

FORUM

Modularità ed esperienza cosciente in una prospettiva neurocognitiva

Andrea Nani^{(α),(β)}

Ricevuto: 26 gennaio 2018; accettato: 7 luglio 2018

Riassunto L'esperienza cosciente sembra essere un soggetto di studio elusivo per la ricerca neuroscientifica. Tuttavia, da un punto di vista operativo e neurocognitivo, l'esperienza cosciente può essere vista come una collezione di eventi inseriti in una cornice bidimensionale. Una dimensione è relativa al livello di vigilanza o grado di veglia, l'altra dimensione è relativa ai contenuti esperienziali, gli oggetti della nostra consapevolezza fenomenica. A dispetto della variabilità di queste due dimensioni, il senso di unità cosciente sembra essere di norma profondo, reale e immediato. Nondimeno, alcune condizioni neurologiche avvalorano l'ipotesi che quest'unità sia il risultato di una costruzione operata da delicati e complessi meccanismi cerebrali. Si esamineranno pertanto, in una prospettiva neurocognitiva, i dati provenienti da alcune ricerche empiriche su pazienti affetti da epilessia, i risultati degli esperimenti condotti su persone *split-brain* e di minima coscienza, che dimostrano come l'esperienza cosciente si basi su un'organizzazione modulare del cervello.

PAROLE CHIAVE: Coscienza; Modularità; Livello; Contenuto; Epilessia; Split-brains; Stato di minima coscienza

Abstract *Modularity and Conscious Experience in a Neurocognitive Perspective* – Conscious experience seems to be an elusive matter of study for neuroscientific research. From an operational and neurocognitive point of view, however, conscious experience can be considered as a collection of events within a bidimensional framework. One dimension relates to wakefulness or the level of arousal, the other dimension relates to experiential contents, the objects of our phenomenal awareness. The variability of these two dimensions notwithstanding, the sense of conscious unity generally appears to be deep, real and immediate. Still, certain neurological conditions provide evidence for the hypothesis that this unity may be the result of a construction achieved by subtle and complex brain mechanisms. Taking the neurocognitive perspective, I will examine data coming from empirical research on patients with epilepsy and present some results from experiments conducted on *split-brain* patients and individuals in a minimally conscious state, which show how conscious experience may be rooted in the modular organisation of the brain.

KEYWORDS: Consciousness; Modularity; Level; Content; Epilepsy; Split-brains; Minimally Conscious State

^(α)Dipartimento di Psicologia, Università degli Studi di Torino, via Verdi, 10 - 10124 Torino (I)

^(β)FOCUS Lab - Dipartimento di Psicologia, Università degli Studi di Torino, via Verdi, 10 - 10124 Torino (I)

E-mail: andrea.nani@unito.it (✉)



Le coordinate della coscienza

LA PAROLA “COSCIENZA” HA LA fortuna e la sfortuna di avere molti significati. Fortuna perché le sue molte denotazioni e connotazioni riflettono l'importanza che questa parola ha nel linguaggio umano. Sfortuna perché la scienza è praticamente impossibilitata a tracciare confini precisi per lo studio di tale fenomeno. In una bella e meticolosa review il neurologo Adam Zeman identificava almeno tre grandi campi di significato in cui poteva essere utilizzata la parola “coscienza”: (1) lo stato di veglia; (2) l'esperienza consapevole; (3) l'attività mentale *tout court*.¹ Procedeva poi distinguendo tra “coscienza” e “coscienza di sé” (o “autocoscienza”). Mentre la prima può essere intesa come vigilanza, esperienza e mente cosciente, la seconda implica una serie di accezioni aggiunte che vanno dal riconoscimento di sé all'autoconoscenza, alla coscienza di essere coscienti e alla propensione all'imbarazzo.

A loro volta, alcuni libri di testo di neurofisiologia danno della coscienza una definizione cumulativa, sussumendo sotto questo termine diverse operazioni mentali, quali la percezione, la vigilanza, l'attenzione, la memoria e la motivazione.² A complicare maggiormente il quadro teorico, coscienza e consapevolezza sono spesso considerate sinonimi, benché, dal punto di vista strettamente cognitivo, si riferiscano a processi mentali differenti (si può, per esempio, avere consapevolezza senza esserne coscienti, come nella visione cieca). Il neurofisiologo Wolf Singer ha cercato di riassumere la questione in questi termini:

Il termine “coscienza” presenta un numero di connotazioni diverse, che spaziano dalla consapevolezza delle proprie percezioni e sensazioni alla consapevolezza di sé, alla percezione di sé come un agente dotato di intenzionalità e libero arbitrio. [...] La prima connotazione di coscienza, la consapevolezza fenomenica, dovrebbe essere in principio affrontabile all'interno

di una descrizione dei sistemi neurobiologici, poiché tale problema può essere probabilmente ridotto alla questione di come sono organizzate le rappresentazioni neurali. Le altre connotazioni, per contro, trascendono la semplice descrizione neurobiologica, poiché portano con sé una dimensione sociale, culturale e storica.³

Questa varietà di significati è dovuta anche al fatto che il termine “coscienza” è usato per indicare fenomeni disparati in differenti discipline (per esempio, nell'ambito medico-clinico, nelle neuroscienze, nella psicologia e nella filosofia, per elencarne solo alcune). Di conseguenza, l'accezione del termine varia a seconda del contesto in cui questo viene utilizzato. Inoltre, che il fenomeno dell'esperienza cosciente sia assai complesso e articolato è avvalorato dal vasto panorama di teorie filosofiche e neuroscientifiche che cercano di darne una spiegazione.⁴ Tuttavia, a dispetto di siffatta lussureggiante fioritura di significati e di teorie, si può sostenere che, da un punto di vista strettamente operativo e neurocognitivo, ogni evento cosciente debba essere inserito in una cornice di coordinate bidimensionali, potendo sempre essere descritto secondo due distinte dimensioni: il grado di “alerta” o di “vigilanza” da una parte, e la “consapevolezza fenomenica” dall'altra.⁵ La prima dimensione si riferisce allo stato di veglia, e quindi anche al grado di intensità e di vividezza delle esperienze coscienti; la seconda si riferisce ai contenuti della coscienza, comprendendo pertanto ogni possibile oggetto di rappresentazione mentale cosciente (percezioni, sensazioni, emozioni, sentimenti, pensieri, e così via). L'unione di queste due dimensioni determina uno stato di piena coscienza, a cui d'ora in avanti ci si riferirà con l'espressione “esperienza cosciente”.

La distinzione tra queste due dimensioni trova ragione nel fatto che esse dipendono da sistemi neurofisiologici diversi.⁶ Infatti, i correlati neurali dello stato di veglia sono costituiti dall'attivazione della formazione reticolare ascendente del tronco encefalico, dei nu-

clei aspecifici del talamo e delle ampie proiezioni talamo-corticali verso la corteccia.⁷ Questi tipi di attività sono notevolmente ridotti durante il sonno, gli stati comatosi, l'anestesia e alcune crisi epilettiche. A loro volta, i correlati neurali dell'esperienza cosciente si ritrovano in vaste ed estese reti neurali, di cui fanno parte le aree associative della corteccia fronto-parietale, temporale e occipitale. Inoltre, la caratteristica emozionale dell'esperienza sembra essere associata all'attività delle strutture limbiche del lobo temporale mesiale.

È importante evidenziare che le due dimensioni non sono su un piano di parità gerarchica. Occorre infatti essere prima vigili per avere contenuti esperienziali coscienti. In altre parole, la normale attivazione delle strutture cerebrali associate allo stato di veglia è un essenziale prerequisito affinché si realizzino le funzioni cognitive più elevate della corteccia. Si può affermare, pertanto, che la consapevolezza fenomenica si basa in primo luogo sull'integrità dei processi che mantengono lo stato di veglia.

Infine, un aspetto fondamentale dell'attività neurale associata all'esperienza cosciente è la "ricorsività". In altre parole, le aree cerebrali deputate all'esperienza cosciente sarebbero tra di loro connesse da circuiti rientranti (*reentrant signalling loops*) che permetterebbero l'elaborazione continua dell'informazione, in modo da costruire e mantenere tramite un sistema massivo di feedback un processo cosciente continuo.⁸ I circuiti talamo-corticali, in particolare, sembrano attivarsi secondo una modalità ricorsiva capace di autosostenersi. Ciò, per esempio, è stato dimostrato per le aree cerebrali associate alla visione.⁹ In aggiunta alla ricorsività, lo scambio di informazione tra estesi network cerebrali renderebbe possibile l'integrazione di differenti attributi (cioè ogni singolo aspetto della scena cosciente, come il colore, la forma, il movimento, ecc.) e, conseguentemente, la costruzione di una scena percettiva coerente.

Il senso di unità dell'esperienza cosciente è sorprendente se si pensa a quanti processi

neurofisiologici sono coinvolti nella sua generazione. Ci si può lecitamente domandare, allora, se questa unitarietà sia reale (che sia cioè generata immediatamente come un tutt'uno) oppure illusoria (che sia cioè costruita successivamente da un insieme "composito" ed eterogeneo di parti). Nel primo caso ci troveremmo in uno scenario teorico più semplice, perché ci aspetteremmo di identificare un circuito neurale dominante, formato da aree cerebrali con alta valenza associativa, in grado di elaborare l'informazione in uno stato mentale cosciente. Se così fosse, la compromissione di tale circuito danneggerebbe l'esperienza cosciente globalmente, toccando qualunque suo aspetto, indipendentemente dal tipo di informazione (sensoriale, emozionale, mnemonica, ecc.) oggetto dell'elaborazione. Finora, la ricerca scientifica di questo circuito fondamentale non ha portato a risultati soddisfacenti, benché si siano avanzate proposte interessanti per la sua individuazione.¹⁰ Sono tuttavia proposte teoriche che, più che su un circuito distinto e isolato, puntano l'attenzione su una rete di attivazione (o spazio di lavoro globale) che si estende su così vasta scala da coinvolgere quasi l'intero cervello. Nel caso in cui, per contro, la coscienza fosse uno stato composito, ci troveremmo in uno scenario teorico più complesso di quello precedente, perché ci aspetteremmo il coinvolgimento di molti circuiti neurali variamente distribuiti, in grado di interagire così strettamente tra loro da generare il senso di unità della coscienza. Se così fosse, la compromissione di uno di questi circuiti, più o meno specializzati nell'elaborare un certo tipo di informazione, danneggerebbe l'esperienza cosciente in modo parziale o frammentario, mantenendo preservati gli altri suoi aspetti.

