituisce necessariamente una *spiegazione*, intendendo con questo una teoria capace di farci capire *come* un insieme di processi nervosi (o anche una data organizzazione nervosa) possa dar luogo (in senso causale) al fenomeno che chiamiamo *coscienza*.

Credo però sia venuto il momento di scendere un po' più nello specifico della teoria di Massimini e Tononi, per entrare nel merito delle principali argomentazioni portate a suo sostegno. Cominciamo col prendere in considerazione la contrapposizione tra telecamera e sistema visivo biologico quale esempio per illustrare il concetto di integrazione dell'informazione. Proponendo un simile esempio, i nostri autori sembrano ignorare completamente il fatto che la nostra tecnologia permette già oggi di costruire sistemi robotici altamente sofisticati, provvisti di occhi e di orecchi artificiali, dove le informazioni raccolte vengono sottoposte a diversi processi di elaborazione al fine di essere poi utilizzate per la gestione delle attività che il robot è chiamato a svolgere.

Si potrebbe ribattere che la quantità di informazioni trattate e il grado di integrazione di queste sono ancora troppo limitati in detti sistemi perché si possa avere una sia pur minima forma di coscienza. Ma nulla vieta di immaginare (perché tecnicamente possibile) di dotare il sistema robotico di una capacità visiva con una risoluzione molto superiore a quella dell'uomo, una capacità di discriminazione sonora in grado di distinguere anche i centesimi di tono. Lo stesso potrebbe essere fatto per le informazioni tattili ed, eventualmente, per quelle olfattive/gustative. E siamo solo all'inizio, poiché il sistema potrebbe essere provvisto non soltanto degli ordinari canali percettivi che contraddistinguono gli esseri viventi, ma anche di dispositivi per la raccolta di altri tipi di informazione dall'ambiente: potrebbe essere reso sensibile alle minime variazioni della pressione atmosferica, al grado di umidità, agli ultrasuoni, ai campi magnetici, ai raggi infrarossi e agli ultravioletti, alla radioattività, e tanto altro ancora.

Dal lato dell'integrazione dell'informazione, il tutto andrebbe ovviamente elaborato a diversi livelli così da dar luogo a un insieme fortemente unitario, utilizzabile per la gestione delle attività del sistema. Non ci sono limiti al grado di interconnessione che può essere stabilito tra le diverse tipologie di stimoli e quindi tra i specifici sottosistemi tesi alla loro elaborazione.

Nulla però fa ritenere – almeno per quanto ne sappiamo – che all'interno di un simile sistema si svilupperebbe una qualche forma di coscienza, sia pur molto elementare. Se anche collegassimo tramite la rete internet il sistema con tutti i computer del mondo, se lo rendessimo capace di cogliere immagini, suoni e ogni altro genere di informazione in numerose località del nostro pianeta, se facessimo sì che nelle stesse località esso abbia la possibilità di promuovere azioni coordinate e di riferirne l'esito all'unità centrale, ancora una volta esso continuerebbe ad operare al “buio” per quanto riguarda la consapevolezza, vale a dire in maniera del tutto automatica e impersonale.

Gli autori sottolineano volentieri che il cervello, con i suoi 100 miliardi di neuroni e i 100 trilioni di collegamenti che mettono in comunicazione le diverse aree nervose, costituisca la struttura più complessa dell'universo. Questo concetto viene espresso fin dal titolo della loro opera: *Nulla di più grande*. Ma un simile sforzo teso a sottolineare la meravigliosa complessità del cervello umano non sembra mirare a una migliore comprensione del cervello stesso; si direbbe piuttosto che esso sia finalizzato a scoraggiare qualsiasi tentativo di confutazione con riferimento ai sistemi artificiali oggi esistenti. Si da infatti a intendere che ciò che fa il cervello non è neppure lontanamente paragonabile a quello ottenibile dalle più sofisticate macchine elaboratrici finora realizzate.

Questo poteva tuttavia essere vero fino a qualche anno fa. Gli attuali supercomputer, utilizzati soprattutto in campo militare e nella ricerca scientifica, operano in parallelo, esattamente come fa il nostro cervello, compiendo miliardi di operazioni al secondo; le loro memorie di massa possono contenere migliaia di miliardi di byte di informazione (Tbyte), vale a dire una quantità impressionante di dati e/o programmi sofisticatissimi. E se tutto questo non dovesse sembrare sufficiente, si tenga sempre presente la possibilità di collegare tra loro migliaia o, anche, milioni di computer con le relative memorie e capacità di elaborazione. Il problema non sta dunque nella complessità del sistema da implementare per raggiungere le condizioni in cui – secondo gli autori – dovrebbe fare la comparsa la coscienza. Il problema è che *nessuno sa come dovrebbe essere organizzato un sistema affinché al suo interno emerga una qualche forma di esperienza cosciente*. Sempre ammesso che la complessità nel senso descritto da Massimini e Tononi sia una condizione sufficiente per dar vita alla coscienza (cosa di cui, personalmente, dubito fortemente)

In che modo i nostri autori cercano di superare il gap tra le operazioni di cui i nostri computer sono capaci e le proprietà di ordine completamente diverso associate alla coscienza?

