

NEUROSCIENZE

IN ATTESA



... DI GIUDIZIO

a cura di PIER GIUSEPPE MILANESI

*Università degli Studi di Pavia – Facoltà di Giurisprudenza – A. A. 2014/2015
Corso di informatica giuridica e logica giuridica – Prof. ROMANO ONEDA*

UNA «ENCICLOPEDIA DELLE SCIENZE NEUROFILOSOFICHE»?

Le rapida progressione delle ricerche sul cervello ha agito come centro di attrazione per un ventaglio di discipline, sia per la formulazione di modelli teorici di analisi per sistemi complessi, sia per fornire informazioni utili a completare il quadro delle scienze umane. Sempre più spesso sentiamo parlare di ...

NEUROINFORMATICA (ricostruzione delle mappe cerebrali, neuroni artificiali, percettroni, reti neuronali)

NEUROFILOSOFIA, NEUROETICA, NEUROESTETICA (concetti appartenenti alla panoplia filosofica, alla filosofia morale ed estetica cercano di verificare i loro legami e fondamenti rispecchiandosi nel le costellazioni del firmamento neuronale)

NEUROTEOLOGIA , NEUROPOLITICA (esplorazione dei meccanismi neurologici che supportano il trasporto religioso e che determinano i nostri orientamenti ideologici e politici)

NEUROSOCIOLOGIA (le strutture e le connessioni neuronali che supportano i processi di interazione e integrazione sociali e le problematiche che si agitano attorno al disagio sociale, alla dipendenza ecc.)

... E LA GIURISPRUDENZA?

LA «NEUROLAW»

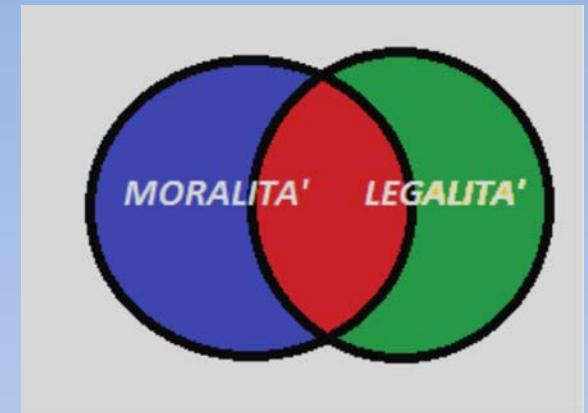
Il mondo anglosassone ha già un termine assodato per indicare il momento di confluenza interdisciplinare tra neuroscienze e scienze giuridico-forensi: **Neurolaw**, spesso associato a **Neuroethics**. Il termine fu introdotto da S. J. Taylor (1991). La nuova disciplina trovò sostegno sul piano accademico e della ricerca. Non si confuse con la criminologia o la psichiatria forense *tout court*, ma cercò di integrare una molteplicità di concetti e istanze da più discipline: la filosofia, l'etica, la psicologia sociale, le scienze cognitive e, ovviamente, le neuroscienze che nel frattempo fornivano strumenti nuovi di indagine sull'uomo.

In ambiente statunitense, la «neurolaw» si è ovviamente innestata su un contesto culturale e su una prassi giudiziaria che non è ovviamente la nostra.

(Il progetto, sempre in fase di perfezionamento, per la costruzione di «macchina della verità» o la ricerca di avanzate tecnologie atte a stabilire a priori se un soggetto sia un potenziale criminale è una testimonianza dello spirito pratico e tecnologico che aleggia in questi investimenti.)

Lo «spirito europeo» si discosta da questo scenario. Nell'acquisizione di questi nuovi strumenti di indagine, noi ci troviamo in uno stadio che potremmo dire «kantiano», per cui la domanda che prevale, e che ovviamente si riflette anche in ambito forense, pare essere questa: *In che misura le nuove tecnologie che consentono di sondare profondità biologiche e neurologiche dell'essere umano, finora inaccessibili, possono influire e modificare pensieri e sistemi concettuali che sono stati elaborati sulla base di concezioni umanistiche se non storicamente «obsolete», quanto meno presumibilmente incomplete.*

MORALITA' E LEGALITA'



NEUROETICS E NEUROLAW condividono spazi comuni nel campo della ricerca neuroscientifica nella misura in cui studiano il comportamento umano e, nel caso specifico, anche le cause e gli effetti dei **comportamenti trasgressivi**, ossia non conformi alle aspettative sociali in senso lato, aspettative che nel campo specifico del diritto, tradotte in norme di legge, si trasformano in azioni illegali soggetti a riti sanzionatori.

Le due sfere, pur presentando molti aspetti sovrapponibili – per cui ciò che è illegale è molto spesso percepito **anche** come immorale – restano concettualmente distinguibili. Una trasgressione morale di per sé (come il tradimento di una amicizia o una disubbidienza) non viene portata in tribunale, per cui diremo che la *Neurolaw* si qualifica rispetto alla dimensione più ampia della *Neuroetica* proprio perché si interfaccia **più specificatamente** con la sfera della giurisprudenza e con le rigide procedure del giudizio.

IL CERVELLO IN TRIBUNALE

A prescindere da ogni ulteriore approfondimento critico sulla importanza delle nuove tecnologie di indagine sul cervello in ambito forense, è però certo che esse costituiscono comunque uno **strumento di supporto** lungo un percorso di accertamento di una verità giudiziale che conduce ad una sentenza.

a) **In sede penale**, dove l'evidenza di una anomalia cerebrale ritenuta in grado di influenzare un comportamento o di produrre deficit cognitivi o progettuali può essere usata sia dalla difesa per ridurre il peso della responsabilità soggettiva, sia dall'accusa per dimostrare la predisposizione di un soggetto a compiere azioni delittuose.

Accertamento della attendibilità delle testimonianze (*deception*)

a) **In sede civile**, ad esempio per dimostrare l'esistenza o la non esistenza di requisiti soggettivi in una persona per compiere atti di tipo amministrativo, per assumere decisioni che impegnano se stessa e gli altri.

Dauber test. Nella giurisdizione USA esiste una più ampia possibilità di ammissibilità in giudizio di nuovi strumenti e tecnologie di indagine, anche grazie ad un pronunciamento della Corte Suprema (1993)

«Se una conoscenza tecnica, scientifica o altrimenti specificata è in grado di consentire a chi accerta i fatti di capire l'evidenza o di stabilire un fatto in discussione, un teste qualificato quale esperto per competenza, abilità, esperienza, cultura, può a tal fine testimoniare fornendo la propria opinione o in altro modo 1) se la deposizione è sostenuta da un sufficiente numero di fatti o dati, 2) se la deposizione è il prodotto di metodi e principi affidabili e 3) e il teste ha applicato in modo affidabile quei principi e metodi al caso in questione.»

IL SISTEMA NERVOSO

Organizzazione sistema nervoso - Varietà di neuroni assemblati in circuiti che processano particolari tipi di informazioni – Neuroni e circuiti distribuiti in particolari locazioni anatomiche.

A – Sistemi sensorii: informazioni sullo stato dell'organismo e dell'ambiente circostante

B – Sistemi motori: organizzano e generano azioni

C – Sistemi associativi: sintetizzano aspetti sensorii e motori del sistema nervoso e forniscono le basi per funzioni di ordine superiore (percezione, attenzione, emozione, progettazione ragionamento)

SISTEMA NERVOSO CENTRALE – Emisferi cerebrali, diencefalo, cervelletto e tronco encefalico

SISTEMA NERVOSO PERIFERICO – Neuroni che connettono i recettori distribuiti sulla superficie e all'interno del corpo ai circuiti centrali che processano le informazioni ricevute.

a) Somatico (controllo volontario dei movimenti)

b) Autonomo (funzioni vegetative e involontarie)

- Simpatico }
- Parasimpatico } Antagonisti

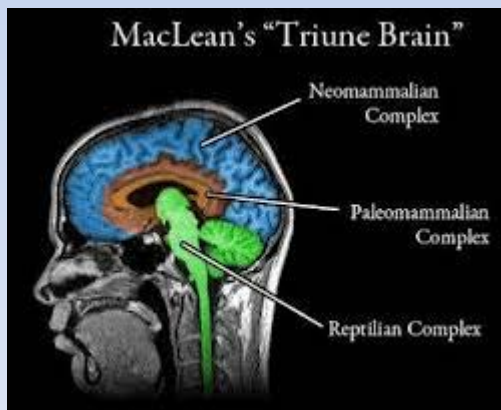
(SOMMARIO) SGUARDO ALL'INSIEME

Il cervello è una galassia formata da 100 miliardi di neuroni, ciascuno dei quali è a sua volta fonte di innumerevoli connessioni ciascuna delle quali è veicolo di trasmissione di segnali.

Il sistema è modulato da un centinaio di neurotrasmettitori che agiscono come dita che pigiano sulla tastiera di un pianoforte cavando suoni sempre diversi.

Nonostante la massa sterminata di ricerche, il sistema cerebrale rappresenta un labirinto per molti aspetti ancora oscuro.

Anche sul piano macroscopico sembra difficile ricercare un principio ordine nella distribuzione delle parti nell'intero complesso cerebrale. Un suggerimento è stato di interpretare la struttura dal punto di vista evolutivo: espansivo, ma soprattutto intensivo. Infatti non è tanto l'aumento dei volumi a fare la differenza, ma piuttosto la **moltiplicazione delle connessioni**.



