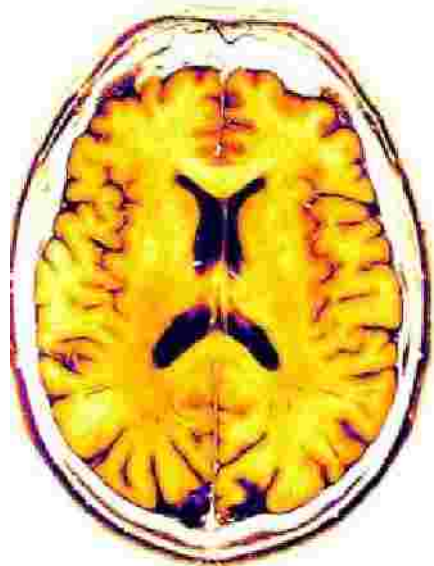


ESPLORARE LA MENTE CON I CAMPI MAGNETICI: FISICA E NEUROSCIENZE

di Enrico De Vita



Come funziona la mente? Dove risiede nel nostro corpo? Qual è la relazione tra mente e cervello? Qual è l'origine delle nostre azioni, delle nostre decisioni? Perché a volte facciamo cose di cui, anche solo qualche attimo dopo, ci pentiamo?

Molte sono le domande sulla natura dell'essere umano che le Neuroscienze, oggi, si propongono di contribuire a indagare.

La fisica è una delle discipline che hanno contribuito alla nascita delle Neuroscienze, e che continuano a dare ad esse un contributo fondamentale.

Avvicinare gli alunni, nei corsi di fisica, alle prospettive della ricerca attuale in questo campo, può aiutare a comprendere quanto anche le scienze naturali non abbiano solo una ricaduta tecnologica e "utilitaristica"

dal punto di vista materiale, ma come esse contribuiscono alla filosofia e alle scienze umanistiche in generale, alla visione che l'essere umano ha di se stesso, alle domande che pone su di sé, in generale e riguardo alla propria esperienza di vita individuale: come faccio le mie scelte, ad esempio: cosa sono, da dove nascono le emozioni e i pensieri? Quale potere ho su di essi?

Si propone qui un percorso che può aiutare a presentare queste tematiche.

Una discussione orientata su domande simili a quelle appena presentate, può essere il modo migliore per agganciare l'attenzione degli alunni.

Si potrebbe iniziare proprio con un *brain-storming* per far emergere le conoscenze e le idee dei ragazzi e delle ragazze su questi temi e magari confrontarsi sulla affidabilità delle 'fonti' (per esempio i quotidiani, Wikipedia, o articoli 'scientifici' come quelli pubblicati su riviste internazionali come *Nature* o *Science*).

E si potrebbe arrivare fino alla domanda: cosa sono le Neuroscienze?

Cosa sono le Neuroscienze?

Il dizionario Zanichelli definisce le Neuroscienze come "insieme delle scienze che studiano il funzionamento del sistema nervoso dal punto di vista anatomico, biochimico, fisiologico, genetico e psicologico". La definizione che ne dà Wikipedia è più semplicemente "lo studio scientifico del sistema nervoso".

Sebbene inizialmente fosse considerata una branca della biologia, la neuroscienza al giorno d'oggi è una scienza interdisciplinare che attinge a matematica, fisica, chimica, ingegneria, informatica, medicina, biologia, filosofia, e nelle università costituisce spesso un dipartimento specifico.

Documenti storici e archeologici testimoniano che già nell'antico Egitto si praticavano sul cranio



operazioni chirurgiche rudimentali (trapanazione) con l'obiettivo di risolvere problemi cerebrali o mentali.

Da allora, e fino a circa la metà del XX secolo il cervello umano era stato studiato per lo più da medici e chirurghi e prevalentemente post-mortem. Negli anni '30 il chirurgo americano Wilder Penfield iniziò a utilizzare la stimolazione elettrica diretta del cervello (durante le operazioni chirurgiche a cranio aperto) per andare a mappare aree del cervello associate con funzioni motorie o sensoriali.