È controverso se questi due approcci teorici possano essere riconciliati. Durante gli ultimi anni il primo, nella versione dello spazio di lavoro globale, ha ricevuto maggiore attenzione dalla comunità scientifica. L'idea di un unico spazio di lavoro in cui globalmente tutto acquisterebbe coscienza è stata infatti variamente declinata da Bernard Baars,

Gerald Edelman, Giulio Tononi e Stanislas Dehaene.¹¹ Quest'ultimo, in particolare, come abbiamo già accennato, ha proposto una versione dello spazio di lavoro globale in un contesto prettamente neuroanatomico. In quest'ottica, un grande network centrale (formato da vaste aree associative frontoparietali) avrebbe la capacità di integrare l'informazione già preelaborata da altri sottoneuroni con funzioni altamente specifiche e segregate.

L'altro approccio teorico, per contro, non confina la coscienza a un'attività di un network centrale di integrazione e diffusione dell'informazione, ma rivendica la possibilità che, in linea di principio, ogni area della corteccia sia in grado di elaborare l'informazione a livello cosciente. In tal senso, i vari aspetti della scena cosciente sarebbero già percepiti coscientemente nelle aree sensoriali della corteccia primaria e non necessiterebbero di essere anche elaborati da aree associative di più alto livello. Nel vocabolario di Semir Zeki, l'esponente principale di questa corrente teorica, la corteccia primaria sarebbe in grado di produrre microcoscienze, che sarebbero poi assemblate in una macrocoscienza da altre aree cerebrali gerarchicamente sovraordinate, ma sempre relative alla stessa modalità sensoriale, fino ad arrivare alle regioni della corteccia associativa vera e propria, in grado di combinare le diverse macrocoscienze in una coscienza unificata.¹²

Negli anni più recenti sono inoltre emersi degli approcci che si potrebbero definire di "neurotopografia". Il cervello è infatti sempre più studiato dal punto di vista delle reti neurali che le varie aree cerebrali formano tra loro. Queste reti neurali sono network funzionali specializzati che si autosostengono tramite le connessioni rientranti di cui abbiamo parlato poco più sopra. All'interno del cervello questi network funzionali dialogano e competono per la preminenza, a seconda degli stimoli interni ed esterni all'organismo. Tra i principali e più studiati ricordiamo il default mode network, che si attiva maggiormente quando il cervello è "a riposo", cioè quando

non è impegnato in un compito particolare, i network dell'attenzione ventrale e dorsale, che dirigono e mantengono l'attenzione, il network della salienza, che valuta l'importanza di uno stimolo, il network motorio, che si attiva nella programmazione e nell'esecuzione dei movimenti, il network linguistico, che si occupa della comprensione e della produzione delle parole, e il network visivo, che si occupa di costruire la scena visiva.¹³

Utilizzando una metodologia basata sulla teoria dei grafi è ora possibile esplorare l'organizzazione di tali network e studiarne le proprietà funzionali sia in persone sane sia in persone malate.¹⁴ In particolare, si è visto che questi network possono subire riorganizzazioni radicali in pazienti affetti da disturbi di coscienza (quali il coma, gli stati vegetativi e di minima coscienza).¹⁵ La riorganizzazione ruoterebbe attorno ai nodi (*hubs*) preservati e ancora efficienti dopo il trauma cerebrale, cioè attorno alle aree maggiormente connesse sia dal punto di vista anatomico sia dal punto di vista funzionale. Queste scoperte suggeriscono che i differenti network cerebrali sviluppano proprietà topologiche che possono essere conservate o, in un certo grado, ripristinate a seconda del grado di preservazione dei nodi essenziali per il loro funzionamento.

Sulla base della concezione che il cervello è un insieme di reti neurali funzionalmente specializzate, hanno ricevuto nuovo impulso gli studi di stimolazione corticale, anche grazie all'utilizzo di tecniche non invasive di stimolazione della corteccia, come la stimolazione magnetica transcranica, e all'accoppiamento di queste con metodiche già ampiamente collaudate (per esempio, la stimolazione magnetica transcranica accoppiata alla risonanza magnetica funzionale o all'elettroencefalografia). Tali strumenti vengono impiegati per perturbare in modo mirato i network, o alcune delle aree che li compongono, al fine di studiare se e in che misura l'alterata o la temporaneamente inibita attività delle regioni perturbate possa modulare e variare l'esperienza soggettiva.¹⁶

In sintesi, le teorie componenziali della coscienza implicano che questa possa essere

colpita selettivamente, a seconda di quale suo componente (o microcoscienza o macrocoscienza o network funzionale) venga meno. Ciò è stato mostrato chiaramente anche in ambito neuropsicologico.¹⁷ Come si vede, dunque, l'interesse per questo secondo approccio teorico non si è mai sopito, anche perché poggia le sue basi su solide considerazioni empiriche, che ora ci proponiamo di esplorare più nel dettaglio.

■ L'architettura modulare del cervello

Uno dei principi alla base delle scienze cognitive è che moduli neurali specializzati, interagenti in modi sia gerarchici sia paralleli, compongano l'organizzazione cerebrale.¹⁸ Ciò è dimostrato in particolare riguardo al processamento dell'informazione sensoriale. Gli studi sulla visione, per esempio, hanno rivelato che il lobo occipitale è composto da molte aree specializzate nell'elaborazione di aspetti diversi della scena visiva, come la forma degli oggetti, il movimento e il colore.¹⁹ Considerazioni simili possono essere sostenute riguardo ai sistemi neurali che elaborano l'informazione proveniente dagli altri canali sensoriali. All'interno di tali sistemi (uditivo, olfattivo, gustativo e somatosensoriale) i neuroni formano coalizioni che presentano vari gradi di specializzazione a seconda dei differenti stimoli percepiti.²⁰

L'architettura modulare dà al cervello un grande vantaggio evolutivo, rendendo quest'organo più efficiente, flessibile e adattabile di fronte alle numerose sfide presentate da un ambiente naturale variabile e dinamico. Infatti, ogni sistema organizzato modularmente può generare facilmente nuove funzioni da quelle preesistenti e, soprattutto, continuare a operare nel caso in cui una sua componente non essenziale sia danneggiata.

Sebbene l'organizzazione modulare sia ben dimostrata per le funzioni cognitive della corteccia primaria sensoriale, non lo è altrettanto per le funzioni cognitive di più alto livello della corteccia associativa. Le aree che compongono questo tipo di corteccia sem-

brano essere coinvolte in differenti tipi di funzioni cognitive, dal linguaggio alla memoria, alla pianificazione di una linea di condotta, al pensiero astratto.²¹ Un'organizzazione modulare sarebbe quindi utile a un livello più semplice di elaborazione (quello sensoriale), dove è possibile separare e identificare i diversi aspetti di una scena percettiva, ma non a un livello più complesso, dove l'informazione necessita di essere resa disponibile ad ampi network cerebrali affinché la processino ricorsivamente e in parallelo per sostenere l'integrazione di funzioni differenti. Tuttavia, a uno scrutinio più attento, pare che anche le funzioni cognitive di più alto livello possano essere scomposte fino a un certo punto in attività più semplici. Un modello teorico che ha avuto grande fortuna, per esempio, suddivide la memoria in quattro funzioni associate a moduli specifici: un sistema esecutivo centrale e tre sistemi satelliti di deposito temporaneo di informazioni, denominati rispettivamente taccuino visuospaziale, buffer fonologico e buffer episodico.²² Si è inoltre sostenuto che pure il sistema di controllo esecutivo, supportato dai network associativi del lobo frontale, riveli a un esame più dettagliato una struttura di sottosistemi specializzati funzionalmente.²³

L'approccio a considerare il cervello come composto di moduli neurali specializzati, difeso a livello teorico da Peter Carruthers,²⁴ prende il nome di "modularità massiva" e trova sostenitori in ambito scientifico soprattutto nel campo della psicologia evoluzionista.²⁵ Sono state tuttavia avanzate altre posizioni, supportate da argomenti sia teorici sia empirici, che si oppongono alla concezione della modularità massiva, secondo le quali non è possibile ricondurre le funzioni mentali a carattere generale e le differenze che al loro interno si riscontrano tra individuo a individuo all'interazione di attività di moduli neurali altamente dominio-specifici.²⁶

Vi è poi la questione della natura dei moduli neurali, i quali possono assumere svariate caratteristiche.²⁷ Questo non è il luogo per discutere approfonditamente le teorie sull'organizzazione modulare del cervello; per

una completa disamina del problema si veda Shallice e Cooper.²⁸ Qui adotteremo semplicemente un'assunzione generale alla base della neuropsicologia cognitiva, secondo cui un modulo è un "sottosistema funzionale isolabile", cioè un apparato cognitivo in grado di operare indipendentemente da altri moduli, anche se non con lo stesso grado di efficienza che avrebbe se operasse di concerto con gli altri.²⁹ In base a quest'ampia definizione, un modulo non è né propriamente rigido né autonomo computazionalmente. Per contro, i moduli sono concepiti come incorporati in circuiti neurali, che a loro volta sono considerati come "sistemi rappresentazionali". Tali sistemi sono inoltre caratterizzati da un certo grado di plasticità, il che, in particolari circostanze, permette al cervello di riorganizzarsi rimpiazzando la funzione compromessa dal modulo danneggiato attraverso l'attività compensatoria degli altri moduli ancora operativi.³⁰

Uno stesso modulo può essere una componente di diversi sistemi rappresentazionali ed essere pertanto coinvolto in diverse funzioni cognitive a seconda del network di cui entra temporaneamente a far parte. A loro volta, le funzioni cognitive (in particolar modo quelle superiori) non sembrano essere anatomicamente segregate, ma appaiono piuttosto essere distribuite in diversi distretti cerebrali, che possono eseguire compiti diversi a seconda del network di cui fanno dinamicamente parte. Ciò, come abbiamo già rimarcato, dona al cervello un vantaggio evolutivo perché ne aumenta la flessibilità. Un notevole esempio di questa flessibilità è fornito dagli esperimenti su persone cieche dalla nascita, ad alcune delle quali fu insegnato l'uso di uno strumento applicato sulla lingua in grado di tradurre immagini visive in impulsi elettrotattili.³¹ Sorprendentemente, dopo aver imparato a usare lo strumento, i partecipanti a questi esperimenti dichiararono di esperire sensazioni tattili sulla lingua quando le aree visive dei loro lobi occipitali erano attivate con la stimolazione magnetica transcranica. Questi studi forniscono un ulteriore sostegno all'idea che anche le aree altamente

specializzate della corteccia sensoriale primaria possano in parte "riciclarsi" e ricevere informazioni da altre modalità sensoriali.³² È bene ovviamente aggiungere che la riorganizzazione funzionale è possibile entro certi limiti, dati soprattutto dal grado di plasticità del cervello (che con l'avanzare dell'età tende inevitabilmente a diminuire) e dal fatto che il danno o il malfunzionamento cerebrale non abbia colpito un'area di importanza fondamentale per l'operatività di un network (ovvero gli *hub* funzionali di cui abbiamo parlato più sopra).

