

Coscienza e tecniche di indagine del cervello

Integrazione, differenziazione e organizzazione dell'esperienza cosciente

1. Abstract

L'indagine sulla coscienza costituisce tuttora un cantiere di ricerca aperto, posto all'incrocio tra neuroscienze e filosofia. Se manca ancora una definizione condivisa dalla comunità scientifica di cosa sia esattamente la coscienza – una difficoltà che richiama, per certi versi, l'assenza di un *consensus* circa la definizione stessa di vita – vi è una significativa convergenza nel ritenere che essa sia un “prodotto” del cervello. In questo contesto, le tecniche di indagine dell'attività cerebrale rappresentano una via di accesso privilegiata per cercare di individuare empiricamente i correlati neurali dell'esperienza cosciente.

Il *paper* illustra tre esperimenti: il confronto, mediante TMS-EEG, tra veglia e sonno non-REM; il confronto, sempre mediante TMS-EEG, tra la veglia e diversi stati di coscienza farmacologicamente alterati; e lo studio, attraverso registrazioni stereo-EEG, dell'attività cerebrale “*sleep-like*” prodotta, in soggetti svegli, da una lesione focale mediante termoablazione. Nel loro insieme, questi esperimenti rafforzano l'ipotesi di una stretta dipendenza della coscienza dalle dinamiche cerebrali, lasciando tuttavia aperta la più ampia riflessione, propriamente filosofica, sulla sua natura ultima.

Parole chiave: coscienza; TMS-EEG; stereo-EEG; sonno; anestesia, propofol e xenon; midazolam; neghentropia.

2. Il “problema” della coscienza

Nella storia del pensiero occidentale, la coscienza ha rappresentato, insieme alla questione ontologica, uno dei principali temi della riflessione filosofica. Dalle concezioni antiche dell'anima e della conoscenza fino alla fenomenologia novecentesca, il problema è stato affrontato da prospettive profondamente diverse. La sua complessità impedisce di darne conto nelle poche pagine consentite da questa relazione. Ai fini di quanto si intende esporre, è tuttavia possibile isolare, con inevitabile approssimazione, alcune considerazioni essenziali tratte da un dibattito assai più ampio¹:

- la **coscienza è innanzitutto un'esperienza soggettiva** e, come tale, non è direttamente accessibile ad altri nella sua dimensione qualitativa. Con larga approssimazione, e senza poter evitare del tutto il rischio di una definizione ricorsiva, può essere descritta come la consapevolezza dei propri stati e processi mentali;
- la ricerca neuroscientifica individua nel **cervello il luogo privilegiato** per l'indagine delle condizioni fisiche associate alla coscienza. Essa assume come oggetto di studio la relazione tra attività cerebrale ed esperienza cosciente, senza che ciò implichi necessariamente né una soluzione del problema filosofico della natura della coscienza, né la sua integrale riducibilità ai processi cerebrali;
- in questa prospettiva, l'**evoluzione delle tecniche di indagine del cervello** può offrire una via di accesso all'individuazione dei correlati neurali della coscienza e dei processi cerebrali che ne costituiscono le condizioni necessarie. Tali tecniche non permettono di osservare direttamente

¹) Traggo queste sintetiche considerazioni da Savoldi, F., Ceroni, M., Vanzago, L. (a cura di), “La coscienza. Contributi per specialisti e non specialisti tra neuroscienze, filosofia e neurologia”, Fauno (PU), 2014 (in particolare dalla “Parte I – Le grandi scuole di pensiero”).

l'esperienza soggettiva, ma consentono di esaminare le dinamiche neurali che ne accompagnano la presenza, l'alterazione o la perdita.

Ricondotta la questione entro questi limiti, con la consapevolezza dell'approssimazione compiuta, è possibile esaminare tre esperimenti, tra quelli presentati nelle quattro lezioni del **Laboratorio di filosofia sperimentale**, che offrono specifici spunti di riflessione sul rapporto tra attività cerebrale e coscienza. Non verranno illustrate analiticamente le singole tecniche impiegate; per ciascun esperimento saranno invece esaminate la domanda scientifica, il disegno sperimentale e i risultati, per proporre infine una lettura complessiva e formulare alcune conclusioni necessariamente preliminari.