Ma una rivoluzione nelle Neuroscienze c'è stata verso la fine del XX secolo: con il contributo fondamentale di Fisici ed Ingegneri sono state sviluppate le prime tecniche che permettono di **studiare il cervello in azione e dal vivo** in maniera sostanzialmente 'non-invasiva'. Fra queste tecniche si possono annoverare l'encefalografia (EEG), la magnetoencefalografia

(MEG) e la tomografia ad emissione di positroni (PET).

Sebbene i primi esperimenti di RM risalgano alla metà del XX secolo (e portarono al premio Nobel per la Fisica 1952) l'applicazione agli esseri umani si avrà solo alla fine degli anni 70[1]. L'uso del fMRI per lo studio del cervello è ancora più recente, dato che risale ai primi anni '90[2] e sono proprio studiosi di fisica ad inventare e sviluppare giorno dopo giorno nuovi esperimenti di RM che permettono di ottenere dati ed immagini sempre più accurate, versatili, in tempi sempre più brevi.

La tecnica oggi più usata nello studio del funzionamento del cervello e nelle ricerche sulla mente, anche grazie al suo essere completamente non-invasiva, è sicuramente la risonanza magnetica funzionale (fMRI functional magnetic resonance imaging).

Brain imaging e Risonanza Magnetica

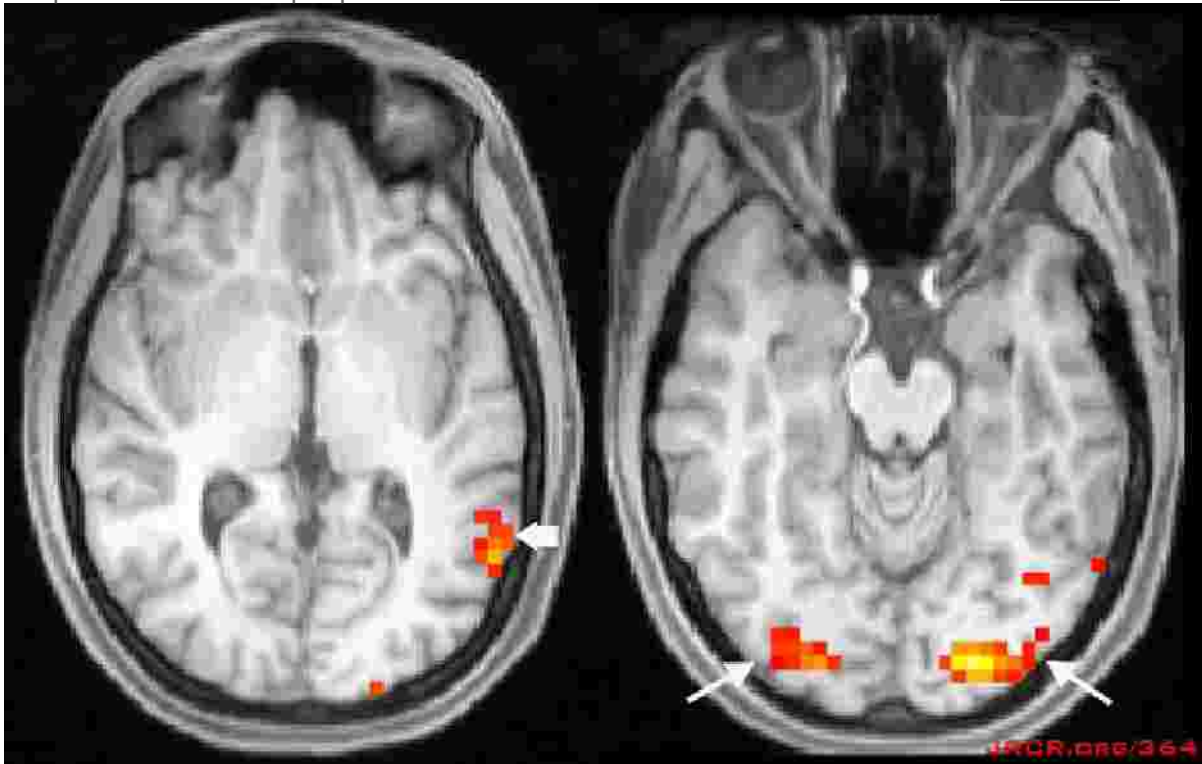
La procedura messa a punto per questo tipo di esperimenti è simile a quella che si usa nei *clinical trials* per la verifica degli effetti benefici di nuovi medicinali, noti anche come test a doppio cieco. In quel caso si divide un campione di pazienti in due gruppi, facendo sì che essi non sappiano a quale gruppo appartengono. A uno dei due gruppi si somministra il vero medicinale, al secondo si somministra una sostanza con lo stessa consistenza, odore, sapore del medicinale da sperimentare, ma senza il principio attivo. Dopo un lasso di tempo predeterminato, si confrontano le condizioni dei due gruppi di pazienti, osservando in particolare la diminuzione dei sintomi della malattia e l'apparizione di effetti collaterali...