In tutti i casi in cui l'architettura funzionale del cervello subisce un guasto, in maniera più o meno irreparabile, l'organizzazione della mente rivela pienamente la sua natura modulare. In particolare alcune condizioni neurologiche, come l'epilessia, la sindrome *split-brain* o del cervello diviso e lo stato di minima coscienza, in cui alcune aree cerebrali o reti neurali sono isolate o compromesse selettivamente, mostrano come anche un processo mentale di ordine superiore quale la coscienza possa in parte basarsi sull'attività di moduli o network dominio-specifici.

■ Epilessia e coscienza

C'è un'intima relazione tra coscienza ed epilessia, una patologia caratterizzata da scariche improvvise e ipersincrone di popolazioni di neuroni, al punto che la valutazione clinica dello stato di coscienza è considerata un elemento fondamentale per la diagnosi e la classificazione dei tipi di epilessia.³³ A seconda del grado di compromissione della coscienza, infatti, si può distinguere tra crisi epilettiche di tipo diverso. Per esempio, nella prima classificazione formalizzata dalla *League internazionale contro l'epilessia (International League Against Epilepsy - ILAE)*, le crisi parziali vennero divise in crisi parziali semplici, in cui l'esperienza cosciente è preservata, e complesse, in cui l'esperienza cosciente è abolita.³⁴ Più precisamente, nelle crisi parziali semplici la consapevolezza dell'ambiente circostante è preservata ed è quindi possibile una

limitata interazione con il paziente. Per contro, nelle crisi parziali complesse l'esperienza cosciente è sostanzialmente abolita e non è quindi possibile alcuna interazione con il paziente. In seguito, la classificazione è stata nuovamente rivista alla luce delle scoperte neuroscientifiche avvenute grazie allo sviluppo delle tecniche di neuroimmagine e delle scoperte in ambito genetico e di biologia molecolare.³⁵ Ora le crisi parziali sono denominate "focali" e vengono suddivise in attacchi senza compromissione dell'esperienza cosciente ("*without impairment of consciousness or awareness*", corrispondenti alle precedenti crisi parziali semplici) e in attacchi con compromissione dell'esperienza cosciente ("*with impairment of consciousness or awareness*", corrispondenti alle precedenti crisi parziali complesse). Più recentemente, la categoria delle crisi focali è stata riesaminata ulteriormente e anche in questo caso si è proposto di mantenere una suddivisione tra crisi focali in cui la coscienza è preservata e crisi focali in cui la coscienza è compromessa.³⁶ La valutazione dello stato di coscienza del paziente continua pertanto a essere un criterio essenziale per la diagnosi clinica.

Accanto alle crisi focali si distinguono altri due tipi di attacchi epilettici che si associano a una compromissione dello stato di coscienza: le crisi generalizzate tonico-cloniche e le cosiddette "assenze".³⁷ Le crisi generalizzate comportano una perdita temporanea e totale dell'esperienza cosciente, mentre le assenze sono spesso caratterizzate da fenomeni tipici, come l'improvvisa interruzione del comportamento accompagnata da fissità dello sguardo, non responsività e possibili spasmi mioclonici lievi o delle palpebre.³⁸ Poiché il comportamento consapevole è completamente abolito sia nelle crisi generalizzate sia nelle assenze (entrambe le dimensioni della coscienza sono ridotte praticamente a zero), questi tipi di attacchi epilettici non sembrano essere utili per investigare se vi sia o meno un'organizzazione modulare alla base dell'esperienza cosciente. Volgeremo pertanto la nostra attenzione alle crisi

epilettiche focali, in cui vedremo che sia la dimensione dello stato di veglia sia quella dei contenuti esperienziali possono essere variamente colpite.

Come indica il nome stesso, questo tipo di crisi epilettiche ha un'origine focale, ha cioè il suo punto di inizio in una zona specifica della corteccia cerebrale. La crisi può restare confinata in quel punto oppure diffondersi ad altre parti della corteccia. Sono crisi che si originano frequentemente dal lobo temporale, ove l'attività epilettica locale può produrre particolari esperienze soggettive. Il neurologo John Hughlings-Jackson ha fornito per primo una descrizione meticolosa dei contenuti fenomenici che accompagnano solitamente queste crisi, definendoli come «stati psichici molto più elaborati delle crude sensazioni».³⁹ Il neurochirurgo Wilder Penfield fu successivamente in grado di dimostrare che, nei pazienti affetti da epilessia sottoposti a interventi chirurgici, questi stati mentali potevano essere riprodotti stimolando elettricamente il lobo temporale.⁴⁰ Penfield osservò che tali particolari esperienze fenomeniche erano caratterizzate da una vivida salienza ed erano spesso molto più coinvolgenti dei loro ricordi. Queste ricerche pionieristiche sono state seguite da ulteriori studi, i quali hanno chiarito che i particolari eventi psichici che accompagnano le crisi focali sono frequentemente associati all'attività delle componenti limbiche del lobo temporale mesiale, tra cui un ruolo di primo piano è svolto dall'amigdala. Inoltre, queste strutture limbiche sono anche responsabili dell'aspetto emozionale che colora le esperienze fenomeniche dei pazienti.⁴¹

I contenuti fenomenici dell'esperienza cosciente prodotti durante le crisi focali si manifestano solitamente all'interno di un'aura epilettica, uno stato ictale soggettivo che anticipa l'attacco epilettico vero e proprio.⁴² Sia le aeree sia gli attacchi possono produrre complessi fenomeni percettivi, emozionali e mnemonici, che in genere consistono in allucinazioni che possono coinvolgere tutte le modalità sensoriali, sebbene le allucinazioni più

comuni siano visive e uditive.⁴³ I pazienti riferiscono di vedere scene complesse, volti, di udire voci o frammenti di brani musicali. Benché non siano in grado di identificare o riconoscere precisamente questi contenuti fenomenici, i pazienti raccontano di sentirli come familiari. In particolare il senso di familiarità emerge durante le crisi focali del lobo temporale, con la rievocazione di memorie relative a eventi passati.⁴⁴ Quando poi il senso di familiarità viene provato isolatamente, questo è spesso attribuito erroneamente alla scena presente, generando così una strana sensazione di *déjà-vu*.⁴⁵

Le crisi focali con sintomi esperienziali alterano in modo più o meno marcato la dimensione del livello di coscienza o di vigilanza.⁴⁶ I casi descritti in letteratura suggeriscono la possibilità di una dissociazione tra le due dimensioni, cioè tra il livello e i contenuti dell'esperienza cosciente, specialmente nei pazienti che subiscono crisi focali con aura generate da focolai nel lobo temporale mesiale. In questi stati alterati di coscienza il livello di vigilanza presenterebbe variazioni ampie, mentre la consapevolezza fenomenica sarebbe quasi sempre vivida. Secondo un modello teorico proposto da Norden e Blumenfeld – denominato “ipotesi inibitoria dei network cerebrali” (*network inhibition hypothesis*) – la compromissione del grado di vigilanza sarebbe dovuta al parziale malfunzionamento delle strutture sottocorticali di attivazione ascendente (diencefaliche e pontomensefaliche), che a sua volta condurrebbe a una diffusa, temporanea e dinamica inibizione di alcune aree associative frontali e parietali durante le fasi ictali e post-ictali delle crisi epilettiche.⁴⁷ Questo modello ha il vantaggio di unire in un solo quadro teorico entrambe le dimensioni dell'esperienza cosciente, evidenziandone bene la gerarchia, ossia la relazione di dipendenza della consapevolezza fenomenica nei confronti del livello di allerta o di vigilanza.

I fenomeni psichici sperimentati dai pazienti con crisi focali sono anche un'affascinante finestra sull'aspetto qualitativo dei contenuti di

coscienza. Di solito tali esperienze sono di breve durata e avvengono all'inizio della crisi. Talvolta sono seguite da comportamenti automatici o stereotipati (schioccare la lingua, masticare, ecc.) che si manifestano durante uno stato di responsività alterata e di cui il paziente non ha poi ricordo. Altre volte, invece, i pazienti mantengono la percezione uditiva e riescono a comprendere delle semplici istruzioni. Per esempio, il neurologo Peter Gloor, allievo di Wilder Penfield, diede la seguente descrizione di un bambino di nove anni durante una crisi focale:

Egli mostrava uno sguardo vacuo. Gli chiesi di chiudere gli occhi, ma non lo fece, nonostante il comando fosse ripetuto insistentemente quattro volte. Allora gli dissi: “Ricky, puoi sentirmi?” A ciò rispose prontamente con un “Sì”, ma quando il comando di chiudere gli occhi gli fu nuovamente ripetuto, per due volte, egli non obbedì. Dopo la crisi, lo interrogai ed egli affermò di ricordarsi ciò che gli avevo chiesto.⁴⁸

Casi come questo mostrano che la compromissione dell'esperienza cosciente durante le crisi focali può essere estremamente selettiva. I pazienti possono perdere alcune capacità (non rispondono, per esempio, a semplici comandi), ma ritenerne altre (ricordano e comprendono il senso di ciò che viene detto loro). Inoltre, è più probabile perdere alcune funzioni cognitive di altre: l'abilità di rispondere verbalmente se interrogati è più facilmente colpita dall'abilità di leggere o di contare ad alta voce, e queste ultime due sono più facilmente compromesse della capacità di ritenere in memoria qualcosa.⁴⁹

La compromissione selettiva delle funzioni cognitive, delle risposte comportamentali, e della consapevolezza fenomenica nei pazienti epilettici da un lato, e la preservazione di altri processi mentali coscienti dall'altro, supporta l'ipotesi che la coscienza non sia generata dal cervello come un blocco unico. Al contrario, le evidenze cliniche indicano che

nello stesso tempo parti di consapevolezza fenomenica possono essere abolite, mentre altri frammenti di contenuti consapevoli possono essere mantenuti. Ciò suggerisce l'interessante idea che il cervello possa generare una molteplicità di processi coscienti senza che questi siano necessariamente mantenuti all'interno di un flusso coerente di esperienze soggettive.