TRIUNE BRAIN. Uno dei modelli a base evolutiva più citati è quello proposto da Paul MacLean. Il cervello sarebbe il risultato della sovrapposizione di 3 cervelli corrispondenti alle principali fasi di evoluzione dai rettili all'uomo.

- Cervello rettiliano (istintivo, «mordi e fuggi», dominanza, territorialità, ritualità)
- Cervello dei felini (animosità, emozioni, richiamo materno)
- Cervello dei mammiferi superiori (processi di socializzazione e comunicazione intensificati, implementazione delle funzioni superiori)

PRINCIPALI TECNICHE DI INDAGINE NON INVASIVA DEL CERVELLO

Elettroencefalogramma - Registrazione dell'attività elettrica dei neuroni corticali attraverso elettrodi applicati sullo scalpo. I ritmi di voltaggio si distinguono in ampiezze alfa, mu, beta, teta, delta, gamma. Anomalie nei ritmi devono essere valutate ai fini diagnostici.

Tomografia computerizzata (utilizza i raggi x per ricostruire una immagine del cervello attraverso un modulo rotante che raccoglie informazioni calcolando la radiodensità da ogni posizione).

Risonanza magnetica (ricava immagini sfruttando le proprietà magnetiche di alcuni nuclei atomici, in particolari quelli dell'idrogeno. Agendo con opportuni impulsi è possibile ricostruire immagini estremamente dettagliate del cervello in tutte le sue profondità e sezioni)

Tomografia ad emissione di positroni – PET (iniezione di isotopi che emettono positroni in presenza aree metabolicamente attive e che vengono rilevati da una camera esterna rotante che fornisce una immagine in 3D)

Tomografia computerizzata ad emissione di singolo fotone – SPECT (simile alla precedente; agisce con materiale di contrasto costituito da composti che producono fotoni rilevati da una camera rotante;

Risonanza magnetica funzionale – fMRI

PET E SPECT

PET (Tomografia ad emissione di positroni) - Richiede l'iniezione di una sostanza biologica connessa ad un radiotracciante. Il radiotracciante rilascia un positrone che presto collide con un elettrone del tessuto studiato. Questa collisione porta alla emissione di due fotoni che viaggiano in direzioni esattamente opposte e che possono essere individuati dal tomografo consentendo la ricostruzione spaziale del loro punto di origine e così, indirettamente, la localizzazione del radiotracciante. La risoluzione spaziale è di pochi millimetri e tende poi a peggiorare nella traduzione di questi dati in immagini, con qualche problema quando si devono studiare aree di piccole dimensioni.

SPECT (Tomografia ad emissione di fotone singolo) – Mentre la PET emette positroni che, interagendo con gli elettroni, provocano la emissione di 2 gamma-fotoni in direzione opposte, la SPECT usa un tracciante che è in grado di emettere singolarmente raggi gamma. Il tracciante viene assorbito in proporzione al livello di attività metabolica, per cui basta «misurare» questi livelli per avere una rappresentazione della attività o inattività dell'oggetto considerato. Lo scanning usa un sistema rotante in grado di fornire immagini 2D da diverse angolature che vengono elaborate da un computer e trasformate in immagini a 3D.



RISONANZA MAGNETICA

Non vengono iniettati traccianti come nella PET O SPECT. Sfrutta la caratteristica di alcuni nuclei atomici, formati da un numero dispari di protoni e neutroni – nel caso specifico l'idrogeno, diffuso in tutti i tessuti - di ruotare su se stessi (spin) e di generare, ciascuno un micro-campo magnetico. Sottoposti all'azione di un potente magnete esterno questi piccoli campi tendono ad orientarsi, la maggior parte parallelamente, nello stesso verso del campo principale.

Al pari di una trottola che ruota su un piano, compiono anche un moto di **precessione** con una frequenza chiamata **frequenza di Larmor**.

Un radiosegnale lanciato alla stessa frequenza di precessione è in grado di provocare un effetto di **risonanza** dove i nuclei investiti mutano di comportamento, assorbendo energia e poi rilasciandola in pari misura per tornare allo stato iniziale. I segnali di rilascio, insieme ai tempi di rilascio, vengono captati ed elaborati da un ricevitore.

L'intensità del segnale è proporzionale alla quantità di protoni entrati in risonanza e quindi proporzionale alla **densità** dei protoni esistenti nell'area. In tal modo è possibile ricavare una **mappa** anche tridimensionale dei tessuti e degli organi.

I segnali vengono elaborati da pacchetti software - **FMRIB Software Library** (Oxford University) – dove i segnali vengono convertiti in immagini su algoritmi basati sulla **Trasformata di Fourier** (*scomposizione e ricombinazione dei segnali in contenuti di frequenza*)

RISONANZA MAGNETICA FUNZIONALE - 1

Si definisce «funzionale» perché non si limita a rilevare la **morfologia** di un organo ma a valutarne la **funzionalità**. Questo aspetto dinamico viene rilevato seguendo il principio per cui quando un'area del cervello «lavora», essa consuma più **ossigeno** che viene trasportato dal sangue.

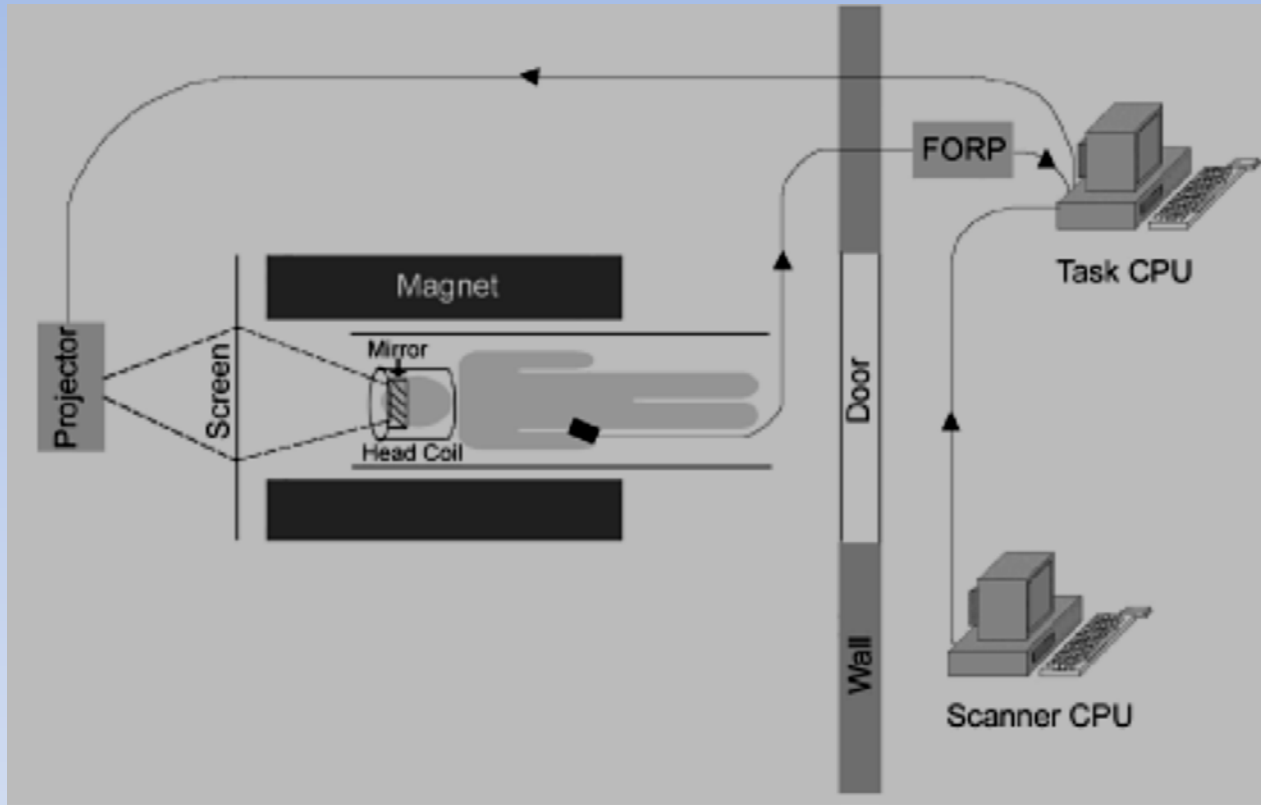
I mutamenti della concentrazione di ossigeno e del flusso sanguigno – BOLD (*Blood Oxygenation Level Dependent*) – alterano il segnale magnetico nella stessa area e tali alterazioni vengono rilevate dalla camera rotante.

E' la tecnica a cui si riferisce la maggior parte degli studi e delle ricerche in campo neuroscientifico, soprattutto per quanto riguarda l'ambito di ricerca che in questo contesto ci interessa: il rapporto mente/cervello.

I test consistono nel sottoporre il soggetto ad un set di stimoli (ad esempio immagini o suoni che rappresentano eventi di contenuto emotivo, comportamentale ecc. aventi valenza positiva, negativa, neutrale ecc.) «fotografando» nel contempo la configurazione che il cervello assume in risposta allo stimolo. In particolare vengono rilevate le aree attive e il livello di attivazione.



