

Marcella Banfi

Neuroimaging: vincoli e possibilità

Colori sgargianti, mappature sovrapposte, la sensazione di penetrare finalmente nella scatola magica del nostro cervello, il *Neuroimaging*¹, da poco entrato nel discorso scientifico, ha avuto una grande risonanza su riviste e programmi di divulgazione. Spesso, nella stampa giornalistica, roboanti titoli accompagnano le immagini degli esami di *screening* cerebrale: “scoperte le spie dell’anoressia”, “infanticidio, nel cervello delle madri l’interruttore”, “arriva il casco che fotografa il cervello”² solo per citare qualche esempio. Ma come funzionano le tecniche di *neuroimaging*? Possono effettivamente mostrarci il funzionamento del cervello? E quali nuove scoperte introduce la neuropedagogia nell’ambito lavorativo di un insegnante? Queste le domande che hanno indotto OPPI a costruire un gruppo di ricerca per trovare il nostro senso e la nostra posizione associativa. Gli articoli proposti in questo numero della rivista sono il risultato, temporaneo e viabile, di un percorso durato più di un anno.

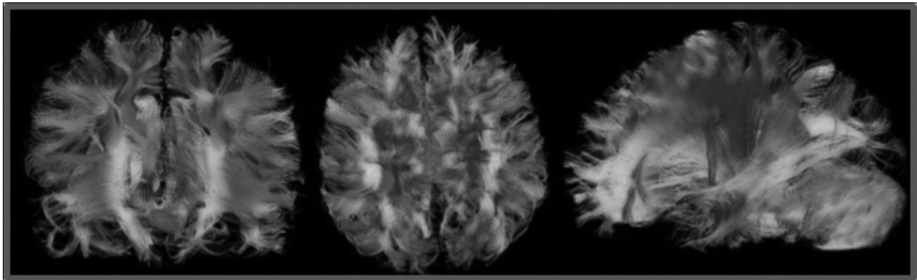


Fig. 1 – Immagine di una PET cerebrale

* Docente di lettere presso l'istituto Rinnovata Pizzigoni, formatrice OPPI dal 2015, vicedirettrice e responsabile dei Social Media dal 2021, si occupa di progettazione per competenze, semplificazione linguistica e metodologie attive. Dal 2021 collabora con l'Università della Bicocca come supervisore per il progetto TOP.

¹ In neurologia, con l'espressione *neuroimaging* o neuroimmagine si intende l'insieme di quelle tecniche di diagnostica per immagini che, applicate all'esame del cervello, ne permettono la visualizzazione in tempo reale della struttura, del funzionamento e anche delle relative misure biochimiche e molecolari. Si veda [treccani.it/enciclopedia/neuroimaging_%28Enciclopedia-Italiana%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/neuroimaging_%28Enciclopedia-Italiana%29/) (ultimo accesso luglio 2023).

² Kelland K., *Arriva il casco che fotografa il cervello. Rivoluzione nel campo dell'imaging cerebrale*, in [quotidianosanita.it/scienza-e-farmaci/articolo.php?articolo_id=60166](https://www.quotidianosanita.it/scienza-e-farmaci/articolo.php?articolo_id=60166) (ultimo accesso luglio 2023).

Le neuroscienze in breve

Di cosa parliamo quando diciamo Neuroscienze? In generale, dovremmo intendere le scienze del neurone, ovvero tutte quelle aree di indagine che hanno a che fare con il cervello e il suo funzionamento. Un campo di studi amplissimo che tocca farmacologia, biologia, fisica, matematica, chimica fino a congiungersi con filosofia, antropologia e sociologia. Un sapere complesso e molteplice che ha le potenzialità per dirigersi verso la riunificazione di due ambiti della conoscenza oggi molto lontani: quello scientifico e quello umanistico.

La natura trasversale di questo campo di studi risulta evidente anche quando si legge il curriculum dei suoi esponenti storici. A titolo di esempio, Brenda e Peter Miller, nomi celebri nel settore, che hanno scoperto, rispettivamente, il circuito del piacere e il funzionamento articolato della memoria, di formazione, erano una psicologa cognitivista e un ingegnere elettronico.

Possiamo far iniziare la storia delle Neuroscienze con Camillo Golgi che, attraverso la sua “reazione nera”, per la quale ottenne il Nobel nel 1906, riuscì a colorare i neuroni e a definirne e classificarne la struttura.