■ Lo strano caso della coscienza dei pazienti *split-brain*

La resezione del corpo calloso, il fascio di fibre che connette gli emisferi cerebrali è l'estrema opzione chirurgica per trattare i casi di epilessia più gravi che si sono dimostrati refrattari alla terapia farmacologica.⁵⁰ Questo tipo di operazione, chiamata anche callosotomia, impedisce che le anormali scariche sinaptiche delle crisi focali si generalizzino estendendosi da un emisfero all'altro. Attualmente, grazie al miglioramento e allo sviluppo di nuove tecniche di trattamento, è una pratica a cui si ricorre sempre più raramente. I pazienti che subiscono questo intervento vengono detti *split-brain* o con il cervello diviso. Molti di loro sono stati soggetti di esperimenti e di osservazioni cliniche accurate, che hanno rivelato come il cervello di queste persone potesse produrre flussi di pensieri coscienti tra loro indipendenti.

A causa della resezione del corpo calloso, l'informazione che arriva a un emisfero è destinata a rimanervi confinata. Riguardo alla visione, per esempio, ciascun emisfero elabora l'informazione proveniente dal campo visivo controlaterale. Pertanto, in certe circostanze sperimentali in cui al paziente è impedito di voltare il capo e lo sguardo è appuntato su un punto di fissazione, gli oggetti posti nell'emicampo visivo destro sono percepiti esclusivamente dall'emisfero sinistro, mentre gli oggetti posti nell'emicampo visivo sinistro sono percepiti esclusivamente dall'emisfero destro. Similmente, l'operazione chirurgica isola i processi linguistici, che restano confinati nell'emisfero di appartenenza nel caso in

cui queste funzioni siano lateralizzate, come capita per la maggior parte degli individui. Così, solo l'emisfero dominante (in genere il sinistro) è in grado di esprimersi linguisticamente, cosa che è invece preclusa all'emisfero non-dominante. A causa della lateralizzazione delle funzioni verbali, l'emisfero dominante di un paziente *split-brain* può descrivere a parole il contenuto delle sue percezioni; per contro, il suo emisfero non-dominante, benché riconosca e comprenda tali contenuti, non può comunicarlo linguisticamente. Questa curiosa condizione, in cui gli emisferi di un cervello si ignorano vicendevolmente, è illustrata emblematicamente nella seguente descrizione di una paziente data da Springer e Deutsch:

La paziente N.G., una casalinga californiana, siede di fronte a uno schermo nel cui centro compare un piccolo punto nero. Le si chiede di guardare direttamente il punto. Quando lo sperimentatore è sicuro che ella lo stia facendo, l'immagine di una tazza è proiettata brevemente sullo schermo alla destra del punto. N.G. riporta di vedere una tazza. Le si chiede nuovamente di fissare lo sguardo sul punto. Questa volta, l'immagine di un cucchiaino è proiettata sullo schermo alla sinistra del punto. Si domanda alla paziente che cos'abbia visto. Lei risponde che non ha visto nulla. Allora le viene chiesto di raggiungere con la mano sinistra [che è governata dall'emisfero destro] una serie di oggetti posti al di sotto dello schermo e di selezionare, basandosi solo sul tatto, quale di quegli oggetti ha appena visto. La sua mano sinistra manipola ciascun oggetto e infine afferra il cucchiaino. Quando però le viene chiesto che cosa sta tenendo nella mano, la paziente risponde "una matita".⁵¹

La paziente N.G. rappresenta un classico caso di sindrome *split-brain*. L'immagine della tazza viene elaborata soltanto dall'emisfero sinistro, che può parlare e perciò descrivere verbalmente l'oggetto presentato. L'immagine del

cucchiaio, per contro, è elaborata soltanto dall'emisfero destro, che non può parlare e, poiché l'informazione visiva non può essere trasmessa all'emisfero sinistro, la paziente N.G. fallisce nel compito di nominare l'oggetto. L'emisfero destro, tuttavia, è pienamente capace di riconoscere e identificare l'oggetto presentato, come è dimostrato dal fatto che N.G. lo prende con la mano sinistra basandosi unicamente sull'informazione tattile. L'emisfero sinistro, però, che non riceve dal destro l'informazione tattile, non sa che cosa ha afferrato la mano sinistra e suppone erroneamente che si tratti di una matita.

Nonostante la disconnessione tra gli emisferi possa manifestarsi con effetti sorprendenti, tale condizione ha poco o nessun impatto nella vita quotidiana dei pazienti. Costoro impiegano infatti abili strategie compensatorie per evitare che l'informazione sensoriale sia confinata soltanto in uno degli emisferi cerebrali. Per esempio, riconoscono un pettine dal suono provocato passando velocemente le unghie sui suoi denti.⁵² Oppure usano i movimenti del capo e della lingua per trasferire informazione tra gli emisferi.⁵³

I problemi di accesso all'informazione sensoriale e, conseguentemente, le incoerenze nelle rappresentazioni mentali emergono in ambiti sperimentali adottando protocolli di ricerca rigorosi. Queste scoperte suggeriscono che ciascun emisfero possa costituire un sistema cognitivo separato, in grado di operare indipendentemente e in parallelo con l'altro.⁵⁴ Entrambi i sistemi avrebbero una propria interfaccia sensorimotoria con l'ambiente circostante e proprie abilità percettive e mnesiche. Ed è stato perfino sostenuto che ciascun emisfero sviluppi distinte preferenze e intenzionalità.⁵⁵

Il comportamento manifestato dai pazienti *split-brain* fornisce un forte sostegno all'ipotesi che ogni emisfero sia capace di generare processi mentali coscienti. È tuttavia oggetto di dibattito come i pazienti con cervello diviso vivano la loro esperienza cosciente. Il premio Nobel Roger Sperry, uno dei primi neuroscienziati a studiare la sindrome

split-brain, dichiarò:

Tutto quel che osserviamo indica che l'intervento chirurgico abbia lasciato queste persone con due menti separate, ovvero, due sfere separate di coscienza. Ciò che viene esperito nell'emisfero destro sembra essere totalmente al di fuori dell'ambito di consapevolezza dell'emisfero sinistro [e viceversa]. Questo frazionamento mentale è stato constatato riguardo alla percezione, alla cognizione, alla volizione, all'apprendimento e alla memoria.⁵⁶

L'ipotesi di Sperry, o "modello dei due flussi" (*two-streams model*), sostiene che i pazienti *split-brain* hanno due flussi di coscienza, uno per ciascun emisfero, che scorrono in parallelo e simultaneamente nel cervello. Questo modello implica che anche nelle persone normali vi siano due flussi di coscienza, e che questi non si manifestino soltanto perché i due emisferi restano saldamente connessi.⁵⁷ Se l'ipotesi è corretta, ci dovremmo pertanto aspettare che determinate condizioni sperimentali facciano emergere in soggetti normali risultati simili ai test effettuati sui pazienti *split-brain*. E in effetti ci sono prove che, durante l'esecuzione di test fortemente lateralizzati, anche i soggetti normali si comportino come i pazienti *split-brain*, lasciando così presumere l'esistenza di sofisticate suddivisioni funzionali nell'organizzazione cognitiva dei network cerebrali.⁵⁸

L'ipotesi teorica di Roger Sperry è alla base di altri due modelli compatibili con i dati sperimentali: il "modello di unità parziale" (*partial unity model*) e il "modello dell'interruttore" (*switch model*).⁵⁹

Il modello di unità parziale sostiene che le due sfere di coscienza non siano completamente confinate nei rispettivi emisferi, ma possano in parte sovrapporsi generando un senso parziale di unità cosciente. Il modello trova fondamento nel fatto che la callosotomia non è quasi mai totale, rendendo così possibile ancora un certo grado di integrazione interemisferica. Si sa che sezioni diffe-

renti del corpo calloso convogliano informazioni di tipo diverso. La parte anteriore-mediana trasmette l'informazione motoria, la parte posteriore-mediana l'informazione somatosensoriale, l'istmo l'informazione uditiva e lo splenio l'informazione visiva.⁶⁰ In relazione alle parti sezionate, quindi, i pazienti *split-brain* possono esibire dissociazioni associate a certi domini cognitivi e non ad altri, possono per esempio mostrare una percezione lateralizzata per gli stimoli visivi ma non per quelli tattili.⁶¹ La paziente N.G., descritta più sopra, benché non riuscisse a mettere in relazione gli stimoli visivi provenienti dall'emicampo visivo sinistro con quelli tattili provenienti dalla mano destra, era comunque in grado di eseguire il compito opposto, ovvero poteva mettere in relazione gli stimoli provenienti dall'emicampo visivo destro con quelli tattili provenienti dalla mano sinistra.⁶² In un altro studio, inoltre, alcuni pazienti *split-brain* furono capaci di associare ad alcune figure presentate in un emicampo visivo altre figure corrispondenti alle prime ma presentate nell'emicampo visivo opposto, dando così prova di un'effettiva integrazione categoriale tra gli emisferi.⁶³

A queste evidenze empiriche si aggiunge il fatto che i pazienti *split-brain* sembrano esperire un senso di unità cosciente tanto quanto le persone normali. A favore di ciò, c'è in particolare l'osservazione della mancanza di conflitto nelle risposte comportamentali a stimoli tra loro in competizione presentati a ciascun emisfero, che ha portato alcuni autori a teorizzare il modello dell'interruttore.⁶⁴ Secondo questo modello, la coscienza si sposterebbe da un emisfero all'altro sulla base delle aree cerebrali maggiormente coinvolte nell'esecuzione di un compito. Di volta in volta un emisfero prevarrebbe sull'altro e la coscienza seguirebbe questa sorta di dominanza cognitiva. È interessante notare che la dominanza cognitiva potrebbe essere alla base del fenomeno dell'estinzione che molti pazienti *split-brain* manifestano. Si ha estinzione quando due stimoli sono presentati simultaneamente ai

due emisferi e solo uno di questi viene percepito consapevolmente. Nei pazienti *split-brain* questo fenomeno è stato osservato nel caso di stimoli visivi e somatosensoriali.⁶⁵ Tuttavia, questi risultati sperimentali devono essere interpretati con cautela. Al di là del fatto che non si può escludere totalmente che i due emisferi siano rimasti in qualche modo parzialmente connessi, l'interruttore che dovrebbe accendere o spegnere la coscienza alternativamente negli emisferi cerebrali potrebbe riguardare i meccanismi per dirigere e focalizzare l'attenzione invece di quelli per generare un'esperienza cosciente. E attenzione e coscienza sono due processi mentali distinti che non dovrebbero essere confusi.⁶⁶

Qualunque possa essere la spiegazione degli strani fenomeni di "doppia" coscienza riscontrati nei pazienti *split-brain* – che siano due flussi separati, due sfere parzialmente sovrapposte oppure degli stati di coscienza in alternanza tra loro – la condizione del cervello diviso suggerisce fortemente che la natura della consapevolezza fenomenica sia composita e sorretta da differenti sistemi funzionali distribuiti in ciascun emisfero cerebrale.