3. Esperimenti esaminati

I primi due esperimenti sono stati presentati dalla Dott. Sara Parmigiani nel corso della lezione di presentazione della TMS-EEG; il terzo è stato presentato dal Dott. Andrea Pigorini durante la lezione sulla EEG intracerebrale.

Questi esperimenti si inseriscono nel **quadro teorico dell'informazione integrata**. Secondo questo *framework* concettuale, elaborato da Giulio Tononi², la coscienza viene associata alla capacità del cervello di **integrare** e, contemporaneamente, **differenziare l'informazione**. In un soggetto cosciente, uno stimolo applicato a una determinata area cerebrale non produce soltanto una risposta locale, ma genera un'attività che si trasmette ad altri nodi del sistema, dando luogo a segnali tra loro integrati e tuttavia differenti. Negli stati di incoscienza può invece verificarsi una perdita di integrazione, quando la risposta rimane confinata al sito stimolato e si spegne senza propagarsi, oppure una perdita di differenziazione, quando l'attività si diffonde globalmente ma le diverse aree rispondono in maniera lenta, uniforme e stereotipata. La presenza della coscienza viene pertanto collegata non alla semplice quantità o diffusione dell'attività cerebrale, ma alla compresenza di **integrazione e differenziazione dell'informazione**.

3.1. Primo esperimento: veglia e sonno³

La domanda scientifica consiste nel verificare come cambi la risposta cerebrale a una medesima stimolazione TMS quando il soggetto passa dalla veglia al sonno e, in particolare, se tale passaggio comporti una riduzione dell'integrazione e della differenziazione dell'informazione.

Il disegno sperimentale prevede una registrazione della durata di quindici minuti, comprendente diverse stimolazioni applicate a un'area specifica mentre il soggetto è inizialmente sveglio e successivamente comincia ad addormentarsi, passando attraverso lo stadio iniziale fino al sonno profondo. L'attività prodotta dalla TMS viene osservata mediante EEG. Durante la veglia, l'impulso attiva varie porzioni della corteccia e genera una risposta articolata, che non rimane localizzata ma si propaga in modo integrato tra differenti aree.

²) Tononi, G., "An information integration theory of consciousness", BMC Neurosci 5, 42 (2004). <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-42>. URL consultato il 7 agosto 2026.

³) In argomento, si veda: Sarasso, S. et al., "Quantifying cortical EEG responses to TMS in (un)consciousness", Clin EEG Neurosci. 2014 Jan; 45(1):40-9. DOI: 10.1177/1550059413513723. Epub 2014 Jan 8. PMID: 24403317. URL consultato il 7 agosto 2026; Massimini M. et al., "Breakdown of Cortical Effective Connectivity During Sleep", Science 309, 2228-2232(2005). DOI:[10.1126/science.1117256](https://doi.org/10.1126/science.1117256). URL consultato il 7 agosto 2026.

Con il progressivo addormentamento, invece, l'**attività di integrazione e differenziazione rallenta**; nel sonno profondo⁴ la risposta resta circoscritta intorno al sito della stimolazione e si spegne rapidamente, senza trasmettersi ad altre aree.

Il risultato mostra pertanto un pattern nettamente diverso nei due stati: nella veglia la risposta è diffusa e differenziata, mentre nel sonno profondo è locale e di breve durata, indicando la perdita della capacità di trasmettere e integrare l'informazione.

3.2. Secondo esperimento: stati alterati di coscienza indotti dall'anestesia⁵

La domanda scientifica consiste nel verificare se la riduzione dell'integrazione e della differenziazione osservata durante il sonno si presenti anche negli **stati alterati di coscienza prodotti da sostanze anestetiche**. Il disegno sperimentale confronta la risposta alla stimolazione TMS durante la veglia con quella rilevata sotto **propofol** e **xenon**; viene inoltre richiamato un confronto tra **midazolam** e sonno non-REM.