A questa prima fase di catalogazione e scoperta del cervello in vitro, ne seguì una, dalla seconda metà del Novecento, in cui lo studio del neurone poteva essere finalmente condotto dal vivo.

Inizialmente, i neuroscienziati si concentrarono su due ambiti in particolare: lo studio di pazienti con lesioni cerebrali e l'elettrofisiologia in vivo, ovvero la stimolazione elettrica di parti del cervello durante un'operazione chirurgica.

Le neuroscienze moderne, invece, iniziano tra gli anni Cinquanta e Sessanta del Novecento, guidate da un interrogativo estremamente interessante per quanto molto sfuggente: come si passa dal cervello alla mente? Come si passa dal neurone al pensiero? Queste domande sono state il segnale di un cambio di paradigma epistemologico poiché da un lato hanno riabilitato alcuni termini estromessi dal comportamentismo, come mente o coscienza, e dall'altro hanno ricongiunto il pensiero alla sua natura biologico-organica, permettendo così di riunificare mente e corpo.

Solo con le nuove tecniche di *screening* cerebrale, nate tra gli anni Sessanta e Settanta, si inizia a studiare il cervello di pazienti sani: con il *neuroimaging* in vivo era possibile osservare, in diretta, l'attivazione di aree cerebrali mentre una persona svolgeva certi compiti.

Le prime scoperte delle neuroscienze ebbero un riverbero su molteplici campi del sapere, dalla farmacologia, alla cibernetica, alla robotica.

Oggi gli studi in ambito neuroscientifico che, grazie al supporto dei computer, hanno avuto un'accelerazione notevole, uniscono psicologia sperimentale, neurobiologia, teoria dell'informazione, informatica e si diramano in moltissime branche di studi: neuropsicologia, neuroeconomia, neuroetica, neuroscienza del comportamento, neuroscienze forensi, neuropedagogia, solo per citarne alcuni.

La neuropedagogia

Dall'incontro tra le tecniche di neuroimmagine e le teorie pedagogico\didattiche nasce la neuropedagogia. Questa è una combinazione delle neuroscienze cognitive con la psicologia cognitiva, comportamentale e con le prassi educativo-didattiche³. L'obiettivo di questa branca di studi è sviluppare nuove forme di insegnamento supportando le pratiche pedagogiche con i risultati dell'*imaging* cerebrale⁴. Come spesso accade in campo scientifico, le radici della neuroeducazione vanno cercate abbastanza lontano nel tempo. Il problema del rapporto tra educazione e sviluppo cerebrale veniva già delineato da uno studio pubblicato addirittura alla fine del 1800. In *The growth of the brain: a study of the nervous system in relation to education*, Donaldson si interrogava su quali fossero le differenze inter-individuali nel cervello e su come fosse possibile influire sulla crescita cerebrale in modo tale da migliorare lo sviluppo di capacità e attitudini umane⁵.

Le principali tecniche di Neuroimaging

Vediamo brevemente quali sono le tecniche di *Neuroimaging* utilizzate oggi e come funzionano.

Le neuroscienze utilizzano le seguenti analisi:

- MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) - morfologica
- fMRI (risonanza magnetica funzionale) - metabolica
- PET (tomografia a emissione di positroni) - metabolica
- EEG (elettro-encefalo-gramma) - funzionale
- MEG (magneto-encefalo-grafia) - funzionale

MRI (*Magnetic Resonance Imaging*)

La prima immagine da RM è del 1977; la MRI è utilizzata per produrre immagini strutturali degli organi⁶. Questa tecnica si basa sul fatto che i nuclei degli atomi del nostro corpo sono in grado di assorbire e rimettere radiazioni elettromagnetiche.

All'interno del nostro corpo ci sono nuclei che, avendo un numero diverso di protoni e neutroni, oscillano come

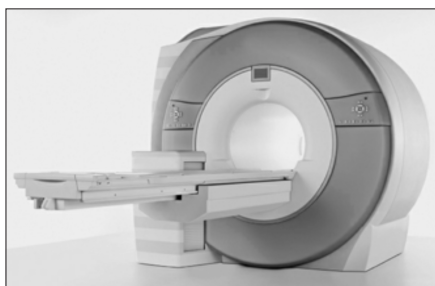


Fig. 2 – Apparecchio per MRI

³ Si veda Capurso M., *Educazione e neuroscienze*, in rivistedigitali.ericsson.it/integrazione-scolastica-sociale/it/visualizza/pdf/1065 (ultimo accesso luglio 2023).