Lo stato di minima coscienza

Come abbiamo visto con l'ipotesi inibitoria dei network cerebrali, proposta per spiegare le crisi epilettiche focali con fenomeni esperienziali, un grado di vigilanza variabile causerebbe una diffusa e dinamica inibizione dei network funzionali formati dalle regioni sensoriali primarie e associative frontali e parietali. Ciò determinerebbe un'esperienza cosciente frammentata: infatti, a seconda dei network funzionali ancora attivi, alcuni contenuti di esperienza sarebbero preservati mentre altri non lo sarebbero.

Un altro esempio clinico paradigmatico di esperienze soggettive frammentate si ritrova nei pazienti affetti dai disturbi di coscienza, ovvero negli individui che hanno subito gravi e severi danni cerebrali di tipo traumatico, vascolare, ipossico o patologico. Tale gruppo di pazienti è molto eterogeneo, perché le le-

sioni che li hanno colpiti possono interessare differenti aree della corteccia cerebrale. La loro valutazione clinica è pertanto molto difficile ed è affidata alla bravura e all'esperienza del clinico, che si avvale dell'ausilio di scale di valutazione basate sulla presenza o sull'assenza di alcuni riflessi e comportamenti.⁶⁷

Quando possibile, in questi pazienti il recupero delle funzioni cognitive dovrebbe seguire uno schema tipico. Partendo dallo stato di coma, in cui entrambe le dimensioni della coscienza sono abolite (nessun livello di vigilanza e nessun contenuto) e che raramente persiste per più di un mese, la persona transita nello stato vegetativo oppure, nei casi lievi, recupera abbastanza velocemente coscienza e funzionalità. Nei casi più gravi, tuttavia, il coma è generalmente dovuto a lesioni massive a carico degli emisferi cerebrali, con dislocazione e compressione della formazione reticolare, oppure da lesioni a livello talamico e della parte superiore del tronco-encefalo, con conseguente disattivazione corticale. Il paziente in coma è in uno stato di areattività psicologica non suscettibile di risveglio, non apre gli occhi né spontaneamente né a seguito di stimolazione, è incapace di eseguire comandi, di dare risposte verbali, di azioni finalizzate (i movimenti sono soltanto riflessi), e di reagire a stimoli minacciosi o dolorosi.⁶⁸

Lo stato vegetativo è invece caratterizzato dal mantenimento delle funzioni vegetative o vitali (attività cardiaca, respiratoria e pressoria) e dalla preservazione del ciclo sonno-veglia. Esso fornisce una pressoché completa dissociazione tra le due dimensioni della coscienza: lo stato di vigilanza è infatti preservato, mentre la consapevolezza fenomenica dei contenuti esperienziali è sostanzialmente inesistente. Il paziente non è in grado di rispondere agli stimoli visivi, uditivi e nocicettivi e di comunicare verbalmente, benché siano presenti i riflessi pupillari, corneali, vestibolo-oculari, spinali e, talora, i riflessi uditivi e visivi di orientamento (per esempio, la persona può rivolgere il capo verso la sorgente di uno stimolo uditivo o visivo). Talvolta sono presenti movimenti non finalizzati del

tronco e degli arti e reazioni miocloniche per stimoli improvvisi. Nello stato vegetativo l'attività del tronco encefalico è conservata (funzione cardiaca, respiratoria e pressoria); in particolare non esistono paresi oculari, se non eccezionalmente, mentre i movimenti oculari di inseguimento sono di solito assenti. Infine, anche la funzione ipotalamica è conservata: la temperatura corporea, la sudorazione, il metabolismo salino e dell'acqua sono entro i limiti della norma. Questi pazienti soffrono di lesioni dominanti bilaterali agli emisferi cerebrali, con preservazione del tronco dell'encefalo, ma senza che vi sia interazione fra il tronco dell'encefalo, il talamo e la corteccia cerebrale.⁶⁹

Lo stato vegetativo può diventare permanente oppure evolvere nello stato di minima coscienza. Questa condizione clinica è stata identificata e riconosciuta da poco tempo (tra gli anni 1995 e il 2000) ed è associata a lesioni degli emisferi cerebrali con probabile risparmio delle connessioni cortico-corticali e cortico-talamiche. La differenza fondamentale tra lo stato vegetativo e lo stato di minima coscienza consiste nel fatto che nel primo il paziente ha un ciclo sonno-veglia preservato senza consapevolezza fenomenica, mentre nel secondo il paziente, sempre in presenza del ciclo sonno-veglia, può mostrare una certa consapevolezza di sé e dell'ambiente esterno, tramite comportamenti riproducibili e orientati a uno scopo. Infatti, benché non riesca a comunicare in modo funzionale, la persona in stato di minima coscienza può essere in grado di rispondere adeguatamente ai comandi verbali e di produrre verbalizzazioni comprensibili, di sorridere, di ridere o di piangere e di seguire con lo sguardo uno stimolo.⁷⁰ Pertanto, nello stato di minima coscienza la dimensione della veglia/vigilanza è presente, così come lo è nello stato vegetativo, tuttavia, a differenza di questo, lo stato di minima coscienza presenta anche il livello dei contenuti fenomenici. Il grado di vividezza di questi contenuti è basso e frammentato, in quanto la loro elaborazione dipende strettamente dalle aree cerebrali scampate alle le-

sioni e ai network funzionali la cui attività il cervello è stato in grado di ripristinare.⁷¹

In certi casi, è particolarmente arduo distinguere tra lo stato vegetativo e lo stato di minima coscienza. Le manifestazioni comportamentali dei pazienti sono infatti ambigue e vincolate da diversi gradi di paresi. Ciò fa sì che sia molto difficile distinguere tra movimenti puramente riflessivi e azioni volontarie. Inoltre, è probabile che nel periodo di transizione il paziente oscilli da uno stato all'altro prima di guadagnare una relativa stabilità.⁷² Pertanto, per diminuire il tasso di errori diagnostici, si è ultimamente proposto, ove possibile, di affiancare alla diagnosi clinica effettuata con le scale di valutazione standardizzate l'utilizzo di tecniche complementari, quali la risonanza magnetica funzionale, la tomografia a emissione di positroni, l'elettroencefalografia e varie procedure di stimolazione esterna. Tali tecniche sono strumenti oggettivi per indagare sia l'estensione del danno subito dal cervello sia le funzioni cerebrali residue. La tomografia a emissione di positroni misura i cambiamenti nel metabolismo cerebrale, mentre la risonanza magnetica funzionale misura la risposta emodinamica (cioè quali aree richiamano maggior afflusso di sangue) una volta presentato un certo stimolo. Con la risonanza magnetica funzionale, in particolare, è possibile rilevare una modulazione volontaria dell'attività cerebrale e fornire così la prova di un'elaborazione cosciente.⁷³ L'elettroencefalografia registra l'attività elettrica spontanea del cervello, oppure la variazione di questa quando si presenta ripetutamente al paziente un determinato stimolo (in questo caso ciò che si registra sono i potenziali evento-correlati). Nello specifico, i potenziali evento-correlati sono considerati marcatori neurologici, poiché con essi si è in grado di investigare i tempi di processamento dell'informazione dalle strutture sensoriali periferiche alle aree sensoriali primarie della corteccia cerebrale e, da qui, a quelle associative di più alto livello.⁷⁴ Gli strumenti di stimolazione esterna sono invece basati su protocolli di apprendimento implicito (come il condizionamento

classico o il condizionamento operante) e riescono così ad aggirare la difficoltà di ottenere una risposta esplicita o diretta a una richiesta dell'esaminatore. In tal modo è possibile osservare se nel paziente si instauri un'associazione tra eventi diversi che possa indicare un'elaborazione cosciente (per esempio, un suono specifico e uno sbuffo d'aria e la risposta comportamentale conseguente).⁷⁵

Tutte queste tecniche complementari vengono utilizzate al fine di indagare l'integrità dei network cerebrali, hanno pertanto risvolti prognostici molto importanti. I risultati ottenuti con queste tecniche possono fornire validi indicatori per il futuro recupero e suggeriscono che i network cerebrali siano unità funzionali indipendenti, capaci cioè di elaborare in autonomia determinati contenuti o aspetti dell'esperienza cosciente.

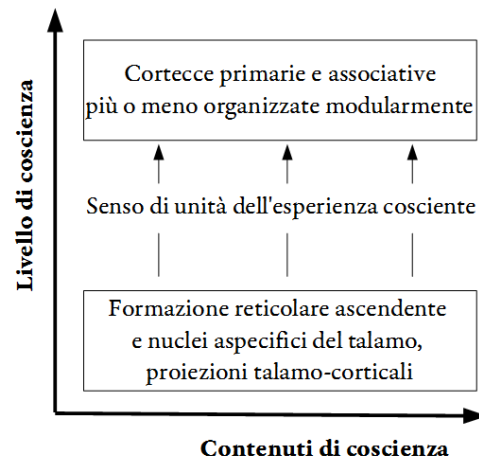
■ Conclusione: pluralità di coscienze e senso di unità

Abbiamo visto che l'osservazione dei pazienti epilettici mostra che l'esperienza cosciente possa essere frammentata in vari modi. Durante le crisi focali, infatti, i pazienti possono preservare alcuni contenuti di esperienza e perderne altri. A loro volta, gli individui *split-brain* mostrano che l'esperienza cosciente possa essere ripartita in almeno due flussi di coscienza indipendenti in ciascun emisfero cerebrale, che ivi rimangono confinati scorrendo in parallelo, oppure si sovrappongono parzialmente, oppure ancora si impongono alternativamente all'attenzione dell'individuo. Inoltre, nei pazienti in stato di minima coscienza i contenuti dell'esperienza cosciente appaiono essere strettamente legati al grado di funzionalità e di preservazione di specifici e diversi network cerebrali. L'alta selettività di tale compromissione e conservazione di processi mentali consci in queste condizioni cliniche è una forte evidenza a favore di una teoria della coscienza come attività composita cui contribuiscono molti sistemi neurali e a sfavore dell'idea che la coscienza sia la proprietà emergente di un solo e unitario processo cerebrale. Questi sistemi neurali sfrut-

terebbero un'organizzazione modulare dominio-specifica per processare in parallelo diversi tipi di informazione e dare così vita a differenti esperienze fenomeniche. I contenuti dell'esperienza, quindi, diventerebbero coscienti già nelle stesse strutture neurali deputate ad analizzarli percettivamente e a elaborarne cognitivamente gli attributi.⁷⁶

La visione dell'organizzazione della mente cosciente qui proposta è simile ad altri approcci teorici che hanno già enfatizzato l'aspetto modulare e composito dell'esperienza cosciente.⁷⁷ Si discosta tuttavia da loro per il fatto di trattare il problema in una prospettiva bidimensionale neurocognitiva, per la quale ogni fenomeno cosciente non può non essere compreso all'interno della cornice di coordinate relative al livello di vigilanza, o stato di veglia, e al livello dei contenuti esperienziali della consapevolezza fenomenica. Sulla scorta dei casi clinici e dei risultati sperimentali qui discussi non si può fare a meno di osservare che, quando viene colpita la dimensione dello stato di veglia, ciò si riflette sempre anche in una compromissione della dimensione gerarchicamente sovraordinata dei contenuti esperienziali, determinando così una consapevolezza fenomenica frammentata. Nel caso di crisi epilettiche generalizzate, o durante le "assenze", il livello di vigilanza precipita abolendo del tutto la consapevolezza fenomenica. Nel caso delle crisi focali il livello di vigilanza oscilla e, secondo l'ipotesi inibitoria dei network cerebrali, alcuni sistemi funzionali della corteccia responsabili di certi contenuti sono compromessi mentre altri sono mantenuti, causando in questo modo una selettiva frammentarietà dell'esperienza cosciente. Nei pazienti *split-brain*, inoltre, la dimensione dello stato di veglia è sempre preservata, ma la consapevolezza fenomenica subisce alterazioni a causa della disconnessione degli emisferi. Infine, nelle persone in stato di minima coscienza, a fronte di un ciclo sonno-veglia attivo, è nuovamente la dimensione della consapevolezza fenomenica a subire forti modificazioni, a seconda dei network funzionali ancora attivi.