In maniera non molto dissimile da tanti altri studiosi, prima di loro: con un espediente che è poco meno di un insulto alle nostre capacità razionali.

Partiamo da alcune affermazioni che compaiono nel libro:

1) *Informazione integrata*: «informazione generata da un sistema al di sopra di quella generata dalle parti che lo compongono». (9)

2) «Un sistema fisico esiste come un tutt'uno solo quando gli elementi che lo compongono sono legati tra loro da meccanismi causali così stretti che l'informazione generata dal sistema intero è irriducibile a quella generata dalle singole parti isolate». (10)

3) «La coscienza c'è quando è presente un nucleo di complessità irriducibile». (11)

4) «Secondo la teoria dell'informazione integrata, la coscienza corrisponde proprio alla massima concentrazione di informazione, ossia alla massima informazione che il sistema genera al di sopra delle parti che lo compongono». (12)

Esprimendo questi concetti, i nostri autori mostrano di credere alla possibilità che nuova informazione possa essere “generata” all'interno di un sistema elaborando opportunamente l'informazione già in possesso del sistema. Si parla infatti di “informazione irriducibile”, di informazione generata “al di sopra” di quella esistente nelle singole parti che compongono il sistema. Ma, l'elaborazione dell'informazione, vale a dire la trasformazione dei dati disponibili in altri dati secondo procedure predeterminate, per quanto complesse queste possano essere, non produce mai nuova informazione, cioè informazione che non possa essere ricondotta ai dati iniziali mediante opportuni passaggi. Neppure gli sviluppi più estremi della teoria dell'informazione

prevedono la possibilità di una “creazione di informazione”, ossia di nuova informazione che non derivi da ulteriori dati provenienti dall’*esterno* del sistema. Si tratta di una vera e propria assurdit  sotto il profilo logico, che ricorda molto da vicino il concetto di *propriet  emergente* – concetto che ancora sopravvive in qualche forma negli scritti e nei dibattiti attuali sulla mente – secondo il quale nuove caratteristiche e nuovi attributi, *irriducibili alle caratteristiche e agli attributi iniziali*, possono fare la loro comparsa in determinati insiemi strettamente interconnessi allorch  si raggiunge un certo livello di complessit . (13)

Fa un po’ meraviglia che studiosi accorti come Massimini e Tononi, finiscano per cadere in una trappola concettuale di queste dimensioni. Anche se – a mio avviso – il venir meno ai principi della razionalit  scientifica dando per scontata la validit  di un qualche presupposto indimostrabile, rappresenta il prezzo inevitabile da pagare per ricondurre la mente, e segnatamente la coscienza, all’interno degli attuali paradigmi naturalistici. (14)

Massimini e Tononi mostrano di non riuscire a sottrarsi a una simile “necessit ”. Essi fanno della “creazione di nuova informazione” un punto cardine della loro teoria. Tant’  vero che, verso la fine del libro, affrontando lo spinoso problema dell’*efficacia causale* della coscienza (sovrapponibile per molti versi a quello del *libero arbitrio*), affermano che il potere causale della coscienza dipende strettamente dalla capacit  di questa di dar vita a nuova informazione. In altre parole, la coscienza avrebbe effetti sul comportamento degli esseri viventi nella misura in cui   in grado di generare informazione non riconducibile a quella gi  immagazzinata nelle diverse zone del cervello. (15)

Non siamo ancora alla soluzione del problema del libero arbitrio – e gli autori ne sono consapevoli – ma si   trovato un modo per dare un senso a ci  che l’intuizione ci suggerisce con forza, e ci  che la coscienza si   sviluppata negli organismi viventi parallelamente alla loro evoluzione perch  conferisce probabilmente un qualche vantaggio adattativo. Peccato che tale senso manchi di qualsiasi fondamento e, anzi, rischi di riportare la riflessione sulla mente nei pantani della metafisica!

Il concetto di propriet  emergente   alimentato da un equivoco di fondo, che pochi si mostrano in grado di cogliere: l’equivoco sta nello scambiare un limite che, con tutta probabilit ,   *oggettivo*, consistente nell’impossibilit  di ricondurre una determinata classe di fenomeni ad un’altra classe di fenomeni di natura completamente diversa, per un limite *soggettivo* (relativo all’osservatore), che si riferisce invece alla nostra incapacit  di ricostruire tutti i passaggi che conducono da un ordine di fenomeni all’altro ordine, che si postula dipendente causalmente dal primo. Quando tale concetto si applica alla spiegazione del sorgere della coscienza, esso si richiama immancabilmente alla incredibile complessit  del nostro cervello per giustificare, in maniera sostanzialmente fideistica, la nascita di caratteristiche e propriet  della materia completamente nuove, che sfuggono a ogni legge scientifica nota.