⁴ Hernandez Fernandez A., *Neuropedagogy and neuroimaging*, si veda researchgate.net/Neuropedagogy_and_neuroimaging (ultimo accesso luglio 2023).

⁵ Capurso M., *Educazione e neuroscienze*, op. cit., p. 56.

⁶ Logothetis N.K., *What we can do and what we cannot do with fMRI*, "Nature", vol. 453, n. 7197, 2008, pp. 869-878.

fossoro piccole calamite. Questi nuclei possono essere orientati attraverso un campo magnetico. La Risonanza Magnetica (detta anche Risonanza Magnetico Nucleare) utilizza un campo magnetico molto forte, ottenuto con fili di rame a basse temperature. L'organo da indagare è posizionato "nel buco in mezzo" attorno al quale si attiva il campo magnetico per un intervallo di tempo che varia tra i 2 e i 10 millisecondi. Successivamente, si analizza il tempo di risposta dei nuclei del tessuto. Questi echi di risposta vengono elaborati e trasformati in immagini anatomiche statiche dei tessuti corporei. I parametri utilizzati per trasformare l'indice di decadimento dei nuclei in immagini, implicherebbero un grado di analisi troppo approfondito per essere divulgato qui; quanto ci preme sottolineare, tuttavia, è che il passaggio da un codice (risposta elettromagnetica) a un altro (rappresentazione computerizzata) comporta decisioni dipendenti da variabili che necessariamente vengono standardizzate in *range*. Pertanto, è necessario tener presente che le immagini dell'MRI dipendono da variabili dipendenti e procedure di traduzione codificate.

fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging)

Inventata intorno agli anni Novanta, dà immagini del cervello impegnato nell'esecuzione di un compito. Rappresenta i cambiamenti dei livelli di ossigeno nel sangue all'interno delle aree attive del cervello.

Segue il paradigma: chi più lavora più consuma ossigeno (una *risposta blood oxygen level dependent BOLD*). Misurando indirettamente le alterazioni del flusso sanguigno e dell'attività elettrica, l'fMRI valuta l'attività cerebrale; quando si ritiene ci sia una correlazione statisticamente significativa tra il segnale BOLD e lo stimolo, vengono colorate le zone corrispondenti di una mappa cerebrale⁷.

Il ciclo dell'fMRI è dunque questo:

- stimolo
- risposte neurali
- risposte vascolari
- rilevazione del segnale BOLD
- analisi del segnale BOLD
- generazione di macchie sulle immagini di un cervello standard
- interpretazione

L'fMRI è la tecnica di *neuroimaging* più utilizzata⁸. Presenta, però, alcuni limiti intrinseci⁹:

- misura una variabile surrogata;

⁷ Ranzato M., *Close Up Engineering, fMRI (risonanza magnetica funzionale): cos'è e funzionamento*, in biomedicalcue.it/fmri-risonanza-magnetica-funzionale-cose-funzionamentoio (ultimo accesso luglio 2023).

⁸ Glover G.H., *Overview of Functional Magnetic Resonance Imaging*, in *Neurosurg Clin N Am.*, 2022, pp. 133-139.

⁹ Logothetis N.K., *What we can do*, op. cit.

- rispetto alle dinamiche temporali neurali che solitamente avvengono in frazioni di secondo, i cambiamenti vascolari sono lenti; il tempo di rilassamento del segnale BOLD va solitamente dai 3 ai 9 secondi, la fMRI non dà quindi informazioni sulla variabile tempo;
- la risoluzione spaziale dei dati è limitata dalle dimensioni del *voxel* (millimetro cubo) enorme volume di tessuto cerebrale (2,5 milioni di neuroni; 1,5 miliardi di sinapsi);
- non distingue tra neuroni eccitatori e inibitori¹⁰;
- esperimenti con simili o identici paradigmi danno risultati molto diversi¹¹.