Figura 1. Rappresentazione schematica dell'esperienza cosciente all'interno del modello di coordinate bidimensionale



Sembra dunque che l'architettura modulare dell'esperienza cosciente sia sempre associata alla compromissione della dimensione dei contenuti esperienziali e non anche alla compromissione della dimensione del livello di vigilanza. La cornice teorica bidimensionale può così servire per conciliare le due prospettive teoriche rivali che vogliono la coscienza, da un lato, il prodotto di un unico processo cerebrale e, dall'altro, la costruzione composita di più sistemi funzionali. Infatti, il livello dello stato di coscienza dipenderebbe da un unico sistema neurale, mentre i contenuti esperienziali della consapevolezza fenomenica sarebbero elaborati da molti sistemi neurali diversi, organizzati modularmente e ampiamente distribuiti sulla corteccia (cfr. Figura 1). Pertanto, il primo sistema contribuirebbe all'immediato senso di unità della coscienza, mentre i secondi contribuirebbero a generare la grande ricchezza e varietà dell'esperienza cosciente della nostra vita.

Note

¹ Cfr. A. ZEMAN, *Consciousness*, in: «Brain», vol. CXXIV, Pt. 7, 2001, pp. 1263-1289.

² Cfr. W. BECHTEL, G. GRAHAM (eds.), *A Companion to Cognitive Science*, Blackwell, Oxford 1998; G.B. YOUNG, *Consciousness*, in: G.B. YOUNG G.B., A.H.

ROPPER, C.F. BOLTON (eds.), *Coma and Impaired Consciousness*, McGraw-Hill, New York 1998, pp. 3-37.

³ W. SINGER, *Phenomenal Awareness and Consciousness from a Neurobiological Perspective*, in: T. METZINGER (ed.), *Neural Correlates of Consciousness*, MIT Press, Cambridge 2000, pp. 121-137 - trad. it. mia.

⁴ Cfr. A.E. CAVANNA, A. NANI, *Consciousness. Theories in Neuroscience and Philosophy of Mind*, Springer, Berlin 2014, pp. 3-21.

⁵ Cfr. A. NANI, S. SERI, A.E. CAVANNA, *Consciousness and Neuroscience*, in: A.E. CAVANNA, A. NANI, H. BLUMENFELD, S. LAUREYS (eds.), *Neuroimaging of Consciousness*, Springer Verlag, Berlin 2013, pp. 3-21.

⁶ Cfr. A.E. CAVANNA, A. NANI, *Do Consciousness and Attention Have Shared Neural Correlates?*, in: «Psyche», vol. XIV, 2008, pp. 83-88; F. MONACO, A.E. CAVANNA, *The Neuropsychiatry of Consciousness*, Nova Science Publishers, New York 2007.

⁷ N. TSUCHIYA, R. ADOLPHS, *Emotion and Consciousness*, in: «Trends in Cognitive Sciences», vol. XI, n. 4, 2007, pp. 158-167.

⁸ Cfr. A.E. CAVANNA, A. NANI, *Consciousness. Theories in Neuroscience and Philosophy of Mind*, cit.; G.M. EDELMAN, *Naturalizing Consciousness: A Theoretical Framework*, in: «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», vol. C, n. 9, 2003, pp. 5520-5524; G. TONONI, G.M. EDELMAN, *Consciousness and Complexity*, in: «Science», vol. CCLXXXII, n. 5395, 1998, pp. 1846-1851.

⁹ V.A.F. LAMME, *Separate Neural Definitions of Visual Consciousness and Visual Attention: A Case for Phenomenal Awareness*, in: «Neural Networks», vol. XVII, n. 5-6, 2004, pp. 861-872.

¹⁰ Cfr. S. DEHAENE, L. NACCACHE, *Towards a Cognitive Neuroscience of Consciousness: Basic Evidence and a Workspace Framework*, in: «Cognition», vol. LXXIX, n. 1-2, 2001, pp. 1-37; S. DEHAENE, *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*, Viking, New York 2014.

¹¹ Cfr. B.J. BAARS, *A Cognitive Theory of Consciousness*, Cambridge University Press, Cambridge 1988; G.M. EDELMAN, *The Remembered Present: A Biological Theory of Consciousness*, Basic Books, New York 1989; G. TONONI, *Consciousness as Integrated Information: A Provisional Manifesto*, in: «Biological Bulletin», vol. CCXV, n. 3, 2011, pp. 216-242; S. DEHAENE, *Consciousness and the Brain*, cit.

¹² Cfr. S. ZEKI, *A Theory of Micro-consciousness*, in: M. VELMANS, S. SCHNEIDER (eds.), *The Blackwell Companion to Consciousness*, Blackwell, Oxford 2007, pp. 580-588.

¹³ Cfr. C.F. BECKMANN, M. DE LUCA, J.T. DEVLIN, S.M. SMITH, *Investigations into Resting-state Connectivity Using Independent Component Analysis*, in: «Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences», vol. CCCLX, n. 1457, 2005, pp. 1001-1013; P. FRANSSON, *Spontaneous Low-frequency BOLD Signal Fluctuations: An fMRI Investigation of the Resting-state Default Mode of Brain Function Hypothesis*, in: «Human Brain Mapping», vol. XXVI, n. 1, 2005, pp. 15-29; R. SALVADOR, J. SUCKLING, M.R. COLEMAN, J.D. PICKARD, D. MENON, E. BULLMORE, *Neurophysiological Architecture of Functional Magnetic Resonance Images of Human Brain*, in: «Cerebral Cortex», vol. XV, n. 9, 2005, pp. 1332-1342; V.G. VAN DE VEN, E. FORMISANO, D. PRVULOVIC, C.H. ROEDER, D.E. LINDEN, *Functional Connectivity as Revealed by Spatial Independent Component Analysis of fMRI Measurements During Rest*, in: «Human Brain Mapping», vol. XXII, n. 3, 2004, pp. 165-178; M.P. VAN DEN HEUVEL, H.E. HULSHOFF POL, *Exploring the Brain Network: A Review on Resting-state fMRI Functional Connectivity*, in: «European Neuropsychopharmacology», vol. XX, n. 8, 2010, pp. 519-534.

¹⁴ Cfr. T.K. DAS, P.M. ABEYASINGHE, J.S. CRONE, A. SOSNOWSKI, S. LAUREYS, A.M. OWEN, A. SODDU, *Highlighting the Structure-Function Relationship of the Brain with the Ising Model and Graph Theory*, in: «BioMed Research International», vol. 2014, Art. Nr. 237898 – doi: 10.1155/2014/237898.

¹⁵ Cfr. S. ACHARD, C. DELON-MARTIN, P.E. VÉRTES, F. RENARD, M. SCHENCK, F. SCHNEIDER, C. HEINRICH, S. KREMER, E.T. BULLMORE, *Hubs of Brain Functional Networks are Radically Reorganized in Comatose Patients*, in: «Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America», vol. CLX, n. 50, 2012, pp. 20608-20613.

¹⁶ Cfr. B.L. FOSTER, J. PARVIZI, *Direct Cortical Stimulation of Human Posteromedial Cortex*, in: «Neurology», vol. LXXXVIII, n. 7, 2017, pp. 685-691; O. BODART, E. AMICO, F. GÓMEZ, A.G. CASALI, S. WANNEX, L. HEINE, A. THIBAUT, J. ANNEN, M. BOLY, S. CASAROTTO, M. ROSANOVA, M. MASSIMINI, S. LAUREYS, O. GOSSERIES, *Global Structural Integrity and Effective Connectivity in Patients with Disorders of Consciousness*, in: «Brain Stimulation», vol. XI, n. 2, 2018, pp. 358-365.

¹⁷ Cfr. A. BERTI, *Neuropsicologia della coscienza*, Bolati Boringhieri, Torino 2010.

¹⁸ Cfr. J.A. FODOR, *The Modularity of Mind*, MIT Press, Cambridge (MA) 1983.