Quando si vuole cercare di individuare l'area celebrale che è preposta ad una particolare funzione mentale o cerebrale attraverso la fMRI, l'esperimento consiste di solito di due parti: nella prima viene elicitata la funzione a cui si è interessati ('active task'); la seconda funziona da esperimento di controllo ('control task'). Per esempio, quando si vuole individuare la parte del cervello responsabile della comprensione del linguaggio, si mostrano al soggetto d _____ manca una parola, che si chiede al soggetto di individuare; come *control task* si mostra una frase approssimativamente della stessa lunghezza, dove però le parole sono formate da lettere scelte a caso e quindi non hanno senso: le funzioni visive sono così stimulate in modo simile e l'unica differenza fra i due task è il fatto che le frasi dell'*active task* hanno un significato. [CompletareFrasippt]

Questi due esperimenti vengono effettuati all'interno di un tomografo di risonanza magnetica (RM) che

ogni 3 secondi circa acquisisce un'immagine dell'intero cervello. Per ottenere una mappa delle parti del cervello che sono state utilizzate esclusivamente per le funzioni specifiche all'*active task* (e non per il *control task*) si utilizza una complessa analisi statistica che è più sofisticata di una più semplice analisi della differenza fra le immagini ottenute durante l'*active task* e durante il *control task*.

L'esperimento di cui sopra permette di visualizzare l'area cerebrale cosiddetta di Wernicke



Copyright: JRJR.org - http://www.radiologycases.com/casereports/?mod=case_html&id=364

Altri esempi di *control* e *active task* e delle 'funzioni' che permettono di studiare possono essere visti qui: [VisualActivation](#), [FingerTapping](#).

Sebbene non si possa far fare un esperimento pratico di RM a tutta la classe assieme, questi esempi possono essere mostrati agli studenti chiedendogli di eseguire il '*task*' richiesto.

Consigliamo in particolare l'esperimento volto a mappare l'area cerebrale che controlla il movimento delle labbra, che è spesso usato come test prechirurgico in caso di rimozione dei tumori e suscita sempre particolare ilarità: infatti il movimento richiesto è quello del baciare che risulta il più efficace ai fini della rilevazione. (Lips).

Dopo questa introduzione si può poi spiegare che le immagini ottenute in fMRI differiscono da quelle della RM convenzionalmente usata a scopo medico-diagnostico perché mentre le prime sono particolarmente sensibili anche all'ossigenazione del sangue, queste ultime sono più sensibili al contenuto d'acqua dei tessuti (vedi qui)

E così l'fMRI permette di studiare i 'correlati' neurali di una certa funzione (nell'esempio presentato sopra, la comprensione del linguaggio scritto) perché quando una zona del cervello si *attiva*, un complesso meccanismo vascolare fa sì che a quella zona arrivi un eccesso di sangue ossigenato, che, come accennato sopra, fa temporaneamente aumentare l'intensità del segnale nelle immagini acquisite.