PET (tomografia a emissione di positroni)

La PET si utilizza per analizzare lo stato metabolico di un tessuto attraverso l'utilizzo dell'antimateria. Questa tecnica usa un tracciante radioattivo iniettato nel sangue e fornisce immagini del metabolismo degli zuccheri. Il tracciante radioattivo è a base di glucosio, questo arriva nel tessuto indagato, viene metabolizzato così emettendo positroni (antiparticelle dell'elettrone) che, quando vengono a contatto con gli elettroni circostanti, si annichilano emettendo due fotoni. I fotoni, carichi di un'energia equivalente si distanziano tra loro percorrendo una linea di volo che, fotografata, rivela il punto di emissione. La PET è un esame metabolico, come l'fMRI, che si utilizza, per lo più, insieme a esami morfologici, come la TC e l'MR.

I limiti della PET sono questi:

- misura una variabile surrogata;
- il decadimento della sostanza radioattiva è rapido quindi gli stimoli studiati devono essere brevi;
- non è ripetibile più volte perché invasiva;
- va cercato un compromesso tra il liquido di contrasto radioattivo utilizzabile senza danni al paziente e la quantità di informazioni ottenibili¹²;
- non può misurare i cambiamenti nel tempo;
- dipende dal metabolismo individuale del glucosio.

¹⁰ Schleim S., Roiser J.P., Logothetis J.P., "The fMRI signal cannot easily differentiate between function-specific processing and neuromodulation, between bottom-up and top-down signals, and it may potentially confuse excitation and inhibition. The magnitude of the fMRI signal cannot be quantified to reflect accurately differences between brain regions, or between tasks within the same region. The origin of the latter problem is not due to our current inability to estimate accurately cerebral metabolic rate of oxygen (CMRO2) from the BOLD signal, but to the fact that haemodynamic responses are sensitive to the size of the activated population, which may change as the sparsity of neural representations varies spatially and temporally", in [ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2815671/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2815671/) (ultimo accesso luglio 2023).

¹¹ AA.VV., *Variability of fMRI activation during a phonological and semantic language task in healthy subjects*, in [ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6871802/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6871802/) (ultimo accesso luglio 2023).

¹² "There is a compromise to be reached between low-dose CT scan with minimal radiation exposure and thin-slice CT scan, with higher dose providing more pertinent information on brain structure for interpretation of functional images" in Salmon E., Bernard C., Hustinx R., *Pitfalls and Limitations of PET/CT in Brain Imaging*, in pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26522395/ (ultimo accesso luglio 2023).

EEG (ElettroEncefaloGrafia)

Questa tecnica registra il campo elettrico dell'attività neurale della corteccia. Usa elettrodi superficiali applicati allo scalpo attraverso una cuffia che è stata modellizzata per poter riprodurre gli esperimenti su scala globale. Si acquisisce il segnale, lo si elabora, poi lo si analizza. Il segnale emesso dai neuroni non è abbastanza forte quindi lo si amplifica e lo si filtra, eliminando tutte le frequenze più basse e le distorsioni più alte. Inoltre, il segnale emesso dalle sinapsi è troppo breve, quindi ci si concentra sul segnale post sinaptico che dura di più. L'EEG dà come risultati delle frequenze formate da onde complesse che vengono poi raggruppate in bande di frequenza tra i 2 e i 100 Microvolt. Queste, come vediamo nella figura n. 3 sono identificate con l'alfabeto greco¹³.

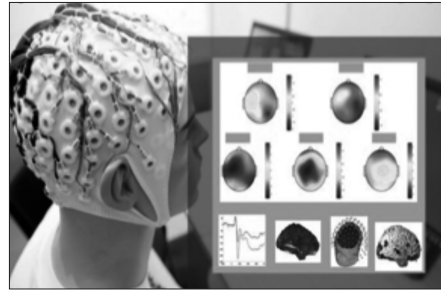


Fig. 3 – Casco per Elettroencefalogramma

I vincoli dell'EEG sono i seguenti:

- dipende da una variabile surrogata;
- i segnali della corteccia sono distorti dal cranio;
- la stratificazione cerebrale fa sì che i segnali siano distorti anche da altri segnali emessi dal cervello sottostante;
- è poco sensibile ai correlati spaziali;
- i dati possono essere interpretati solo utilizzando astrazioni matematiche;
- la modellizzazione della cuffia non può tenere conto delle variabili morfologiche individuali.