RISONANZA MAGNETICA FUNZIONALE - 2

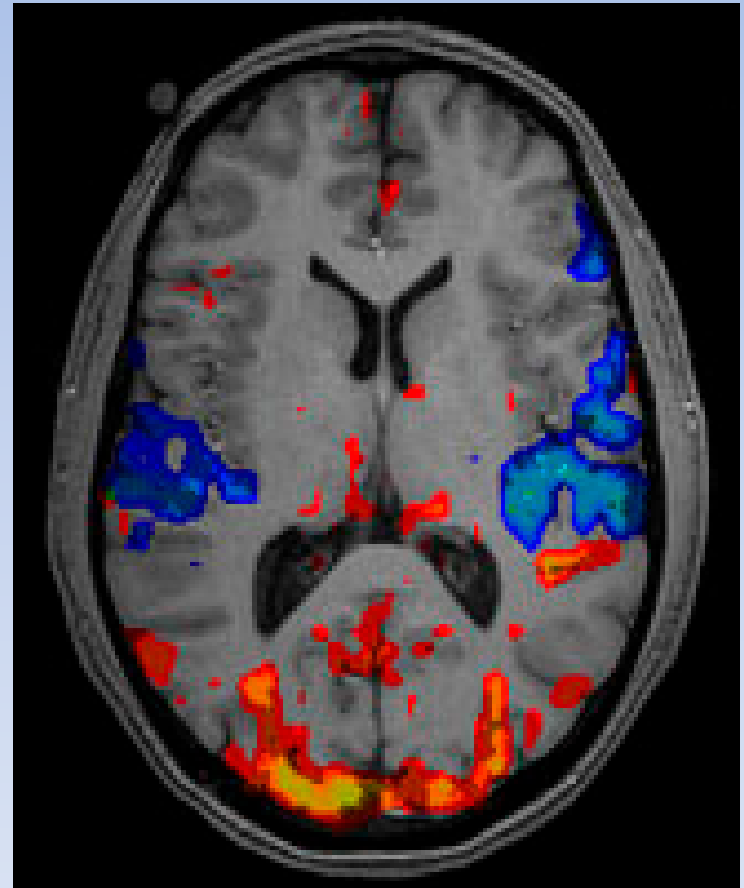


La testa del paziente è collocata all'interno di una bobina di rilevazione (head-coil), un magnete supplementare che controlla il rapporto segnale/rumore (potenza del segnale utile rispetto a quella del rumore). Stimoli uditivi o visivi (proiettati in un prisma interno alla bobina) vengono inviati al soggetto dal Task CPU che raccoglie le risposte che il soggetto fornisce mediante un pulsante e che vengono convogliate al Task CPU tramite una interfaccia a fibra ottica (FORP). Lo Scanner CPU controlla l'intero sistema ed elabora i risultati.

FIAT LUX?

L'elaborazione delle immagini a partire dai segnali BOLD è un processo che richiede l'impiego di una tecnologia complessa e il ricorso a filtri correttivi, ottenuti con la comparazione con modelli probabilistici (template), dati statistici, e ad aggiustamenti delle latenze: operazioni che vengono effettuate con strumenti computazionali che infine traducono in «colori» più caldi (rosso o giallo) o meno caldi (verde o blu) equivalenti ad una «scala di attivazione o deattivazione» i risultati delle loro elaborazioni.

Una delle riserve che ancora frenano l'impiego dei risultati ottenuti con tecniche di *imaging* in ambito forense – al di là del problema di interpretazione dei dati – riguarda l'aspetto tecnico nella fase di trattamento dei dati e di elaborazione dell'immagine che non è ancora standardizzato.



ET VOILA! ... MI AMI? ... MA QUANTO MI AMI?

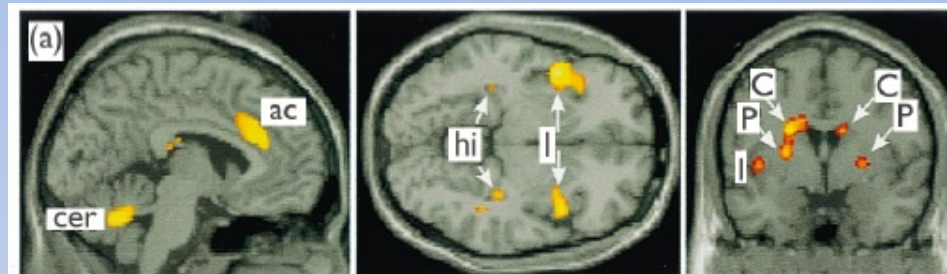


Immagine fMRI del cervello di una persona che vede il volto di una persona amata, digitalizzata in diverse sezioni (Bartels-Zeki, 2000). Le immagini sono elaborate in un contesto differenziale confrontandole con altre relative alla visione del volto di una persona semplicemente amica (che non riportiamo): confronto che contribuisce ad isolare la mappa neuronale del sentimento amoroso.

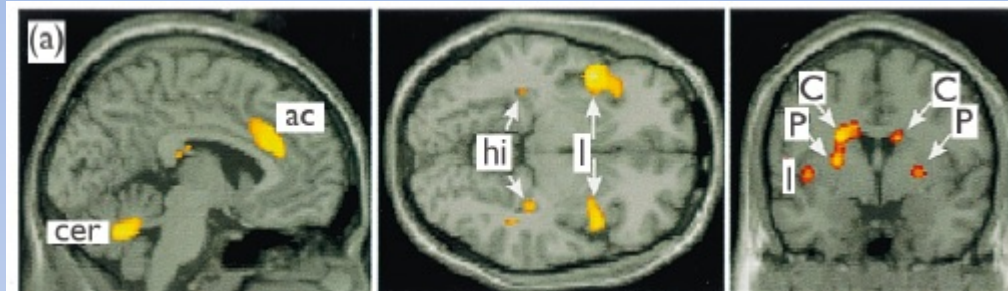
Ma potrebbe essere utile come ... «prova d'amore»?

Possiamo richiedere al nostro fidanzato o fidanzata di farsi fare una risonanza magnetica funzionale e poi confrontare le sue lastre con queste immagini per essere certi o certe che ci ami davvero?

Se noi trasferiamo questa domanda in altri contesti dove sono richieste assolute certezze, quali ad esempio nel campo forense, possiamo già avere una chiara visione di quale sia il nocciolo della questione.

INTERPRETAZIONE

AC=Cingolo ant.
Cer=Cervelletto
HI=ippocampo



C=caudato
P=putamen
I=insula

Come leggere questi dati?

Il dato visivo non viene riportato per cercare di isolare solo i componenti emotivi.

In sintesi:

Cingolo anteriore (AC) - importante interfaccia di mediazione tra aree implicata in una vasta gamma di funzioni, tra cui quella di favorire l'attenzione.

Insula (I) - ricognizione delle emozioni-sensazioni interne/propriocezione.

Ippocampo (Hi) - principale codificatore di memoria (e di richiamo delle memorie)

Caudato (C) Putamen (P) – la cui attivazione è evidenziata dal colore rosso – componenti di un importante circuito dopaminergico che gestisce i processi di **gratificazione** e di **motivazione**.

Cervelletto (Cer) – Presenza apparentemente anomala. Tuttavia recenti studi hanno riconosciuto una funzione di controllo nei processi emozionali. Pazienti con lesioni cerebellari manifestano un **calo di intensità** nella percezione soggettiva del senso di piacevolezza in presenza di stimoli edonici positivi.

ODI ET/AUT AMO?



Uno degli autori dello studio sul *romantic love* (Zeki) è un autore di una parallela ricerca sull'opposto sentimento, misurando le reazioni del cervello ad immagini, disposte in scala, che ispiravano un **sentimento di avversione**.

Ciò che è emerso è che in parte amore o odio presentavano scenari neuronali in **parte sovrapponibili**.

Ciò conferma che le immagini fine a se stesse, senza un **apparato di supporto critico** e di analisi/valutazione su **base differenziale**, non costituiscono una specie di «dizionario» o di vocabolario da consultare per tradurre il linguaggio della mente nel linguaggio del cervello o viceversa.

Questa osservazione assume ancora più importanza all'interno dell'impiego di queste nuove risorse in ambito forense dove sono necessarie consolidate certezze affinché una tecnologia possa offrire credenziali tali da costituire una «prova scientifica». Al di fuori di un corretto quadro interpretativo, che richiede anche l'apporto di altre informazioni, le immagini, qualora utilizzate in modo improprio, possono contribuire a generare più confusione che non a far chiarezza e perciò ad inquinare il processo (Reeves, 2003).

MAGNETO-ENCEFALO-GRAFIA (MEG)

Al pari della ECG, la MEG rileva gli effetti del passaggio della corrente ionica che fluisce nei dendriti neuronali nel corso delle sinapsi. Essa però misura le variazioni del **campo magnetico** prodotto dal passaggio della corrente. E' un segnale debolissimo che per essere rilevato richiede l'attività di almeno 50.000 neuroni che si attivano in parallelo. E' necessario anche eliminare l'interferenza di altri campi magnetici con opportune schermature.