Non   certo un caso che gli autori riducano i poteri causali della coscienza all’accrescimento di informazione a cui questa darebbe luogo. Non si soffermano neppure per un istante su un importante aspetto della coscienza, e ci  sulla duplice veste con cui essa si presenta a ciascuno di noi: *passiva*, quando accompagna i contenuti delle percezioni e delle sensazioni interne; *attiva*, quando   associata al controllo volontario del comportamento motorio e di numerose funzioni cognitive superiori. In questa seconda forma, la coscienza ha ben poco a che vedere con l’informazione, tant’  vero che essa pu  avere effetti anche in assenza di informazioni: basta volere (coscientemente) che il proprio braccio si sollevi e questo docilmente ubbidir . Nessuna informazione   richiesta, e non c’  neppure bisogno che tale gesto abbia uno scopo.

La forma attiva della coscienza viene raramente presa in considerazione dalla riflessione sulla mente, almeno non in maniera cos  esplicita, poich  essa evoca scenari assai poco compatibili con la concezione che vorrebbe la coscienza una mera emanazione dell’attivit  cerebrale. Infatti,

una coscienza in grado di influire sul comportamento, e quindi utile ai fini dell'adattamento all'ambiente, non può che essere una coscienza in grado di offrire *qualcosa in più* rispetto ai sottostanti processi nervosi che si svolgono nel cervello. Ma una coscienza che offre qualcosa in più è una coscienza che non è completamente sovrapponibile all'attività cerebrale... A meno che non si postuli la nascita di proprietà e caratteristiche del tutto nuove, che non siamo però in grado di spiegare con i modelli teorici di cui oggi disponiamo.

Il problema dell'efficacia causale della coscienza è una questione seria che non si può sperare di superare con simili artifici. E' significativo che Massimini e Tononi, pur soffermandosi a più riprese sui comportamenti automatici che operano al di sotto della soglia della consapevolezza integrandosi con le azioni svolte coscientemente, ignorano del tutto la domanda se esista una qualche differenza sotto il profilo qualitativo, tra i due tipi di attività.

Negli organismi viventi esistono innumerevoli meccanismi che operano tipicamente al di sotto del livello cosciente. Molti di questi meccanismi sono diretti al mantenimento delle funzioni di base, avendo a che fare con il mantenimento dell'integrità dell'organismo (battito cardiaco, temperatura corporea, livello delle diverse sostanze nel sangue, difesa dagli agenti patogeni esterni, ecc.). Si tratta per lo più di meccanismi innati, sottratti alla possibilità di un controllo cosciente.

Altri meccanismi si rivelano invece *appresi*: sono tutte quelle sequenze comportamentali che abbiamo imparato a poco a poco a svolgere al di fuori dell'attenzione cosciente. Diciamo che siamo "addestrati" a svolgere un determinato lavoro o che siamo "abituati" a comportarci in determinate maniere: in realtà intendiamo dire che riusciamo a compiere le relative operazioni senza impegnare in esse la coscienza, o meglio impegnandola, spesso marginalmente, soltanto in un'attività di supervisione ad alto livello, mentre i particolari vengono eseguiti in maniera automatica.

La coscienza, in linea generale, sembrerebbe invece essere richiesta dalle attività – percettive o motorie – che, almeno qualche aspetto, non rientrano negli schemi di orientamento predefiniti di cui ciascuno di noi dispone. Un suono improvviso richiama prepotentemente la nostra attenzione cosciente, e così pure un oggetto che inizi a muoversi o modifichi in modo inatteso il proprio aspetto o comportamento. Lo stesso accade quando, nel corso di un'azione svolta abitualmente in maniera automatica e inconsapevole, ci imbattiamo in un imprevisto o in una situazione nuova.

La coscienza si presenta dunque in connessione con la *novità*. Ogni attività nuova, almeno finché dura la fase di apprendimento, richiede un certo grado di attenzione cosciente. Successivamente, le diverse sequenze operative, riconducibili a modalità di esecuzione standard, tenderanno a svolgersi in maniera sempre più automatica, lasciando libera la coscienza di occuparsi d'altro.

Possiamo isolare due aspetti importanti della differenziazione tra attività automatiche e attività coscienti:

1) Gli automatismi, che seguono routine operative ben definite, si rivelano di solito più rapidi e precisi nelle risposte rispetto ai comportamenti coscienti, ma anche più stereotipati. I comportamenti posti sotto il controllo della coscienza sono, sì, più lenti e a volte maldestri, ma anche maggiormente capaci di affrontare le situazioni nuove.