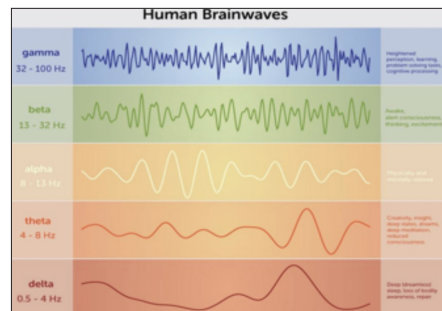


Fig. 4 – Tipologie di onde cerebrali

MEG (MagnetoEncefaloGrafia)

La MEG sfrutta i segnali elettrici e i corrispettivi campi magnetici prodotti dall'attività neurale. I dati registrati vengono poi raffinati ed elaborati da modelli matematici. Per utilizzarla è necessario isolare la persona dal campo magnetico terrestre poiché esso interferirebbe eccessivamente con i deboli campi magnetici prodotti dal nostro cervello. Rispetto all'EEG, la MEG

¹³ Attraverso la BCI (*Brain Computer Interface*) l'EEG permette una comunicazione diretta e unidirezionale con un computer in grado di tradurre automaticamente l'input elettrofisiologico in un segnale capace di controllare le apparecchiature a cui è collegato. Morelli L., *Brain Computer Interfaces: il cervello che si mette in moto*, in ingegneriabiomedica.org/news/biotech-support/brain-computer-interfaces-cervello-si-mette-moto/ (ultimo accesso luglio 2023).

ha una risoluzione spaziale più precisa e la nuova generazione di caschi permette di misurare i campi magnetici direttamente dallo scalpo attraverso circuiti quantistici, molto più sensibili. Il casco per la MEG consente di osservare il funzionamento di un soggetto in movimento, purché lo si faccia in un ambiente in cui il campo magnetico terrestre è stato limitato. Questa tecnica, ad oggi ancora sperimentale, sembra aprire nuove interessanti possibilità per lo studio del cervello impegnato in compiti di movimento.



Fig. 5 – Apparecchiatura per MEG

I vincoli delle tecniche di *Neuroimaging*

Da quanto abbiamo detto finora, appare evidente che ci sono dei vincoli interni alle tecniche di *Neuroimaging*.

Il primo è che i dati sono sempre legati a variabili surrogate, ovvero non è possibile misurare quel che fanno effettivamente i neuroni. Questo vincolo, epistemologicamente, ci iscrive in un paradigma conoscitivo per il quale ogni ipotesi di funzionamento è di natura correlazionale e non causale. A dispetto dei già citati titoli di giornale, infatti, ci troviamo a lavorare con l'epistemologia della complessità, la quale ha come correlato un abbandono dell'ontologia lineare a favore di un quadro, che faccia della viabilità e della stocastica, alcuni elementi essenziali per produrre ipotesi probabilistiche e viabili e non determinismi causali.

I dati, inoltre, devono sempre essere interpretati attraverso modelli matematici, i quali, ci insegna il costruttivismo, sono lungi dall'essere mere riproduzioni della realtà; sono piuttosto costruzioni e modellizzazioni che includono la struttura cognitiva e lo sfondo epistemologico della cultura che li ha realizzati. Ad esempio, la risonanza magnetica funzionale, utilizzata oggi nella maggior parte degli studi neuroscientifici, presenta, secondo alcuni autori, ambiguità e imprecisioni di base, che derivano soprattutto dall'adozione di un modello funzionale del cervello di tipo lineare, che causerebbe importanti limitazioni interpretative¹⁴.

Le macchie colorate rappresentano le aree in cui si registra una differenza di attivazione neurale statisticamente significativa. Questo aspetto è nelle mani (o nella mente?) degli sperimentatori; se si cambiano i parametri statistici, variano anche l'estensione, il numero e la distribuzione delle macchie.

Anche la mappa morfologica di localizzazione su cui vengono riprodotti i dati è frutto di una generalizzazione. Facciamo un esempio: nell'EEG la calotta cranica viene analizzata posando gli elettrodi a una distanza standard tra la linea mediana che congiunge naso e occipite e la perpendicolare che unisce le orecchie. I sensori vengono posizionati manualmente al 10 per cento

¹⁴ Logothetis N.K., *What we can do*, op. cit.

e al 20 per cento della distanza dalla mediana. Le differenze morfologiche individuali non possono essere considerate perché renderebbero tutto troppo complesso. Questo fa sì che ci sia un margine di errore abbastanza ampio se si considera la densità del tessuto cerebrale.