Viene utilizzata spesso in combinazione con la fMRI al fine di creare mappe funzionali della corteccia, nel caso di test cognitivi complessi . Le due tecniche diventano complementari nella prospettiva di una più accurata localizzazione delle risposte cerebrali. Dato il posizionamento più «libero» del soggetto testato (v. figura) questa tecnica consente la somministrazione di stimoli visivi e uditivi **dall'esterno** e la possibilità di testare alcuni **movimenti** (tranne quelli della testa)



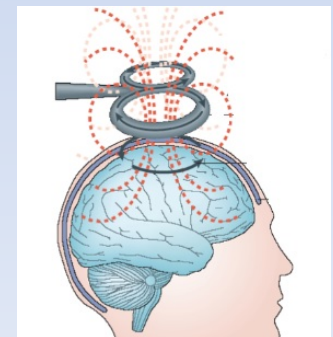
STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA

E' una ulteriore tecnica di indagine sulle funzioni espletate da determinati gruppi neuronali che vengono attivati con stimolazioni esterne. Consiste nella applicazione di un impulso magnetico sullo scalpo in modo da indurre una corrente elettrica nei neuroni della corteccia. L'apparecchiatura è composta da un generatore di corrente elettrica e da una bobina che trasforma la corrente in impulsi magnetici. Se gli impulsi sono inviati in prossimità di conduttore (il cervello) viene generata una corrente secondaria nel materiale conduttivo (i neuroni).

Esistono diverse modalità di stimolazione. La stimolazione **a corrente continua** altera la frequenza di scarica dei neuroni. La **stimolazione catodica** riduce la frequenza di scarica dei neuroni (de-attivazione), mentre la **stimolazione anodica** ha un effetto opposto (eccitazione). Sulla **stimolazione a corrente alternata** si sa ancora poco. Si ritiene che possa servire per studiare i processi di sincronizzazione tra gruppi neuronali.

Dalla stimolazione dei gruppi neuronali si possono osservare gli effetti prodotti sul piano sensoriale, motorio, emotivo, cognitivo ecc.

La SMT non è così precisa, in confronto alle tecniche precedentemente descritte. Viene quindi impiegata in connessione ad esse in particolare per verificare che cosa avviene nel resto del cervello (aumento dell'attività metabolica) quando si stimolano determinati punti. In tal modo è più facile ricostruire la *mappa delle connessioni* tra aree cerebrali



STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA

Applicazioni (un esempio) - #1

PREMESSA - Perché facciamo fatica a cambiare le nostre idee? Perché le persone provano ripugnanza a cambiare i propri orientamenti politici, religiosi, la squadra di calcio del cuore? Sono domande banali, ma che ci inducono a gettare uno sguardo su automatismi ideologici, ossia «semantici», molto profondi che condizionano sia la sfera cognitiva e morale. In termini comuni si definiscono «pregiudizi», nel senso che queste modalità di inferenza e di categorizzazione semantica sono «molto più veloci» dei processi in cui si costruisce un giudizio per così dire «obiettivo» e quindi, grazie a tale precedenza lo condizionano in modo più o meno determinante.

Il percorso che uno stimolo deve compiere prima di entrare in un contesto logico comprende vari processi di categorizzazione. La fase di **categorizzazione semantica** è fortemente condizionata da inferenze di tipo ideologico. Anche l'iniziale identificazione tra ciò che è «bene» e ciò che è «male», tra chi è pregiudizialmente «buono» (di solito chi appartiene al proprio gruppo, o che condivide la propria fede religiosa e politica) e pregiudizialmente «cattivo» (ad esempio il diverso, lo straniero ecc.) avviene in questo stadio.

DOMANDA: Dove si collocano, all'interno dell'architettura cerebrale, lungo il percorso in cui si costruisce il messaggio informativo i moduli che sigillano i nostri pregiudizi ideologici, consentendo associazioni semantiche stereotipate?

STIMOLAZIONE MAGNETICA TRANSCRANICA

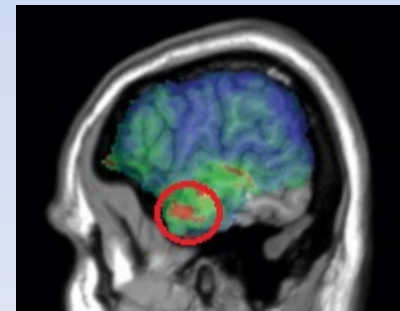
Applicazioni (un esempio) - #2

IAT (Implicit Association Test) – Il nostro cervello processa più velocemente quelle associazioni che corrispondono ai nostri «pregiudizi» o alle nostre inclinazioni morali e ideologiche. Ad esempio. In un razzista l'associazione tra la parola «negro» e un oggetto o animale tradizionalmente repellente (ad esempio «ragno» o «spazzatura») viene processata più velocemente dal cervello rispetto alla sua associazione con immagini positive (ad esempio «fiore»).

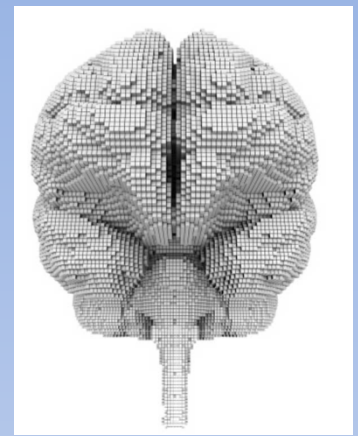
DOMANDA: In quale area del cervello si fissano queste rudimentali connessioni semantiche «acritiche» che hanno caratteristiche di stabilità al punto tale da definire il profilo morale, ideologico e religioso della persona?

Ripetuti esperimenti condotti con la SMT hanno confermato che i LOBI TEMPORALI e in particolare la parte anteriore dx e sx giocano un ruolo cruciale nel processare questo tipo di associazione (memoria semantica)

Induzioni elettromagnetiche (*MagPro magnetic stimulator*) di tipo inibitorio a carico dei lobi temporali anteriori sono in grado di *indebolire* i legami associativi che supportano i processi di concettualizzazione semantica con particolare riguardo al *social brain*. Pregiudizi razziali, di gruppo, di genere ecc. hanno subito un processo di dissociazione semantica verificabile con lo IAT Test.



MORFOMETRIA, VOXEL (Volumetric Pixel)



L'esplorazione del cervello (la rilevazione di anomalie strutturali o morfologiche) era possibile in passato solo *post mortem*. Le nuove tecnologie di *imaging* (fMRI, MRI) consentono di ricostruire **digitalmente** le caratteristiche anatomiche del cervello e delle sue parti (spessore, massa, volume ecc.) elaborando i segnali rilevati con appositi algoritmi a griglia che integrano questi dati con *template* costruiti sul piano statistico. In seguito le immagini vengono sottoposte ad una procedura di «smoothing» in modo che il singolo *voxel* rappresenti la media di se stesso e dei 26 vicini.

VOXEL. Rappresentazione di un punto-volume tridimensionale (spessore, intensità, colore) su uno schermo a 2 dimensioni. Le dimensioni dei voxel nella fMRI rappresentano volumi di 27 mm³.

CURIOSITA'. Uno dei primi studi VBM (*Voxel-based Morphometry*) fu fatta sull'ippocampo dei taxisti di Londra la cui dimensione si rivelò mediamente più grande comparata con i soggetti di controllo. Questa ipertrofia è causata dalla necessità che hanno i taxisti di **memorizzare** le mappe della città. Questa esigenza comporta l'ampliamento del *buffer* di memoria.

NOTA. Dismorfismi di tipo volumetrico in parti specifiche: riduzione della materia grigia - o della materia bianca (che condiziona la velocizzazione e la **sincronizzazione** della trasmissione dei segnali) - sono spesso associabili a patologie nervose e di rilevanza psichiatrica e criminale.

NEUROIMMAGINI - APPROCCIO CRITICO

Impiego delle nuove tecnologie di *imaging* in ambito forense – e più in generale nello studio delle scienze umane – costituisce di per sé argomento di animate discussioni tra studiosi.

Sono state avanzate alcune riserve. In particolare (Reeves e al, 2003)

RISERVE DI NATURA TECNICO-SCIENTIFICA – a) La tecnologia ha un ambito di sperimentazione limitato che non consente di effettuare generalizzazioni. b) Le procedure che vengono applicate per l'elaborazione delle immagini non sono ancora sufficientemente standardizzate e protette dal rischio di errori o manipolazioni. c) Patologie di tipo diverso possono produrre immagini confondibili. d) Il cervello non è una unità statica, ma soggetto ad un continuo processo plastico. e) Il confine tra «normalità» e «anormalità» non è ben chiaro e non tutti i soggetti con anomalie cerebrali riscontrati nei criminali mettono in atto comportamenti criminosi.