Una semplice esperienza pratica sui principi della Risonanza Magnetica

Si può concludere questo percorso didattico proponendo un'esperienza pratica che permette di toccare con mano e comprendere come funziona un esperimento di RM. [3]

In maniera estremamente schematica il principio di funzionamento della risonanza magnetica è il seguente.

1. Possiamo immaginare che ogni piccola parte del nostro corpo sia rappresentata da una bussola; sappiamo infatti che:

- il nostro corpo è costituito di circa il 60% di acqua;
- ogni molecola d'acqua è composta da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno;
- la natura degli atomi di idrogeno è tale che si comportano come se ognuno di essi contenesse una piccola bussola (*spin*).

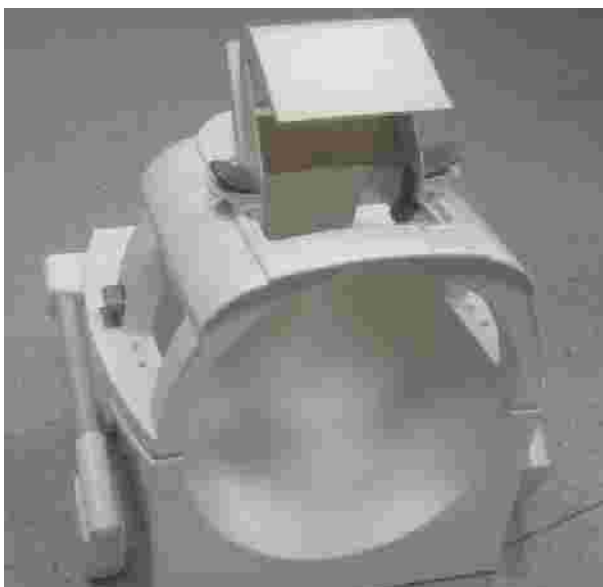
Se sottoponiamo il nostro corpo a un forte campo magnetico, gli aghetti magnetici delle piccole bussole equivalenti agli atomi di idrogeno nell'acqua del nostro corpo si orientano con esso, esattamente come fanno gli aghi delle bussole sulla superficie terrestre, orientandosi verso il nord magnetico.

Se a questo punto, tramite un altro campo magnetico esterno, riusciamo a far sì che gli aghetti delle bussole cambino direzione (e quindi non puntino più, per un attimo, verso la direzione del forte campo magnetico nel tomografo), quando questa perturbazione cessa, gli aghetti magnetici tenderanno a tornare nella posizione di equilibrio iniziale, e nel far ciò, per un certo tempo oscilleranno intorno alla posizione di equilibrio. Tale oscillazione dipenderà non solo dall'intensità del forte campo magnetico statico ma anche dalle caratteristiche delle *bussole* stesse, nello specifico dal tipo di atomi e molecole presenti nei tessuti esaminati.

Il movimento di queste bussole microscopiche genera un campo elettromagnetico che permette di misurarne le modalità di movimento tramite opportune bobine, e dunque risalire alle molecole e agli atomi presenti nel tessuto.

Il tomografo per la RM non è altro che l'apparato sperimentale che permette di controllare e misurare tali fenomeni. Esso è costituito principalmente da:

- un grande magnete che genera un forte campo magnetico omogeneo nello spazio e stazionario nel tempo e all'interno del quale il campione o un individuo viene 'inserito' [4]. Di solito a forma di ciambellone allungato e con un campo magnetico pari a 30mila volte il campo magnetico terrestre.



- alcune bobine che generano un campo magnetico a radiofrequenza (quindi con un'intensità che oscilla nel tempo) ed omogeneo nello spazio; queste bobine vengono attivate per brevi intervalli durante l'esame RM.

queste bobine hanno anche la funzione di misurare il segnale generato nell'esperimento di RM dal campione.