2) L'attenzione cosciente tende a focalizzarsi su un solo elemento (o insieme omogeneo di elementi) alla volta, costituendo, di fatto, una sorta di *collo di bottiglia* per l'attività dell'organismo; mentre le operazioni automatiche possono svolgersi in contemporanea, anche in numero notevole, senza che vi siano interferenze di rilievo nel loro controllo.

Si può presumere, coerentemente con la teoria proposta da Massimini e Tononi, che la coscienza impegni numerose zone cerebrali e quindi si trovi in difficoltà a occuparsi di più cose contemporaneamente; le diverse attività automatiche, che fanno capo con tutta probabilità ad aree del cervello ben circoscritte, possono invece svolgersi nello stesso tempo, una accanto all'altra.

Il lettore attento potrebbe, a questo punto, sollevare un'obiezione: una coscienza che funzioni come *integratore dell'informazione*, tesa cioè a sintetizzare in un insieme coerente i diversi fattori presenti a un dato istante, non dovrebbe offrire una visione d'insieme di questi fattori, piuttosto che focalizzarsi su uno soltanto di essi, escludendo gli altri?

Lo dico in termini diversi: se uno dei compiti della coscienza è quello di integrare informazioni differenti o, ancor più, se essa ha origine proprio da questo processo, come si spiega che, nella esperienza di ciascuno di noi, la coscienza assuma invece caratteristiche fortemente selettive, presentandoci un solo elemento o aspetto della realtà alla volta?

A questa obiezione non si trova risposta nell'opera di Massimini e Tononi. Più in generale, rimane un problema di fondo che la teoria della coscienza come integrazione è ben lungi dal risolvere. Se esistono pochi dubbi che il sorgere della coscienza richieda l'attivazione di una porzione della materia cerebrale assai estesa, ciò non è sufficiente a spiegare *come* la coscienza sia possibile.

Sotto un profilo strettamente razionale, una maggiore complessità dell'organizzazione cerebrale può condurre soltanto a una gamma più ampia e variegata di risposte. Mai a qualcosa di *irriducibile* alla quantità e alla varietà. La *creatività*, strettamente connessa alla capacità di affrontare il nuovo, si pone, per definizione, al di là degli schemi di riferimento posseduti a un determinato istante, e quindi di un qualsiasi sistema che operi (come è inevitabile che sia) secondo principi prestabiliti (16). Ciò vale anche per il cervello, in quanto organo soggetto alle ordinarie leggi fisiche, o (se preferiamo esprimerci nel linguaggio informatico) il cui funzionamento è interamente riconducibile a una serie, sia pur molto numerosa di algoritmi.

La conclusione inevitabile è che la complessità, per quanto spinta, non è in grado di spiegare il sorgere della coscienza (ancor meno una coscienza che si fondi su un processo "creativo") se non ricorrendo ad espedienti la cui accettazione richiede una sospensione del nostro senso critico.

In ogni caso, opere come quella di Massimini e Tononi, specialmente se promuovono indagini cliniche o sperimentali, sono sempre meritevoli. Infatti è precisamente dalla ricerca sul campo, perfino se guidata da presupposti errati, che possono venire gli stimoli per un superamento delle attuali prospettive, sempre più inconcludenti, per approdare a una visione della mente radicalmente nuova.

NOTE

(1) Marcello Massimini & Giulio Tononi, *Nulla di più grande. Dalla veglia al sonno, dal coma al sogno. Il segreto della coscienza e la sua misura*, Baldini & Castoldi, Milano, 2013.

(2) Ibid., pag. 86

(3) Ibid., pag. 91

(4) Ibid., pagg. 86-87.

(5) Ibid., pag. 129.

(6) Ibid., pag. 133.

(7) Ibid., pag. 141.

(8) Ibid., pag. 139

(9) Ibid., pag. 97.

(10) Ibid., pag. 195.

(11) Ibid., pag. 167.

(12) Ibid., pag. 204.

(13) Per una critica radicale al concetto di “proprietà emergente”, si veda Astro Calisi, *Oltre gli orizzonti del conosciuto. La sfida cruciale della mente alla scienza del XXI secolo*, Uni Service, Trento, 2011, pagg. 190-219.

(14) Per un approfondimento di questa mia tesi, cfr. Astro Calisi, *Op. cit.*, pagg. 231-255.

(15) Massimini & Tononi, *Op. cit.*, pag. 204.

(16) Per una discussione della nozione di *creatività* secondo questa concezione, si veda Astro Calisi, “La creatività negata. Procedimenti algoritmici e leggi generali nella produzione del nuovo”, in Id., *Op. cit.*, pagg. 25-38.