- ¹⁹ Cfr. S. ZEKI, A. BARTELS, *The Autonomy of the Visual Systems and the Modularity of Conscious Vision*, in: «Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences», vol. CCCLIII, 1998, pp. 1911-1914.
- ²⁰ J.M. WOLFE, K.R. KLUENDER, D.M. LEVI, L.M. BARTOSHUK, R.S. HERZ, R.L. KLATZKY, S.J. LEDERMAN, *Sensation and Perception*, Sinauer, New York 2006.
- ²¹ J. DUNCAN, A.M. OWEN, *Common Regions of the Human Frontal Lobe Recruited by Diverse Cognitive Demands*, in: «Trends in Neurosciences», vol. XXIII, n. 10, 2000, pp. 475-483.
- ²² Cfr. A. BADDELEY, *Working Memory: Looking Back and Looking Forward*, in: «Nature Reviews of Neuroscience», vol. IV, n. 10, 2003, pp. 829-839; A. BADDELEY, *Working Memory, Thought, and Action*, Oxford University Press, Oxford 2007.
- ²³ Cfr. R.A. ADCOCK, R.T. CONSTABLE, J.C. GORE, P.S. GOLDMAN-RAKIC, *Functional Neuroanatomy of Executive Processes Involved in Dual-task Performance*, in: «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America», vol. XCVII, n. 7, 2000, pp. 3567-3572; S.J. GILBERT, S. SPENGLER, J.S. SIMONS, J.D. STEELE, S.M. LAWRIE, C.D. FRITH, P.W. BURGESS, *Functional Specialization within Rostral Prefrontal Cortex (Area 10): A Meta-analysis*, in: «Journal of Cognitive Neuroscience», vol. XVIII, n. 6, 2006, pp. 932-948.
- ²⁴ Cfr. P. CARRUTHERS, *The Architecture of the Mind*, Oxford University Press, Oxford 2006.
- ²⁵ H.C. BARRETT, R. KURZBAN, *Modularity in Cognition: Framing the Debate*, «Psychological Review», vol. CXIII, n. 3, 2006, pp. 628-647; L. COSMIDES, J. TOOBY, *Cognitive Adaptations for Social Exchange*, in: J. BARKOW, L. COSMIDES, J. TOOBY (eds.), *The Adapted Mind*, Oxford University Press, Oxford 1992, pp. 163-228; S. PINKER, *How the Mind Works*, W. W. Norton & Company, New York 1997; D. SPERBER, *The Modularity of Thought and the Epidemiology of Representations*, in: L.A. HIRSCHFELD, S.A. GELMAN (eds.), *Mapping the Mind*, Cambridge University Press, Cambridge 1994, pp. 39-67; D. SPERBER, *In Defense of Massive Modularity*, in: I. DUPOUX (eds.), *Language, Brain, and Cognitive Development*, MIT Press, Cambridge 2002, pp. 47-57.
- ²⁶ Cfr. D. BULLER, *Adapting Minds*, MIT Press, Cambridge (MA) 2005; D. BULLER, V.G. HARDCASTLE, *Evolutionary Psychology, Meet Developmental Neurobiology: Against Promiscuous Modularity*, in: «Brain and Mind», vol. I, n. 3, 2000, pp. 302-325; C.D. RABAGLIA, G.F. MARCUS, S.P. LANE, *What can Individual Differences Tell Us About the Specialization of Function?*, in: «Cognitive Neuropsychology», vol. XXVIII, n. 3-4, 2011, pp. 288-303.
- ²⁷ Cfr. B. SEOK, *Diversity and Unity of Modularity*, in: «Cognitive Science», vol. XXX, n. 2, 2006, pp. 347-380.
- ²⁸ Cfr. T. SHALLICE, R.P. COOPER, *The Organisation of Mind*, Oxford University Press, Oxford 2011.
- ²⁹ Cfr. T. SHALLICE, R.P. COOPER, *The Organisation of Mind*, cit.
- ³⁰ Cfr. J. MOGENSEN, *Reorganization of the Injured Brain: Implications for Studies of the Neural Substrates of Cognition*, in: «Frontiers in Psychology», vol. II, 2011, Art.Nr. 7 – doi: 10.3389/fpsyg.2011.00007.
- ³¹ Cfr. P. BACH-Y-RITA, S. KERCEL, *Sensory Substitution and the Human-machine Interface*, in: «Trends in Cognitive Sciences», vol. VII, n. 12, 2003, pp. 541-546; R. KUPERS, P. PIETRINI, E. RICCIARDI, M. PTITO, *The Nature of Consciousness in the Visually Deprived Brain*, in: «Frontiers in Psychology», vol. II, 2011, Art. Nr. 19 – doi: 10.3389/fpsyg.2011.00019.
- ³² Cfr. A. FALCHIER, S. CLAVAGNIER, P. BARONE, H. KENNEDY, *Anatomical Evidence of Multimodal Integration in Primate Striate Cortex*, in: «Journal of Neuroscience», vol. XXII, n. 13, 2002, pp. 5749-5759; K.S. ROCKLAND, H. OJIMA, *Multisensory Convergence in Calcarine Visual Areas in Macaque Monkey*, in: «International Journal of Psychophysiology», vol. L, n. 1-2, 2003, pp. 19-26; M.T. WALLACE, R. RAMACHANDRAN, B.E. STEIN, *A Revised View of Sensory Cortical Parcellation*, in: «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America», vol. CI, n. 7, 2004, pp. 2167-2172.
- ³³ Cfr. A.E. CAVANNA, F. ALI, *Epilepsy: The Quintessential Pathology of Consciousness*, in: «Behavioural Neurology», vol. XXIV, n. 1, 2011, pp. 3-10; R.A. ZAPPULLA, *Epilepsy and Consciousness*, in: «Seminars in Neurology», vol. XVII, n. 2, 1997, pp. 113-119.
- ³⁴ Cfr. COMMISSION ON CLASSIFICATION AND TERMINOLOGY OF THE INTERNATIONAL LEAGUE AGAINST EPILEPSY, *Proposal for Revised Clinical and Electroencephalographic Classification of Seizures*, in: «Epilepsia», vol. XXII, n. 4, 1981, pp. 489-501; COMMISSION ON CLASSIFICATION AND TERMINOLOGY OF THE INTERNATIONAL LEAGUE AGAINST EPILEPSY, *Proposal for a Revised Classification of Epilepsies and Epileptic Syndromes*, in: «Epilepsia», vol. XXX, n. 4, 1989, pp. 389-399.
- ³⁵ Cfr. A.T. BERG, S.F. BERKOVIC, M.J. BRODIE, J. BUCHHALTER, J.H. CROSS, W. VAN EMDE BOAS, J.

ENGEL, J. FRENCH, T.A. GLAUSER, G.W. MATHERN, S.L. MOSHÉ, D. NORDLI, P. PLOUIN, I.E. SHEFFER, *Revised Terminology and Concepts for Organization of Seizures and Epilepsies: Report of the ILAE Commission on Classification and Terminology, 2005-2009*, in: «Epilepsia», vol. LI, n. 4, 2010, 676-685; J. ENGEL, ILAE INTERNATIONAL LEAGUE AGAINST EPILEPSY, *A Proposed Diagnostic Scheme for People with Epileptic Seizures and with Epilepsy: Report of the ILAE Task Force on Classification and Terminology*, in: «Epilepsia», vol. XLII, n. 6, 2001, pp. 796-803; J. ENGEL, *Report of the ILAE Classification Core Group*, in: «Epilepsia», vol. XLVII, n. 9, 2006, pp. 1558-1568.

³⁶ Cfr. H. BLUMENFELD, G.D. JACKSON, *Should Consciousness be Included in the Classification of Focal (Partial) Seizures?*, in: «Epilepsia», vol. LIV, n. 6, 2013, pp. 1125-1130.

³⁷ F. CRICK, C. KOCH, G. KREIMAN, I. FRIED, *Consciousness and Neurosurgery*, in: «Neurosurgery», vol. LV, n. 2, 2004, pp. 273-282; G.P. KALAMANGALAM, *Epilepsy and the Physical Basis of Consciousness*, in: «Seizures», vol. X, n. 7, 2001, pp. 484-491.

³⁸ M. AVOLI, P. GLOOR, G. KOSTOPOULOS, T. NAQUET (eds.), *Generalized Epilepsy*, Birkhauser, Boston 1990.

³⁹ J. HUGHLINGS-JACKSON, *On Right or Left-sided Spasms at the Onset of Epileptic Paroxysms, and on Crude Sensation Warnings and Elaborate Mental States*, in: «Brain», vol. III, n. 2, 1880, pp. 192-206 – trad. it. mia.

⁴⁰ W. PENFIELD, *The Cerebral Cortex in Man. I. The Cerebral Cortex and Consciousness*, in: «Archives of Neurology and Psychiatry», vol. XL, 1938, pp. 417-442.

⁴¹ E. HALGREN, R.D. WALTER, D.G. CHERLOW, P.H. CRANDALL, *Mental Phenomena Evoked by Electrical Stimulation of the Human Hippocampal Formation and Amygdala*, in: «Brain», vol. CI, n. 1, 1978, pp. 83-117; P. GLOOR, A. OLIVIER, L.F. QUESNEY, F. ANDERMANN, S. HOROWIT, *The Role of the Limbic System in Experiential Phenomena of Temporal Lobe Epilepsy*, in: «Annals of Neurology», vol. XII, n. 2, 1982, pp. 129-144; P. GLOOR, *The Temporal Lobe and Limbic System*, Oxford University Press, New York 1997.

⁴² Cfr. D.C. TAYLOR, M. LOCHERY, *Temporal Lobe Epilepsy: Origin and Significance of Simple and Complex Auras*, in: «Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry», vol. L, n. 6, 1987, pp. 673-681.

⁴³ Cfr. O. DEVINSKY, D. LUCIANO, *Psychic Phenome-*

na in Partial Seizures, in: «Seminars in Neurology», vol. XI, n. 2, 1991, pp. 100-109.

⁴⁴ Cfr. P. GLOOR, A. OLIVIER, L.F. QUESNEY, F. ANDERMANN, S. HOROWIT, *The Role of the Limbic System in Experiential Phenomena of Temporal Lobe Epilepsy*, cit.; P. GLOOR, *Experiential Phenomena of Temporal Lobe Epilepsy: Facts and Hypotheses*, in: «Brain», vol. CXIII, n. Pt. 6, 1990, pp. 1673-1694.

⁴⁵ Cfr. J. BANCAUD, F. BRUNET-BOURGIN, P. CHANVEL, E. HALGREN, *Anatomical Origin of déjà vu and Vivid "Memories" in Human Temporal Lobe Epilepsy*, in: «Brain», vol. CXVII, Pt. 1, 1994, pp. 71-90.

⁴⁶ Cfr. R.J. PORTER, *Disorders of Consciousness and Associated Complex Behaviors*, in: «Seminars in Neurology», vol. XI, n. 2, 1991, pp. 110-117.

⁴⁷ Cfr. A.D. NORDEN, H. BLUMENFELD, *The Role of Subcortical Structures in Human Epilepsy*, in: «Epilepsy & Behavior», vol. III, n. 3, 2002, pp. 219-231.

⁴⁸ P. GLOOR, *Consciousness as a Neurological Concept in Epileptology: A Critical Review*, in: «Epilepsia», vol. XXVII, Suppl. 2, 1986, S14-S26 – trad. it. mia.

⁴⁹ Cfr. H. BLUMENFELD, *Consciousness and Epilepsy: Why are Patients with Absence Seizures Absent?*, in: S. LAUREYS (ed.) *The Boundaries of Consciousness: Neurobiology and Neuropathology*, Elsevier, Amsterdam 2005, pp. 271-287.

⁵⁰ Cfr. A.G. REEVES, D.W. ROBERTS (eds.) *Epilepsy and the Corpus Callosum 2*, Plenum, New York 1995.