*RISERVE DI NATURA MORALE – Dibattito sul **riduzionismo** mente/cervello. Non esiste alcuna certezza sulla meccanica sovrapponibilità tra mente e cervello e neppure non si è in grado di stabilire quali siano i parametri in grado di indicare i livelli di autonomia tra le due sfere.*

*RISERVE DI NATURA GIURIDICA IN SENSO STRETTO – Oltre alle citate riserve che si riflettono naturalmente anche in ambito giuridico, si devono aggiungere anche quelle suggerite dalla peculiarità della prassi giuridica, non solo relativamente alle procedure, ma anche al tipo di accertamento che essa richiede. Ad esempio l'accertamento della **intenzionalità**.*

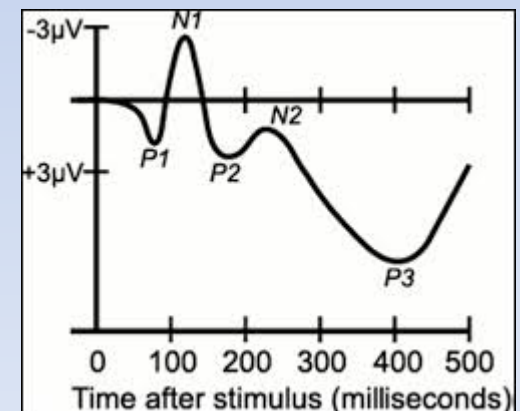
POTENZIALI CORRELATI AD EVENTI

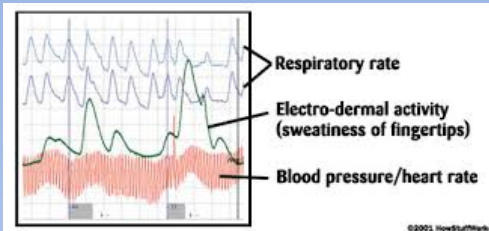
L'ONDA P300

Con l'introduzione dell'EEG si è osservato che il voltaggio variava con la somministrazione di **stimoli** esterni (es. lampi di luce, suoni) consentendo in tal modo di impiegare la tecnica EEG per ricerche in ambito cognitivo.

La tecnica ERPs (Event Related Potentials – Potenziali correlati ad eventi) è stata messa a punto per purificare il segnale EEG (generico) ed estrarre informazioni qualificate su **singoli** processi di rilevanza cognitiva, anche di natura residuale (memoria ecoica o iconica). Per individuare la risposta specifica ad uno stimolo, la procedura consiste nel compiere una sequenza di rilevazioni mirate che consentano di isolare un segnale particolare, riducendo il resto dell'attività elettrica a rumore.

L'ONDA P300 ha riscosso un particolare interesse nel campo delle neuroscienze cognitive, poiché la sua ampiezza assume il significato di **discostamento** da una sequenza standard di stimoli e perciò, in un contesto forense, come segnale intercettabile per un progetto di costruzione di una ipotetica **macchina della verità**. Tuttavia, in senso proprio, la P300 è rilevata in test in cui il soggetto individua uno stimolo occasionale, improbabile, insolito, incoerente, in una **sequenza regolare** di stimoli standard (Oddball (*devianza*) Paradigm). Il segnale è generato a livello intracerebrale in moduli diffusi nella regione fronto-parietale.

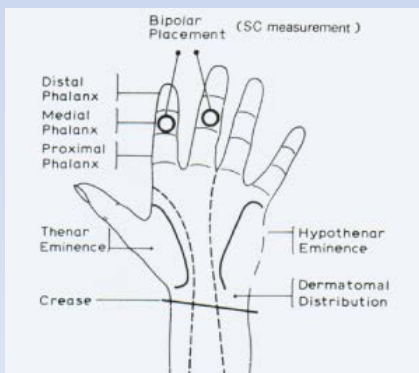




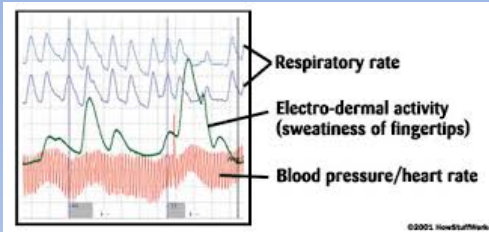
«MACCHINE DELLA VERITA'» - 1/1



POLIGRAFO. La possibilità di poter valutare l'attendibilità di una testimonianza o la sincerità di una persona usando tecniche di indagine biometrica (rilevazione pressione sanguigna, battito cardiaco, **conduttanza cutanea**, ecc.) Si fonda sul principio che la produzione di una menzogna comporta uno sforzo emotivo rilevabile da un set di sensori. La tecnica prevede un interrogatorio a risposta immediata (SI/NO) oppure multipla (cfr. **GKT - Guilty Knowledge Test**). La procedura, adottata in alcuni ordinamenti, ha suscitato critiche da parte della comunità scientifica, a partire da fatto che il rapporto tra reattività emotiva e menzogna non è poi così meccanico o univoco.



Conduttanza cutanea. Tecnica di indagine introdotta agli inizi del '900 e poi passata in secondo piano con l'introduzione di nuove tecnologie di analisi (fMRI ecc.). Essa misura le variazioni della resistenza elettrica al passaggio della corrente a basso voltaggio tra due punti della pelle. Emozioni, ansie, paure, reazioni del sistema simpatico alterano lo stato della cute (sudorazione, vasodilatazione) aumentando di conseguenza (e perciò abbassando i valori della resistenza elettrica cutanea) rilevabili attraverso un *ohmetro*.



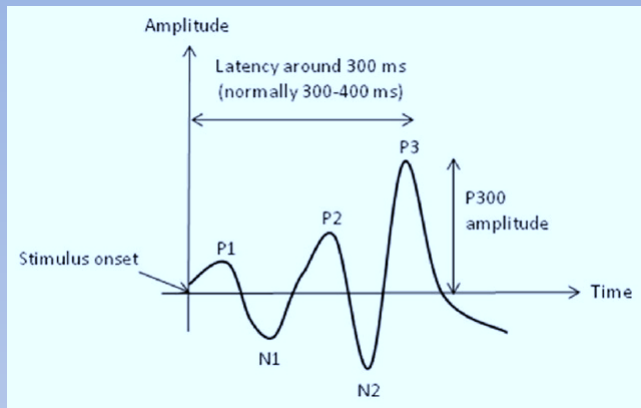
«MACCHINE DELLA VERITA'» - 1/1/1



PGKT – GUILTY KNOWLEDGE TEST. E' un test a risposta multipla che tende a rilevare non la presenza di una bugia – *lie detection* – bensì le reazioni neurofisiologiche generate dall'**irruzione della verità** in una sequenza di dati casuali.

Esempio. Al sospettato di omicidio si pone una domanda su un particolare che solo il vero colpevole e l'inquirente conoscono, ad esempio: «Qual è l'arma del delitto?»
A questo punto l'interrogato deve ascoltare un elenco di oggetti. Si conta sul fatto che al pronunciamento del nome della vera arma del delitto (che solo il colpevole conosce) si producano reazioni fisiologiche non controllabili (aumento del battito cardiaco, del respiro, della pressione del sangue, della conduttanza cutanea) nel caso in cui l'interrogato sia colpevole.

«MACCHINE DELLA VERITA'» - 1/2

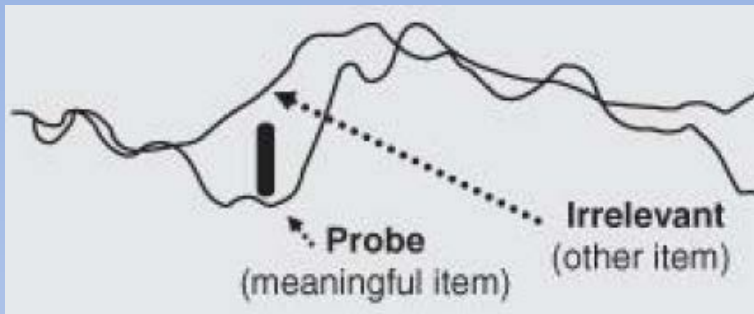


TEST FONDATI SU POTENZIALI CORRELATI AD EVENTI (P300). Come già anticipato, la P300 è una traccia EEG di particolare ampiezza e durata che isola la presenza di uno stimolo significativo, originale, frammisto ad una quantità di stimoli non significativi o di routine. La tecnica consiste nell'elaborare test in grado di far emergere questo segnale.

Oddball Paradigm a) Sequenze di stimoli di specie diversa; b) gli stimoli «frequenti» instaurano un contesto per il soggetto sulla base di caratteristiche fisiche (suono, immagine), semantiche o altro dello stimolo ; c) una o più classe di stimoli differiscono sotto molti aspetti da quelli frequenti e vengono definiti «devianti» o «rari»

SS DSS SSSS SSS DSSS

La comparsa del segnale di un segnale «deviante» viene rilevata dall'onda P300. La sua ampiezza varia in con l'improbabilità del segnale e la latenza varia a seconda delle difficoltà nel differenziare lo stimolo rappresentato da quello standard.