Un altro vincolo interno alle tecniche di *Neuroimaging* è la necessità di mantenere il paziente immobile in una posizione fissa (eccezion fatta per i nuovi caschi della MEG)¹⁵. Senza considerare che l'*imaging* cerebrale riesce a registrare solo compiti che occupano frazioni di secondo, diventa quindi difficilissimo sperimentare fenomeni cognitivi più lunghi.

Naturalmente le tecniche di *Neuroimaging* hanno un loro impiego diagnostico importantissimo e se utilizzate in modo sinergico, unendo analisi morfologiche e metaboliche, possono aiutare nel localizzare una malattia con estrema precisione¹⁶. Diverse ci sembrano le implicazioni quando si applicano le tecniche di *imaging* alla pedagogia.

Neuropedagogia: limiti euristici

Il primo grosso impedimento, a nostro avviso, riguarda il livello organizzativo dell'oggetto di indagine: le neuroscienze studiano i processi di apprendimento ad un livello di osservazione che parte dalle dimensioni molecolari e si estende fino ad arrivare a livello cellulare o al massimo ai sistemi fisiologici che regolano il comportamento della singola persona¹⁷. Rimangono esclusi dall'analisi fenomeni complessi, come le dinamiche gruppali, le interferenze sociali, i fenomeni emotivo-affettivi, socio-relazionali e culturali, le dinamiche di potere ecc. Tutti elementi che influiscono sul processo di apprendimento/insegnamento in modo sostanziale.

Inoltre, il *Neuroimaging* deve necessariamente essere condotto in laboratorio – anche la MEG poiché necessita la disattivazione del campo elettromagnetico terrestre – questo aggiunge il problema dell'ecologicità degli esperimenti. Un esperimento si definisce ecologico quando riproduce in laboratorio le stesse condizioni che l'animale o l'uomo incontrerebbero nella vita reale. Per chi lavora nel campo delle neuroscienze, il problema dell'ecologicità è sempre stato difficilmente risolvibile perché, per poter guardare l'interno della scatola magica, c'è bisogno di strumenti che limitano le capacità di movi-

¹⁵ "One of the limitations of PET/CT, and most neuroimaging acquisitions, is the necessity to keep a patient in a constant position. If the patient moves during the acquisition, the activity will be blurred over brain structures, resolution will be degraded, and result's interpretation will be difficult or even impossible" in Salmon E., Bernard C., Hustinx R., op. cit.

¹⁶ "Of course, fMRI is not the only methodology that has clear and serious limitations. Electrical measurements of brain activity, including invasive techniques with single or multiple electrodes, also fall short of affording real answers about network activity. Single-unit recordings and firing rates are better suited to the study of cellular properties than of neuronal assemblies, and field potentials share much of the ambiguity discussed in the context of the fMRI signal. None of the above techniques is a substitute for the others. Today, a multimodal approach is more necessary than ever for the study of the brain's function and dysfunction" in Logothetis N.K., *Pitfalls and Limitations of PET/CT*, op. cit.

¹⁷ Capurso M., *Educazione e neuroscienze*, op. cit., p. 49.

mento e di interazione sociale, proprio le due principali funzioni dell'essere umano nella vita quotidiana¹⁸.

Un quadro così semplificato e meccanicistico è portatore di spiegazioni necessariamente riduzioniste e rende epistemologicamente controverso far corrispondere semplicemente e in maniera univoca funzionamento cerebrale e comportamento cognitivo.

Ci pare, inoltre, che sia azzardato interpretare un sistema complesso e stratificato come quello cerebrale con modelli lineari. La massiccia interconnettività del cervello spesso non permette corrispondenze biunivoche tra struttura e funzione, come emerge dagli ultimi contributi sugli *hub* cerebrali¹⁹.

In realtà, le neuroscienze raramente aggiungono conoscenze nuove alla pedagogia. Spesso, però, possono giungere a rafforzare alcune sue teorie o metodologie, fornendo delle conferme basate su prove fisiologiche concrete²⁰. Rimandiamo per questo affondo all'articolo di Panettieri su questa stessa rivista.