Anche in questo caso, l'attività cerebrale successiva allo stimolo è registrata mediante EEG e analizzata nei diversi canali. Durante la veglia, l'attività comincia nel sito di stimolazione e si propaga nel cervello in maniera complessa. Con il propofol, in uno stato nel quale il soggetto non riferisce di essere cosciente, la stimolazione produce una risposta cerebrale che resta localizzata e poi si spegne. Con lo xenon, invece, la risposta è ampia ma fortemente stereotipata e rimane riferita al sito stimolato. La risposta osservata con il midazolam presenta infine somiglianze, indicate come statisticamente significative, con quella del sonno non-REM.

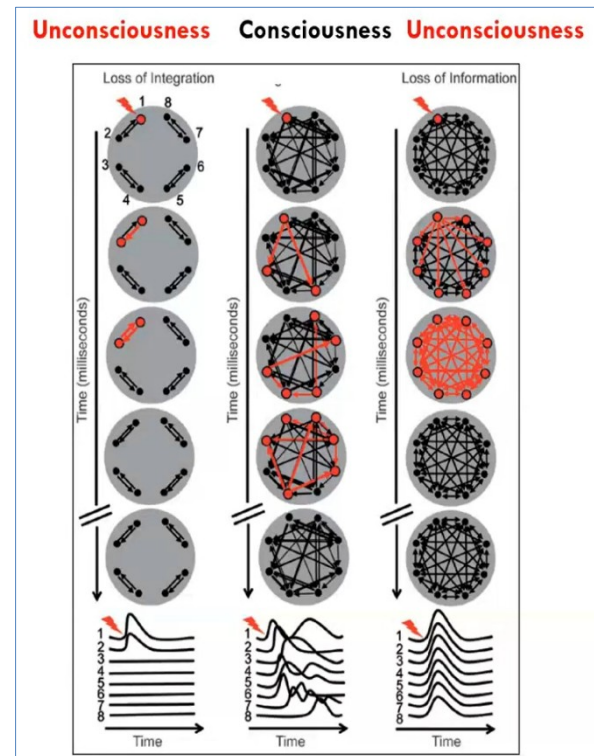


Fig. 1: Fonte: Sarasso (2015)

Secondo la conclusione proposta nella lezione, negli stati nei quali la coscienza è assente viene meno l'integrazione o la differenziazione dell'informazione: la risposta può non propagarsi oppure può assumere una forma uniforme e stereotipata (vedi Fig. 1).

3.3. Terzo esperimento: attività "sleep-like" prodotta da una lesione cerebrale focale⁶

⁴) È bene ricordare che il sonno attraversa diverse fasi e che i risultati relativi al sonno profondo non sono necessariamente riferibili anche al sonno REM. Nella prospettiva delle conclusioni di questo *paper*, appare significativo anche il fenomeno del sogno: la persistenza di esperienze coscienti durante il sonno, nonostante la profonda modificazione della relazione con l'ambiente esterno e di alcune dinamiche cerebrali proprie della veglia, appare compatibile con l'ipotesi, che articoleremo nel prosieguo, che l'esperienza cosciente coinvolga componenti funzionali almeno in parte dissociabili, alcune delle quali possono permanere attive anche quando altre risultano fortemente attenuate.

⁵) In argomento, si veda Ferrarelli, F. et al., "Breakdown in cortical effective connectivity during midazolam-induced loss of consciousness", in Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 107 (6) 2681-2686, <https://doi.org/10.1073/pnas.0913008107> (2010). URL consultato il 7 agosto 2026; Sarasso, S. et al., "Consciousness and Complexity during Unresponsiveness Induced by Propofol, Xenon, and Ketamine", Curr Biol. 2015 Dec 7; 25(23): 3099-105. DOI: 10.1016/j.cub.2015.10.014. Epub 2015 Nov 19. PMID: 26752078. URL consultato il 7 agosto 2026.