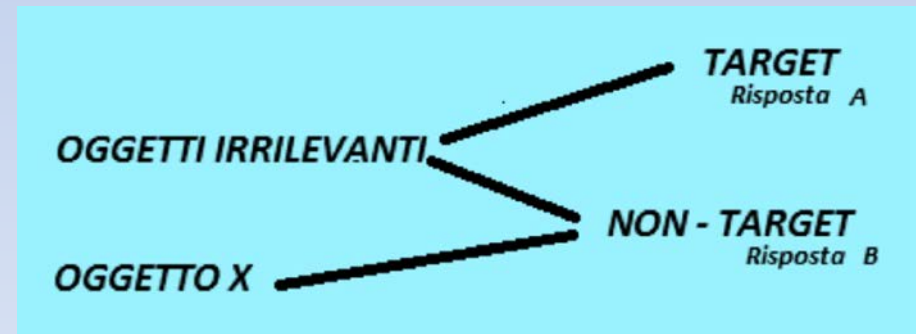


«MACCHINE DELLA VERITA'» - 1/3

3-stimulus Paradigm – Il protocollo dei 3 stimoli è una implementazione dello Oddball Paradigm . Se chiamiamo «x» ad esempio l’arma del delitto, il suo nome viene mescolato ad una quantità di nomi indicanti oggetti simili ma irrilevanti. Poi ci sarà un oggetto , altrettanto irrilevante che chiameremo oggetto-target. Il test consiste nel sottoporre questa serie di nomi dove l’oggetto «x» e l’oggetto-target vengono presentati molto raramente (frequenza 10-20%)

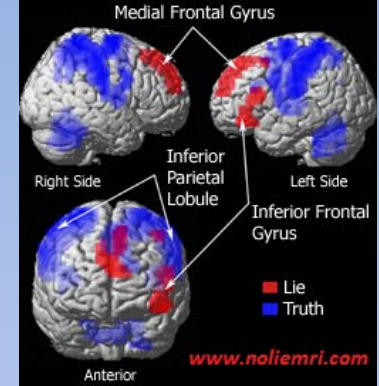
Alla presentazione degli oggetti, il soggetto deve solo rispondere se si tratta dell’oggetto-**target** oppure di un oggetto **non-target**.

La classe degli oggetti non-target comprende sia oggetti irrilevanti sia l’oggetto X. Tuttavia dovendo rispondere **allo stesso modo** alla presentazione dell’oggetto X nella classe degli oggetti irrilevanti, viene ancora più evidenziata la devianza dell’oggetto X, con conseguente evocazione dell’onda P300.





«MACCHINE DELLA VERITA'» - 2/1

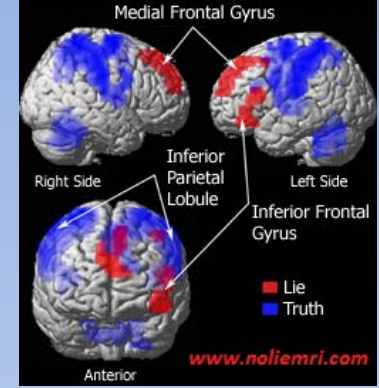


TECNICHE fMRI. Partendo da test (tipo GKT) si è sovrapposta la mappa cerebrale corrispondente alle risposte «veritiere» alla mappa cerebrale corrispondente alle risposte infedeli. Il dato più evidente, nel caso della risposta infedele è un sovraccarico di lavoro delle strutture (fronto-parietali) che supportano le strutture di controllo esecutivo e la **working memory** – che corrisponde (con approssimazione) alle risorse operative **RAM** del cervello. Questo può essere dovuto al fatto che il mentitore deve comunque «tenere in memoria» anche la verità nel momento in cui elabora la menzogna.

STIMOLAZIONE TRANSCRANICA. Pochissimi studi . Tecnica da perfezionare. Una volta accertato che la corteccia prefrontale anteriore svolge una funzione principale nella elaborazione di risposte fedeli o infedeli, si va alla ricerca dell'area la cui inibizione produrrebbe «un sacco di bugie» che corrisponderebbe (Karim, 2009) alla corteccia prefrontale anteriore destra.



«MACCHINE DELLA VERITA'» - 2/2



FALSE MEMORIE. I test di ricerca della P300 non riescono a discriminare i falsi ricordi dalle false testimonianze. Sono state elaborate delle procedure sul piano cognitivo per studiare le false memorie. Citiamo il **DRM (Deese-Roediger-McDermott) Paradigm**. Si elenca una serie di parole in qualche modo collegate (associabili) e si chiede al soggetto di ricordarle e ripeterle. Se il soggetto, in un scenario di termini associabili, inserisce una parola che non era presente nell'elenco, ciò rivela una tendenza a «metterci del suo» in fase di rimemorazione.

Come è possibile distinguere, in una testimonianza, una **falsa memoria** da una bugia? Secondo uno studio recente (Abe, 2008) con l'impiego della fMRI, ciò sarebbe possibile, perché, mediante il confronto di immagini, il falso ricordo sarebbe rilevato dalla presenza di una superiore attivazione dell'**ippocampo** anteriore.

fMRI e LA «FATICA DI MENTIRE»

Le tecniche fMRI hanno confermato le potenziali **differenze neurofisiologiche** tra menzogna e verità. Ciononostante e nonostante la varietà delle ricerche e le diverse tecniche di indagine approntate (tenendo presente la molteplicità degli scenari e la varietà delle situazioni in cui è possibile testare il rapporto vero/falso) non è ancora possibile isolare un modello univoco e inconfondibile specifico per identificare il «cervello menzognero».

Esistono poi anche limitazioni dovute al fatto che la fMRI non può misurare reazioni che si verificano solo all'interno di una relazione intersoggettiva (ad esempio un interrogatorio in cui sono presenti ansie, paure ecc). Per questo «l'asse emotivo» che si polarizza tra amigdala e corteccia OF non viene testato.

Nei primi studi effettuati con fMRI – domande di natura autobiografica invitando il soggetto a rispondere falsamente - si era notata la somiglianza tra le mappe neuronali emergenti con quelle corrispondenti all'azione di inibizione dell'atto di rispondere . Già la «bocca cucita» corrisponderebbe ad una forma di falsità.

Questo indusse gli studiosi a ritenere che l'atto di mentire comportasse un'azione supplementare inibitoria volta a sopprimere una **spinta naturale** alla verità. L'uomo sarebbe dunque per natura sincero.

Questa azione inibitoria impegna moduli fronto-parietali bilaterali e l'interfaccia del cingolo (che vediamo spesso sollecitata da situazioni conflittuali).

Un identico effetto è stato riscontrato **nell'atto di sopprimere dei ricordi**, mentre la gestione delle menzogne comporta un sovraccarico di lavoro nella *working memory*.

LA «FIRMA NEURALE»

Brain Electrical Oscillation Signature (BEOS)



E' una tecnica **su base EEG** sviluppata nell'ultimo decennio (in India) al fine di certificare la veridicità delle testimonianze e degli alibi. Non si basa sulla rilevazione di conflittualità rilevabili da alterazioni fisiologiche come nel caso del tradizionale *lie detector* e perciò sulla tecnica domanda/risposta. Non solo, ma la tecnica non ricerca il segnale deviante (P300), bensì il segnale concordante, la **corrispondenza**.

La tecnica è basata sulla narrazione e il test rileva se tale narrazione è riconosciuta dal cervello secondo pattern neurologici corrispondenti a modelli di esperienza vissuta. Nella rievocazione di esperienze passate (memoria autobiografica) il cervello produce tipiche oscillazioni elettriche che costituiscono una specie di «firma» della autenticità del racconto. La tecnica è stata elaborata dal prof. Mukundan (Gujarat Forensic Science University) e sviluppata digitalmente dalla Axxonet.

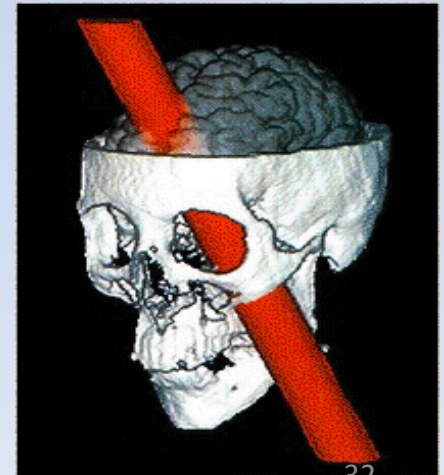
Ulteriori informazioni e un elenco di casi in cui è stata applicata questa tecnica si possono reperire on line in [questo documento](#).

DOCTOR JACKYLL E MISTER HYDE

(Il caso Phineas Gage)

La prima prova empirica dell'esistenza di aree specifiche del cervello dalla cui funzionalità dipende la coscienza morale della persona può essere fatta risalire ad un caso di cronaca, o meglio ad un incidente sul lavoro. Phineas Gage, operaio e uomo modello dalla condotta socialmente irreprensibile, ebbe il cranio trapassato da un'asta di metallo che gli asportò una sezione di cervello nel lobo prefrontale con particolare interessamento **della corteccia prefrontale e orbito-oculare in particolare**. L'operaio sopravvisse all'incidente, ma il suo carattere e il suo comportamento cambiarono in modo radicale.