⁵¹ S.P. SPRINGER, G. DEUTSCH, *Left Brain, Right Brain: Perspectives from Cognitive Neuroscience*, W. H. Freeman and Company, New York 1998, p. 36 – 5th edition – trad. it. mia.

⁵² Cfr. E. ZAIDEL, M. IACOBONI, D.W. ZAIDEL, J.E. BOGEN, *The Callosal Syndromes*, in: K.H. HEILMAN, E. VALENSTEIN (eds.) *Clinical Neuropsychology*, Oxford University Press, Oxford 2003 – 4th edition.

⁵³ Cfr. J.E. BOGEN, *Physiological Consequences of Complete or Partial Commissural Section*, in: M.L.J. APUZZO (ed.) *Seurgery of the Third Ventricle*, Williams and Wilkins, Baltimora 1998 – 2nd edition; M.C. CORBALLIS, *Visual Integration in the Split-Brain*, in: «Neuropsychologia», vol. XXXIII, n. 8, 1995, pp. 937-959.

⁵⁴ Cfr. J.E. BOGEN, *Partial Hemispheric Independence with the Neocommissures Intact*, in: C. TREVARTHEN (ed.), *Brain Circuits and Functions of the Mind*, Cambridge University Press, Cambridge 1990, pp. 215-230.

⁵⁵ Cfr. M. IACOBONI, J. RAYMAN, E. ZAIDEL, *Left Brain Says Yes, Right Brain Says No: Normative Duality in the Split Brain*, in: S.R. HAMEROFF, A.W.

KASNAK, A.C. SCOTT (eds.), *Toward a Scientific Basis of Consciousness*, MIT Press, Cambridge 1996, pp. 197-202; D.W. ZAIDEL, *A View of the World From a Split Brain Perspective*, in: E.M.R. CRITCHLEY (ed.) *The Neurological Boudaries of Reality*, Farrand Press, London 1994, pp. 161-174.

⁵⁶ R. SPERRY, *Brain Bisection and the Neurology of Consciousness*, in: J.C. ECCLES (ed.) *Brain and Conscious Experience*, Springer Verlag, New York 1966, pp. 298-313 – trad. it. mia.

⁵⁷ Cfr. J.E. BOGEN, *Partial Hemispheric Independence with the Neocommissures Intact*, cit.

⁵⁸ Cfr. A.D. MILNER, J.J. DUNNE, *Lateralized Perception of Bilateral Chimaeric Faces by Normal Subjects*, in: «Nature», vol. CCLXVIII, n. 5616, 1977, pp. 175-176; T. LANDIS, G. ASSAL, E. PERRET, *Opposite Cerebral Hemispheric Superiorities for Visual Associative Processing of Emotional Facial Expressions and Objects*, in: «Nature», vol. CCLXXVIII, 1979, pp. 739-740; T. LANDIS, R. GRAVES, H. GOODGLASS, *Dissociated Awareness of Manual Performance on two Different Visual Associative Tasks: A "Split-brain" Phenomenon in Normal Subjects?*, in: «Cortex», vol. XVII, n. 3, 1981, pp. 435-440.

⁵⁹ Cfr. T. BAYNE, *The Unity of Consciousness and the Split-Brain Syndrome*, in: «The Journal of Philosophy», vol. CV, n. 5, 2008, pp. 277-300; T. BAYNE, *The Unity of Consciousness*, Oxford University Press, New York 2010.

⁶⁰ Cfr. M.C. DE LACOSTE, J.B. KIRKPATRICK, E.D. ROSS, *Topography of the Human Corpus Callosum*, in: «Journal of Neuropathology and Experimental Neurology», vol. XLIV, n. 6, 1985, pp. 578-591; M.G. FUNNELL, P.M. CORBALLIS, M.S. GAZZANIGA, *Insights into the Functional Specificity of the Human Corpus Callosum*, in: «Brain», vol. CXXIII, n. 5, 2000, pp. 920-926.

⁶¹ Cfr. M.S. GAZZANIGA, H. FREEDMAN, *Observation on Visual Processing after Posterior Callosal Section*, in: «Neurology», vol. XXIII, n. 10, 1973, pp. 1126-1130.

⁶² Cfr. E. ZAIDEL, *Stereognosis in the Chronic Split-brain: Hemispheric Differences, Ipsilateral Control and Sensory Integration Across the Midline*, in: «Neuropsychologia», vol. XXXVI, n. 10, 1998, pp. 1033-1047.

⁶³ Cfr. A. CRONIN-GOLOMB, *Sub-Cortical Transfer of Cognitive Information in Subjects with Complete Forebrain Commissurotomy*, in: «Cortex», vol. XXII, n. 4, 1986, pp. 499-519.

⁶⁴ J. LEVY, *Regulation and Generation of Perception in the Asymmetric Brain*, in: C. TREVARTHEN (ed.),

Brain Circuits and Functions of the Mind: Essays in Honour of Roger W. Sperry, Cambridge University Press, Cambridge 1990, pp. 231-248; T. BAYNE, *The Unity of Consciousness and the Split-Brain Syndrome*, cit.; T. BAYNE, *The Unity of Consciousness*, cit.

⁶⁵ M.S. GAZZANIGA, J.E. BOGEN, R.W. SPERRY, *Laterality Effects in Somesthesia Following Cerebral Commissurotomy in Man*, in: «Neuropsychologia», vol. I, n. 3, 1963, pp. 209-215; E.L. TENG, R.W. SPERRY, *Interhemispheric Rivalry During Simultaneous Bilateral Task Presentation in Commissurotomized Patients*, in: «Cortex», vol. X, n. 2, 1974, pp. 111-120.

⁶⁶ Cfr. A.E. CAVANNA, A. NANI, *Consciousness. Theories in Neuroscience and Philosophy of Mind*, cit.; C. KOCH, N. TSUCHIYA, *Attention and Consciousness: Two Distinct Brain Processes*, in: «Trends in Cognitive Sciences», vol. XI, n. 1, 2006, pp. 16-22.

⁶⁷ Cfr. B. JENNETT, *Thirty Years of the Vegetative State: Clinical, Ethical and Legal Problems*, in: «Progress in Brain Research», vol. CL, 2005, pp. 537-543; B. JENNETT, F. PLUM, *Persistent Vegetative State After Brain Damage. A Syndrome in Search of a Name*, in: «Lancet», vol. CCXCIX, n. 7753, 1972, pp. 734-737; MULTI-SOCIETY TASK FORCE ON PVS, *Medical Aspects of the Persistent Vegetative State*, in: «The New England Journal of Medicine», vol. CCCXXX, n. 21, 1994, pp. 1572-1579.

⁶⁸ Cfr. F. PLUM, J.B. POSNER, *The Diagnosis of Stupor and Coma*, FA Davis, Philadelphia 1983 – 3rd edition.

⁶⁹ Cfr. ROYAL COLLEGE OF PHYSICIANS, *The Vegetative State: Guidance on Diagnosis and Management*, Royal College of Physicians, London 2003.

⁷⁰ Cfr. J.T. GIACINO, S. ASHWAL, N. CHILDS, R. CRANFORD, B. JENNETT, D.I. KATZ, J.P. KELLY, J.H. ROSENBERG, J. WHYTE, R.D. ZAFONTE, N.D. ZASLER, *The Minimally Conscious State: Definition and Diagnostic Criteria*, in: «Neurology», vol. LVIII, n. 3, 2002, pp. 349-353.

⁷¹ Cfr. O. GOSSERIES, A. VANHAUDENHUYSE, M. BRUNO, A. DEMERTZI, C. SCHNAKERS, M.M. BOLY, A. MAUDOUX, G. MOONEN, S. LAUREYS. *Disorders of Consciousness: Coma, Vegetative and Minimally Conscious States*, in: D. CVETKOVIC, I. COSIC (eds.), *States of Consciousness*, Springer-Verlag, Berlin 2011, pp. 29-55.

⁷² Cfr. K. ANDREWS, L. MURPHY, R. MUNDAY, C. LITTLEWOOD, *Misdiagnosis of the Vegetative State: Retrospective Study in a Rehabilitation Unit*, in: «British Medical Journal», vol. CCCXIII, Art.Nr. 13, 1996 – doi: 10.1136/bmj.313.7048.13; C. SCHNAKERS, A. VANHAUDENHUYSE, J. GIACINO, M.

VENTURA, M. BOLY, S. MAJERUS, G. MOONEN, S. LAUREYS, *Diagnostic Accuracy of the Vegetative and Minimally Conscious State: Clinical Consensus versus Standardized Neurobehavioral Assessment*, in: «BMC Neurology», vol. IX, 2009, Art.Nr. 35 – doi:10.1186/1471-2377-9-35.

⁷³ Cfr. M.M. MONTI, A. VANHAUDENHUYSE, M.R. COLEMAN, M. BOLY, J.D. PICKARD, L. TSHIBANDA, A.M. OWEN, S. LAUREYS, *Willful Modulation of Brain Activity in Disorders of Consciousness*, in: «The New England Journal of Medicine», vol. CCCLXII, n. 7, 2010, pp. 579-589.

⁷⁴ Cfr. A. VANHAUDENHUYSE, S. LAUREYS, F. PERRIN, *Cognitive Event-related Potentials in Comatose and Post-Comatose States*, in: «Neurocritical Care», vol. VIII, n. 2, 2008, pp. 262-270.

⁷⁵ Cfr. T.A. BEKINSCHTEIN, D.E. SHALOM, C. FOR-

CATO, M. HERRERA, M.R. COLEMAN, F.F. MANES, M. SIGMAN, *Classical Conditioning in the Vegetative and Minimally Conscious State*, in: «Nature Neuroscience», vol. XII, n. 10, 2009, pp. 1343-1349; G.E. LANCIONI, A. BOSCO, M. OLIVETTI BELARDINELLI, N.N. SINGH, M.F. O'REILLY, J. SIGAFOOS, F. BUONOCUNTO, J. NAVARRO, C. LANZILOTTI, F. D'AMICO, M. DE TOMMASO, *Assessing Learning as a Possible Sign of Consciousness in Post-coma Persons with Minimal Responsiveness*, in: «Frontiers of Human Neuroscience», vol. VIII, 2014, Art.Nr. 25 – doi: 10.3389/fnhum.2014.00025.

⁷⁶ Cfr. N. KANWISHER, *Neural Events and Perceptual Awareness*, in: «Cognition», vol. LXXIX, n. 1-2, 2001, pp. 89-113.

⁷⁷ Cfr. A. BERTI, *Neuropsicologia della coscienza*, cit.; S. ZEKI, *A Theory of Micro-consciousness*, cit.