⁶) Si veda Russo, S. et al., "Focal lesions induce large-scale percolation of sleep-like intracerebral activity in awake humans", Neuroimage. 2021 Jul 1; 234:117964. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2021.117964. Epub 2021 Mar 23. PMID: 33771696. URL consultato il 7 agosto 2026.

La domanda scientifica consiste nel verificare quali effetti una lesione focale produca sull'attività dei neuroni e dei circuiti cerebrali, disponendo di una registrazione effettuata sia prima sia dopo la lesione. Il disegno sperimentale sfrutta la termoablazione a radiofrequenza eseguita in pazienti epilettici attraverso gli elettrodi della stereo-EEG: una volta individuato il focolaio epilettico, gli stessi elettrodi vengono utilizzati per produrre una lesione molto circoscritta e per registrare l'attività cerebrale prima e dopo l'intervento.

Questa particolare procedura consente di disporre, per gli stessi pazienti e nei medesimi contatti, di una condizione iniziale di riferimento e di confrontare inoltre l'attività successiva alla lesione con quella registrata durante il sonno. Prima della termoablazione, l'attività degli elettrodi è ricca di componenti ad alta frequenza; dopo la lesione diviene invece prevalentemente lenta e presenta caratteristiche sostanzialmente analoghe a quelle osservate, negli stessi pazienti e negli stessi contatti, durante il sonno. Tale attività “*sleep-like*” compare nell'area circostante la lesione e nelle regioni ad essa connesse.

L'esperimento costituisce quindi un utile termine di paragone con i precedenti, in quanto mostra che, anche durante la veglia, possono emergere localmente dinamiche neurofisiologiche analoghe a quelle associate, nei primi due esperimenti, alla perdita di integrazione dell'informazione. Il dato suggerisce pertanto che una parte del cervello possa entrare in una condizione funzionale simile al sonno anche mentre lo stato generale dell'organismo rimane quello della veglia. **La distinzione tra coscienza e incoscienza non parrebbe dunque dipendere soltanto da uno stato uniforme dell'intero cervello.**

4. Alcune considerazioni conclusive

Il confronto tra i tre esperimenti, complessivamente considerati, autorizza a formulare l'ipotesi che la **coscienza non operi come un fenomeno unitario e indivisibile**, secondo una logica del “tutto o nulla”, ma possa piuttosto emergere dall'interazione di una pluralità di componenti o moduli funzionali, in parte sovrapposti e reciprocamente integrati. La compromissione di uno di questi circuiti può alterare specifici aspetti dell'elaborazione cosciente senza determinare necessariamente la perdita della coscienza nel suo complesso. **L'unitarietà dell'esperienza cosciente potrebbe quindi non corrispondere all'unitarietà del suo substrato funzionale, ma risultare dall'integrazione dinamica di processi distinti e complementari**⁷.

Le osservazioni che precedono suggeriscono, inoltre, una possibile e suggestiva **analogia tra vita e coscienza** che sviluppo, precisando come essa costituisca principalmente una **riflessione personale** e debba, pertanto, essere considerata con la necessaria cautela. La vita, considerata nella sua dimensione fisica e termodinamica, è caratterizzata dalla capacità degli organismi di mantenere nel tempo un elevato grado di organizzazione interna, contrastando localmente la naturale tendenza verso l'aumento dell'entropia attraverso un continuo scambio di materia ed energia con l'ambiente. In questo senso, e con le necessarie precisazioni, essa può essere descritta come un **processo neghentropico**⁸.