Diventò ciò che si direbbe un «lavativo», impulsivo, privo del senso del dovere, con scarsa considerazione per i bisogni del prossimo (mancanza di empatia), incapace di formulare giudizi morali

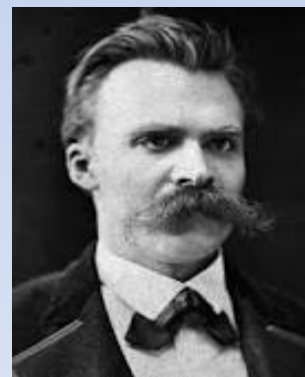


AL DI LA' DEL BENE E DEL MALE

(Il caso Nietzsche)

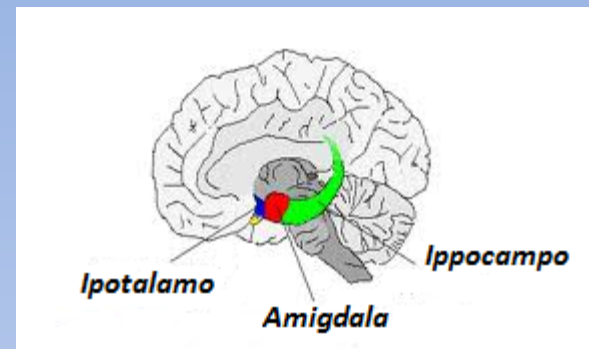
Anche se non è filologicamente corretto interpretare le produzioni dell'arte, della filosofia, della letteratura ecc. consultando i libri di medicina, da parte di alcuni studiosi è stata proposta la tesi che in parte la produzione filosofica di Nietzsche sia stata condizionata dalla sua malattia. In particolare la sua posizione ideologica, incentrata su una concezione di un uomo completamente privo di empatia, privo di scrupoli e condizionamenti morali – il Superuomo – potrebbe lasciare ipotizzare un «caso Phineas Gage filosofico».

Le terribili emicranie di cui soffriva il filosofo e la perdita progressiva della funzionalità dell'occhio destro hanno indotto ad ipotizzare, in uno dei tanti tentativi di diagnosi postume, la presenza di un tumore a lenta espansione nell'area retrostante il bulbo oculare, con interessamento della **corteccia orbito-frontale** e conseguente alterazione di un importante «snodo» in cui si organizzano quelle funzionalità che concorrono alla costruzione del giudizio morale e ad orientare il comportamento su parametri socialmente compatibili



EMOZIONI

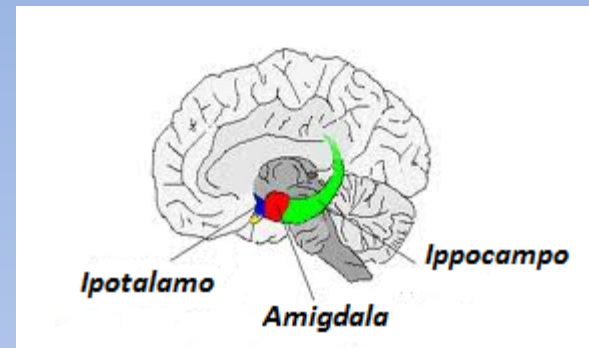
L'AGGRESSIVITA' – 1/1



AMIGDALA. Uno stimolo che proviene dall'esterno non subisce solo un processo di elaborazione sensoriale, ma anche un processo di **valutazione del contenuto emozionale** atto principalmente a rilevare il quoziente di rischio e di pericolosità che esso comporta, generando di conseguenza reazioni nell'organismo che favoriscono comportamenti autoprotettivi (quali ad esempio la fuga o l'attacco). La «centralina» preposta a gestire il contenuto emozionale dell'esperienza è l'**amigdala**. Essa è posta al centro di un sistema complesso atto a raccogliere tutta una serie di dati che consentono di generare **stati emotivi** a varia intensità. Lavora in stretta connessione con l'**ippocampo** – il gestore/codificatore primario della memoria. Una esperienza particolarmente significativa (o traumatica) viene «marcata» dall'amigdala e trasmessa all'ippocampo che provvederà ad archivarla con il suo particolare «marker» emotivo che l'amigdala restituirà ogni volta che l'esperienza sarà richiamata.

EMOZIONI

L'AGGRESSIVITA' – 1/2

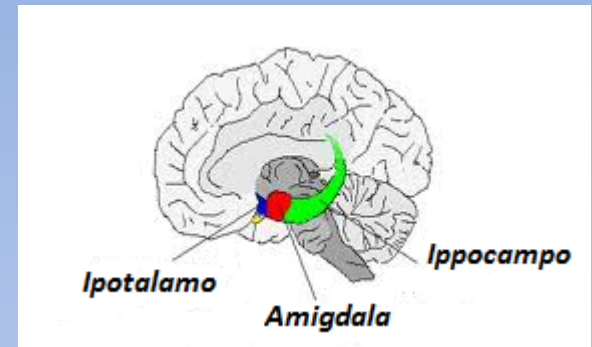


AGGRESSIVITA'. L'amigdala è soprattutto un sistema di allarme e di difesa, quindi, in presenza di particolari condizioni, propensa a ingigantire le paure e a promuovere reazioni aggressive eccessive. La stimolazione della parte mediana dell'amigdala, in test effettuati su animali, scatena comportamenti aggressivi, mentre la disattivazione della stessa area elimina ogni reazione aggressiva o di difesa anche in uno stato di pericolo.

Ovviamente non sono queste le sole radici dell'aggressività. Esiste una aggressività «difensiva» o guerriera e una aggressività «appetitiva» o **predatoria**. In questo caso viene coinvolto una ulteriore «centralina» che governa soprattutto il «milieu» interno e l'equilibrio omeostatico: l'**ipotalamo**.

EMOZIONI

L'AGGRESSIVITA' – 2/1

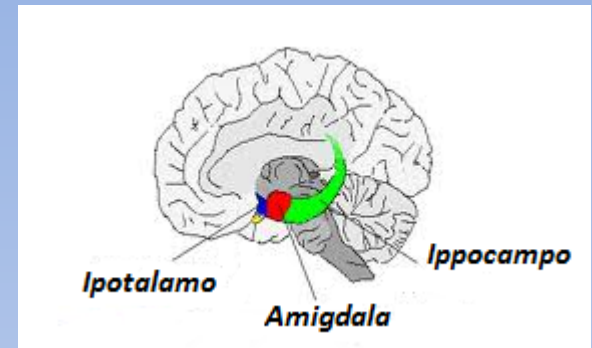


ESPRESSIONI FACCIALI. L'amigdala funziona come una sentinella pronta a rilevare e valutare un potenziale pericolo; la sua sensibilità si spinge fino a tradurre in messaggi aventi significato emotivo, l'altrui mimica facciale. Una espressione truce, una smorfia rabbiosa, una «faccia cattiva», il mostrare i canini negli animali ecc. provoca una attivazione nei nuclei amigdalici nell'interlocutore suscitando un senso di paura o angoscia. In questa reazione, dove vediamo un segnale esterno (una mimica, un gesto, o un tono della voce ecc.) trasformarsi immediatamente in sensazione interna, soggettiva, in un altro interlocutore, possiamo già intravedere il principio su cui si regge l'**empatia** (che vedremo meglio successivamente).

Possiamo sperimentare il filo sottile che collega mimica facciale con la sfera delle emozioni semplicemente constatando come una particolare contrazione del volto (ad esempio simulando una risata oppure una smorfia di dolore) sia in grado di richiamare l'emozione corrispondente.

EMOZIONI

L'AGGRESSIVITA' – 2/2

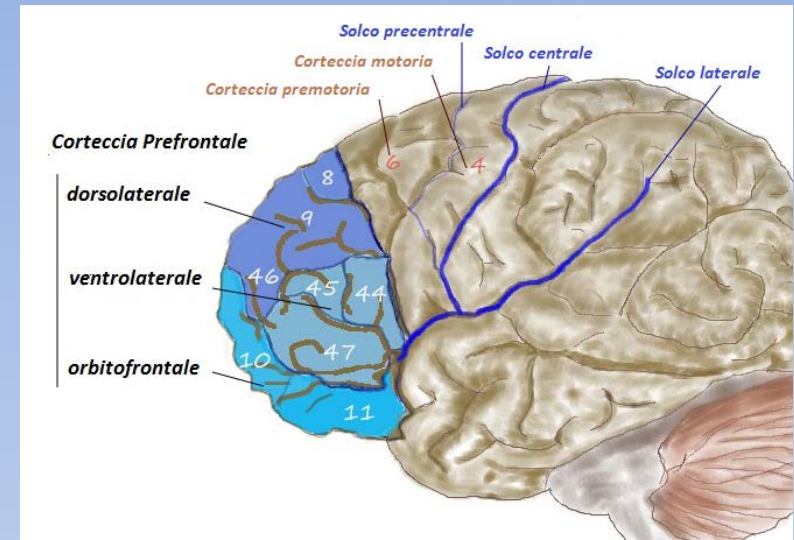


IPOTALAMO. Costituisce un piccolo nucleo ma assai complesso e fortemente interconnesso, una centralina volta soprattutto a governare il sistema **interno** (gestione del concerto ormonale, temperatura corporea, fame e sete, appetito, comportamento e orientamento sessuale, riproduzione, ciclo circadiano ecc). Nello studio sui felini si è visto che stimolazioni /lesioni delle parti mediane o laterali dell'ipotalamo favoriscono l'insorgenza di 2 tipi di reazioni aggressive:

- a) *affective aggressivity* – comportamento rabbioso, iroso, di tipo prevalentemente difensivo e intimidatorio, solitamente riservata ad individui della stessa specie e dello stesso sesso;
- b) *predatory aggressivity* – connesso principalmente all'esigenza di procurarsi il cibo e perciò volto verso individui di altra specie.