- i 'gradienti': altre bobine che, quando attivate, generano un campo magnetico stazionario nel tempo ma variabile nello spazio in maniera lineare in una

particolare direzione. Se ne usano di solito 3, a generare gradienti di campo magnetico in 3 direzioni ortogonali. Hanno lo scopo di permettere la risoluzione spaziale del segnale 'emesso' dal tessuto sotto osservazione in seguito alla 'perturbazione' magnetica.

Attraverso delle semplici calamite e delle bussole è possibile mostrare il principio di funzionamento della RM.

È necessario che ogni coppia di alunni abbia a disposizione una semplice bussola ed una calamita a testa (meglio se a barra).

Nella nostra simulazione il campo magnetico terrestre (o una delle calamite) è l'equivalente del magnete che costituisce l'elemento principale del tomografo.

Procedura:

1. La bussola ha un ago magnetico che punta sempre verso il Nord magnetico terrestre. Se mettiamo la bussola sul tavolo di fronte a noi, l'ago ruoterà fino ad indicare il Nord (posizione di 'equilibrio'). *Analogamente, quando un individuo viene messo in un tomografo per RM, gli aghi delle bussole contenute nelle molecole si allineano col campo magnetico presente all'interno del grande magnete (di norma nella direzione testa-piedi)[5] che è decine di migliaia di volte più forte del campo magnetico terrestre.*

2. Quando avviciniamo l'estremità di una delle calamite ad una bussola, la posizione dell'ago cambierà, un'estremità dell'ago sarà 'attratta' dalla calamita esterna e smetterà di puntare verso Nord[6]. *Nell'esperimento RM, questa 'perturbazione' temporanea viene provocata con un campo magnetico generato da bobine posizionate solitamente alla parte del corpo del soggetto che si vuole studiare (per fMRI, la testa).*

3. Se ora allontaniamo la calamita, l'ago della bussola sarà di nuovo attratto dal Nord magnetico terrestre e tornerà a puntare in quella direzione dopo una serie di piccole oscillazioni che dipendono dalle proprietà dell'ago, del suo fulcro e del fluido contenuto nella bussola. *Nell'esperimento RM, è di solito un'altra bobina a rilevare il campo magnetico generato proprio dagli spin nel tornare, oscillando, verso la condizione di equilibrio.*



N.B. La cosa importante da sottolineare è che, se si conoscono le proprietà chimico-fisiche e magnetiche dei materiali con cui è costruita la bussola, osservando *come* l'ago torna a puntare verso Nord e *in che tempi*, con l'esperimento descritto si potrebbe calcolare l'intensità del campo magnetico terrestre.

4. *Per l'ultima parte dell'esperienza si utilizza la seconda calamita a sostituire il campo magnetico statico (che nei passi 1-3 era costituito semplicemente dal campo magnetico terrestre) e si osservano le oscillazioni dell'ago che torna all'equilibrio dopo una perturbazione analoga a quella effettuata nel passo 2 (con la prima calamita) in due condizioni diverse: i) collocando la calamita dapprima molto vicino alla bussola (si osserveranno oscillazioni relativamente rapide); ii) successivamente collocando la stessa calamita qualche centimetro più lontana dalla bussola (questo è equivalente ad avere ridotto il campo magnetico di equilibrio; si osserveranno oscillazioni relativamente più lente).*

Nella RM per poter generare immagini è difatti necessario far sì che l'oggetto da studiare sia sottoposto ad un campo magnetico di intensità variabile a seconda della posizione (cfr "gradienti" descritti al punto C, sopra). Poiché, come

accennato sopra, a intensità di campo diverse corrisponderanno frequenze di oscillazione diverse (nel ritorno all'equilibrio degli aghetti), i segnali rilevati avranno frequenze diverse e dipendenti dalla posizione degli spin[7].

È stata proprio l'efficace implementazione di quest'ultimo procedimento (passo 4) , che permette oggi di acquisire immagini dell'intero cervello a una risoluzione spaziale di $3 \times 3 \times 3 \text{mm}^3$ in soli 2 o 3 secondi, la ragione principale dell'assegnazione del premio Nobel 2003 per la medicina a due fisici, Lauterbur e Mansfield[8].