⁷) In questo senso pare esprimersi Dehaene S, Naccache L., “Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework”, *Cognition*. 2001 Apr; 79(1-2):1-37. DOI: 10.1016/s0010-0277(00)00123-2. PMID: 11164022. URL consultato l'8 agosto 2026. In questa prospettiva, appare interessante anche il risultato di un esperimento cui ho avuto modo di partecipare come soggetto esaminato, che suggerisce, sul piano cognitivo, come l'elaborazione globale dell'informazione possa produrre proprietà emergenti non interamente ricostruibili dalla semplice combinazione delle sue componenti considerate separatamente (Si veda Sassoli de Bianchi, L., Sassoli de Bianchi, M., “The Cognitive Triple-slit Experiment”, *Int J Theor Phys* 64, 302 (2025). DOI: 10.1007/s10773-025-06175-3. URL consultato l'8 agosto 2026).

⁸) Il riferimento seminale è naturalmente a E. Schrödinger, “What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell”, Cambridge, 1944. L'intuizione ha trovato un successivo e più rigoroso sviluppo nell'ambito della termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio e, in particolare, nella teoria delle strutture dissipative di Prigogine e di altri studiosi. In questa prospettiva, l'ordine caratteristico dei sistemi viventi non costituisce una violazione del secondo principio della termodinamica, ma può essere mantenuto localmente proprio perché l'organismo è un sistema aperto, che scambia materia ed energia con l'ambiente ed esporta entropia. Il richiamo alla “neghentropia” nel testo è pertanto utilizzato in questo senso e, con riferimento alla coscienza, soltanto in via analogica ed euristica, quale metafora della conservazione dinamica

Qualcosa di almeno analogamente descrivibile potrebbe verificarsi nella coscienza, questa volta non sul piano termodinamico, ma su quello dell'**organizzazione dell'informazione**. Il substrato neurologico riceve continuamente una molteplicità di stimoli, interni ed esterni, elaborati da sistemi funzionalmente differenziati e almeno in parte autonomi.

Eppure, questa pluralità di processi non si presenta normalmente al soggetto come una successione disordinata di informazioni indipendenti: essa viene integrata in un'esperienza che conserva, momento dopo momento, un carattere sostanzialmente unitario. La coscienza sembra dunque realizzare un equilibrio peculiare tra due esigenze apparentemente opposte: preservare la differenziazione dell'informazione – senza la quale l'esperienza perderebbe ricchezza e specificità – e, contemporaneamente, integrarla in una configurazione coerente e unitaria.

Sotto questo profilo potrebbe allora essere proposta, con valore essenzialmente euristico, una sorta di **analogia neghentropica**. Come la vita mantiene e continuamente ricostituisce un ordine biologico a fronte dei processi fisici che tendono alla sua dispersione, così la coscienza mantiene e continuamente ricostituisce un ordine informazionale a partire dalla molteplicità dei processi che si svolgono nel cervello. In entrambi i casi, ciò che deve essere preservato non è una struttura statica, bensì un'organizzazione dinamica: nella vita, quella dell'organismo; nella coscienza, quella dell'esperienza.

L'analogia non implica che i due fenomeni siano necessariamente riconducibili al medesimo principio fisico⁹, né che sia possibile attribuire alla coscienza una proprietà neghentropica in senso propriamente termodinamico. Essa indica piuttosto un possibile tratto comune sul piano dell'organizzazione: tanto il vivente quanto il cosciente paiono caratterizzati dalla capacità di preservare una forma di unità attraverso il continuo trattamento di una molteplicità di elementi e di perturbazioni.

Gabriele Capecchi

Università degli Studi di Milano – Corso di Laurea triennale in Filosofia

8 agosto 2026

di un ordine informazionale, senza postulare un'identità tra entropia termodinamica ed entropia dell'informazione.

⁹) Una più radicale formulazione del rapporto tra auto-organizzazione, informazione e conservazione dell'integrità dei sistemi viventi è proposta, attraverso il *free-energy principle* e la nozione di *Markov blanket*, da Friston, K., "Life as we know it", J R Soc Interface 10 (86): 20130475 (2013). DOI: 10.1098/rsif.2013.0475. URL consultato l'8 agosto 2026.