Limiti etici

L'evoluzione e la maggior maneggevolezza degli strumenti diagnostici, in particolare dell'EEG, hanno condotto una start-up sino-americana ad elaborare una fascia posizionabile sulla fronte dello studente che registrerebbe la lunghezza d'onda emessa e quindi la sua concentrazione²¹. Questo strumento, già utilizzato su più di 10.000 studenti in Cina, fornisce continuamente un voto in centesimi sulla concentrazione dello studente. I dati vengono poi elaborati e proiettati su una lavagna elettronica appesa in aula²².

Il focus 1, così si chiama questo scanner portatile, riflette un modello di apprendimento semplificato e trasmissivista che riduce concentrazione e motivazione a mera obbedienza formale. Ci chiediamo come possa sapere il docente se lo studente sia concentrato sull'argomento della lezione o sul suo sport preferito. Ci sono modi più semplici per sapere se un ragazzo sta imparando che non includono analizzare le sue onde cerebrali²³.

Inoltre, l'utilizzo delle onde cerebrali per il controllo della concentrazione presenta correlati lievemente distopici che lasciamo all'immaginazione del lettore per non sfociare qui in derive paranoico-complottiste.

¹⁸ Cerasa A., Tomaiuolo F., *La scatola magica. All'origine delle neuroscienze*, Hoepli, Milano, 2019, p. 52.

¹⁹ Oldham S., Fornito A., *The development of brain network hub*, in "Developmental cognitive neuroscience", n. 1, 2011, in ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6969262 (ultimo accesso luglio 2023).

²⁰ Capurso M., op. cit., p. 49.

²¹ Cina: vietato distrarsi - Codice La vita è digitale 29/08/2019, in youtube.com/watch?v=5eEJv-lzonY (ultimo accesso luglio 2023).

²² Santevecchi G., *Cina, vietato distrarsi a scuola: una fascia cerebrale misura l'attenzione*, in corriere.it/esteri/19_aprile_08/cina-vietato-distrarsi-scuola-fascia-cerebrale-misura-l-attenzione-173ef4d0-5a36-11e9-9773-c990cfb7393b.shtml (ultimo accesso luglio 2023).

²³ Rimandiamo per un approfondimento su questo punto a Carletti A., Varani A., *Didattica costruttivista. Dalle teorie alla pratica in classe*, Erikson, Trento, 2005.

Quindi...

Ci chiediamo: allo stato attuale dell'arte, la pedagogia ha bisogno dei dati dell'*imaging* cerebrale²⁴? Riteniamo che un bravo insegnante non abbia bisogno di una risonanza magnetica funzionale per sapere se un'attività didattica stia funzionando²⁵. Tuttavia, pensiamo sia importante seguire le evoluzioni delle neuroscienze con sguardo critico, lontani da facili entusiasmi e semplificazioni. Pensiamo importante, in questo senso, non isolare l'organo dal suo contesto: non esistono aree del cervello che portano all'infanticidio, per tornare ai titoli di giornale. Piuttosto esistono condizioni sociali, economiche, culturali, funzionali, biologiche, chimiche e fisiologiche che possono creare le condizioni per. In questo senso, la proposta che ci è sembrata più ragionevole è quella neurocostruttivista che inserisce il funzionamento cerebrale all'interno di un quadro di complessità, evitando determinismi semplificatori, cercando un equilibrio tra le acquisizioni tecniche e l'analisi di coordinate quali ambiente, epigenesi e vincoli²⁶.

²⁴ The neuropedagogical field needs the scientific basis provided by neuroimaging, which is the key to study, analyze and ultimately make visible the pedagogical processes that occur in real time in teachers and students in order to establish the neural networks of these processes and reach an education with a scientific-pedagogical basis of quality. We can conclude by saying that neuropedagogy is the science that studies education from a neuroeducational perspective, with the aim of configuring the neurotheory and neuromethodology of education, as well as the practical version that is neurodidactics. Neuroimaging becomes a fundamental element in neuropedagogical research, leaving, finally, the evidence of the need to implement in the studies of the Degree of Pedagogy, Degree of Early Childhood and Primary Education, and even the Degree of Social Education, the subject of "Neuropedagogy", as a fundamental basis for the training of a future teacher, typical of the XXI century" in Hernández Fernández A., op. cit., p. 6.

²⁵ Capurso M., op. cit., p. 50.

²⁶ Valenza E. Turati C., *Promuovere lo sviluppo della mente. Un approccio neurocostruttivista*, Il Mulino, Bologna, 2019, p. 203.