Tutti gli esperimenti di RM più complessi, compresi quelli di fMRI per lo studio dei correlati neurali di diverse funzioni umane, quelli volti alla visualizzazione dell'apparato vascolare o della perfusione

cerebrale, utilizzano i principi base mostrati con questa esperienza.

Se il docente lo ritiene opportuno l'esperienza può essere condotta in forma più quantitativa: la perturbazione può essere prodotta da un elettromagnete e si può misurare il tempo di ritorno a riposo di bussole differenti. Nei laboratori scolastici è spesso possibile trovare bobine del diametro di 5 centimetri dove è comodo posizionare una bussola.



Il substrato neurale dell'amore e del tassista

Oggi negli ospedali c'è sempre più bisogno di Fisici Medici che si occupino di implementare le tecniche più recenti di RM per uso diagnostico o prechirurgico. Moltissimi dipartimenti di Neuroscienze e psicologia hanno al loro interno uno o più fisici che collaborano nella progettazione e sono responsabili della messa a punto di sempre nuovi e più sofisticati esperimenti di risonanza funzionale. Nel 2004 a Londra è stato realizzato uno dei primi studi che hanno rivelato il substrato neurale dell'amore e qualche anno prima un altro che ha individuato in un ippocampo particolarmente sviluppato la sede cerebrale delle formidabili capacità di 'navigazione' che con un lungo addestramento i famosi tassisti dei black cab della metropoli riescono ad acquisire.



Per chi volesse fare esperienza diretta di un esperimento di fMRI, in moltissime città italiane ci sono fisici e altri ricercatori che hanno un disperato bisogno di persone disposte a dedicare un'ora del proprio tempo all'avanzamento delle Neuroscienze offrendosi come volontari per una RM e in genere molto aperti a rispondere alle domande di studenti curiosi (per esempio a Roma, Chieti, Pisa).

*Phd in Fisica Medica, lavora come Clinical Scientist presso il National Hospital of Neurology and Neurosurgery di Londra dove collabora a studi sulla Sclerosi Multipla, l'Alzheimer, il Parkinson e le encefalopatie da prioni, nonché allo sviluppo di metodi di misura non invasivi della perfusione cerebrale.

Pubblicato il 23/3/2011

[1] Science, 1971; 171:1151-53. Tumour detection by nuclear magnetic resonance. Daadian RV

[2] Magn Reson Med. 1990;14(1):68-78. Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. Ogawa S et al.. Magn Reson Med., 1991; 22, 159-166. Echo-planar time course MRI of cat brain deoxygenation changes. Turner R et al..

[3] Descrizioni dettagliate del principio fisico e funzionamento tecnico della RM possono essere trovati altrove (per

esempio: http://it.wikipedia.org/wiki/Risonanza_magnetica o <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/> e utilizzati per sottolineare le osservazioni dei ragazzi durante l'esperimento.

[4] magneti superconduttore da 1.5T.

[5] In realtà, per un campo di 1.5T, in media, per ogni milione e uno spin, 500mila punteranno verso il Sud magnetico e 500mila e uno verso il Nord. Di fatto l'esperimento funziona sulla differenza, quindi su quel singolo spin in più (per milione) che punta verso Nord.

[6] Per l'esperimento pratico questa 'perturbazione' può anche di solito essere effettuata semplicemente scuotendo o girando la bussola: l'importante è che l'ago si sposti temporaneamente dalla sua posizione 'di equilibrio' ovvero si allontani dal Nord magnetico.

[7] In più, se in alcune posizioni ci sono più *spin* che in altre, il segnale da esso generato (con una data frequenza) sarà più intenso. La *trasformata di Fourier* è l'operazione matematica utilizzata per ottenere proiezioni o immagini del campione o soggetto dal segnale registrato, una volta che l'informazione spaziale sia stata codificata in maniera appropriata con gradienti di campo magnetico.

[8] http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2003/