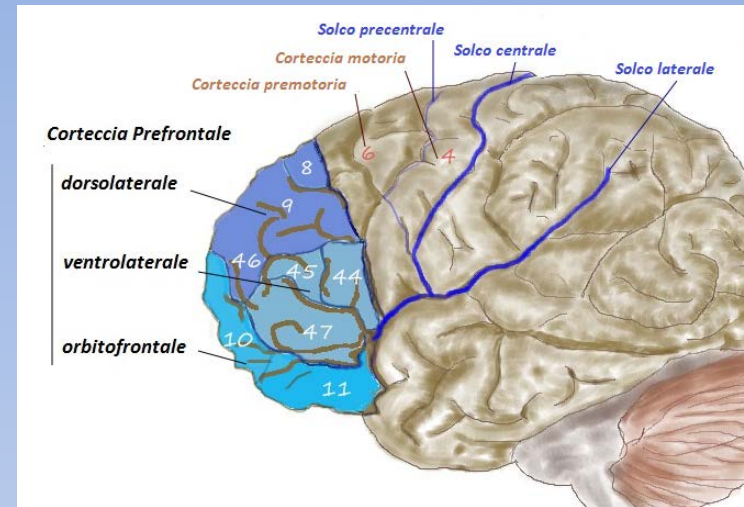
Isolando l'ipotalamo dalla corteccia si produce nel gatto tutte le reazioni fisiologiche della rabbia. anche se in questo caso si tratta di rabbia non cosciente – falsa rabbia. Spegnendo anche l'ipotalamo, queste manifestazioni spariscono. Ciò a riprova della funzione inibitoria che la corteccia esercita sulle manifestazioni aggressive.

CORTECCIA PRE-FRONTALE - 1



La corteccia prefrontale dorsolaterale e ventrale (soprattutto dell'emisfero sinistro) svolge **prevalentemente** funzioni di supervisione e controllo di tipo mediato, **metacognitivo**, sui processi emozionali e comportamentali, mentre la parte **orbito-oculare** (COF) svolge **prevalentemente** una funzione di immediata integrazione di elementi cognitivi ed emotivi ai fini di generare una risposta altrettanto immediata sul piano comportamentale e ideale. Quest'ultima regione riveste una importanza essenziale, dal punto di vista neuroscientifico, per lo studio del **comportamento** e delle **inclinazioni morali** della persona.

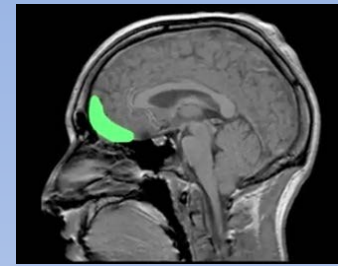
CORTECCIA PRE-FRONTALE - 2



CORTECCIA PREFRONTALE DORSOLATERALE E VENTRALE. Svolge la maggior parte di quelle funzioni cognitive e volitive che noi chiamiamo «superiori». Si può parlare di fase di **ripensamento** (*reappraisal*). Essendo la parte in cui sono concentrate le nostre risorse cognitive e progettuali di livello superiore la sua funzione è anche quella di esercitare un controllo **razionale e volontario** sulle pulsioni e sulle emozioni. L'attivazione di questa regione – il che significa anche esercizio della **volontà**, della creatività, della proiezione temporale, della progettualità, della operosità ecc. – comporta in automatico un potenziamento della **azione inhibitoria** sulle emozioni negative. Nei test effettuati (Ochsner e altri, 2002) si è osservato un **decremento** dell'attività dell'amigdala dx (la «sorgente» di molte pulsioni e stati d'animo negativi) in concomitanza con l'attivazione della CPF. Questa è probabilmente l'origine di quel «senso di benessere» che proviamo quando «facciamo qualcosa». Il piacere del fare.

Anche chi progetta e opera il male, chi è dedito al malaffare, può trarre un pari senso di benessere dalle proprie malefatte! Infatti la COF costituisce sempre il momento centrale in cui si formano le nostre inclinazioni, per cui la CPF deve in qualche modo passare attraverso questo «filtro» per relazionarsi con il sostrato emotivo.

CORTECCIA ORBITO- FRONTALE - 1



La corteccia orbito-frontale costituisce una importante centralina in grado di processare/integrare informazioni – sensibili, emozionali, cognitivi ecc. – al fine di generare un **comportamento appropriato** - all'interno dello schema binario positivo/negativo -

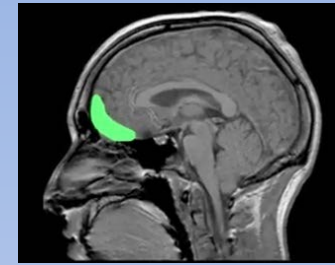
Nella teoria dei *marker somatici* di Damasio le cortecce OF sono essenziali per interpretare sensazioni somatiche, convertendole «al volo» - ossia emotivamente - in scelte decisionali opportune, coerenti, vantaggiose ai fini adattivi.

In sintesi esse consentono di integrare velocemente risorse intuitive ed emozionali per operare «d'istinto» delle scelte/decisioni in contesti problematici, a differenza delle **cortecce pre-frontali laterali** che in genere elaborano soluzioni in modo «mediato» ossia tramite attività di calcolo, analisi, progettazione; il loro malfunzionamento provoca disturbi sul piano cognitivo, dell'attenzione, della *working memory* e della pianificazione, ma non sembrano direttamente implicate nel generare comportamenti disinibiti e trasgressivi.

In generale la **corteccia prefrontale** nel suo complesso svolge una funzione inibitoria e di controllo delle pulsioni e forti emozioni che sono generate dalla fucina sottostante. E' per questo che ad una persona in preda all'ira diciamo: «conta fino a 10!» Stimolando l'attività corticale si attiva infatti anche una vibrazione inibitoria e di controllo delle pulsioni.

In questo contesto la COF svolge particolari funzioni di valutazione, scelta, selezione, supervisione (responsabilizzazione) , per cui viene ritenuta particolarmente implicata nella costruzione del mondo etico e nel processo di socializzazione.

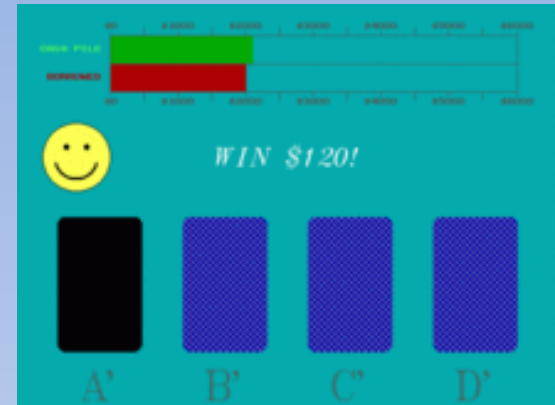
CORTECCIA ORBITO- FRONTALE - 2



Scarsa funzionalità o anomalie alla COF – con conseguente scarsa capacità di integrare momenti **emotivi** e cognitivi e di valutarne la valenza sociale – vengono inseriti tra le «condizioni» atte a favorire comportamenti antisociali.

- La prospettiva di una «punizione» o di uno svantaggio **non** funziona più come **deterrente** in grado di inibire comportamenti socialmente censurabili. Incapacità di «apprendere la lezione» ossia di far tesoro dell'esperienza al fine di generare automatismi decisionali (v. **Iowa Gambling Task**);
- Incapacità di interpretare correttamente i segnali negativi di risposta inviati da altri (ad esempio l'imbarazzo). Le **emozioni sociali** - ad esempio l'imbarazzo, la vergogna, la colpa, la compassione ecc. - assolvono ad una funzione cruciale sul piano evolutivo in quanto motivano il soggetto a indirizzare o a rivedere il comportamento, qualora socialmente non compatibile;
- Incapacità di **generare le emozioni** atte a motivare un comportamento appropriato
- Incapacità di monitorare il comportamento con conseguente assenza di reazioni emotive appropriate nel caso di azioni socialmente dannose.
- Impulsività incontrollata, scoppi emotivi, ombrosità, aggressività morale e fisica, incapacità di controllare emozioni primarie, ipersessualismo, iperfagia.

CORTECCIA ORBITO- FRONTALE – 2/1



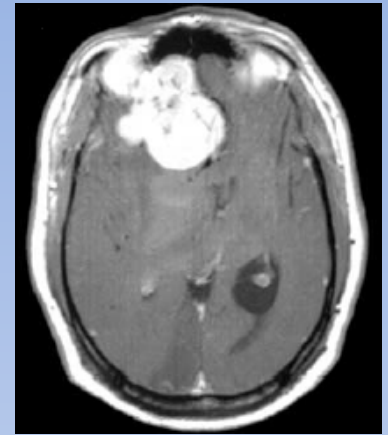
IOWA GAMBLING TEST. Ideato da un gruppo di ricercatori dell'università dello Iowa (tra cui Damasio). Test basato su un gioco d'azzardo. Quattro mazzi di carte, due "buoni" e due "cattivi". Nei mazzi "buoni" la vincita è modesta, ma le perdite sono quasi inesistenti; nei mazzi "cattivi", viceversa, le vincite possibili sono alte, ma le perdite sono ancora maggiori.

Ai partecipanti viene data una somma di denaro da giocare con l'impegno a massimizzare le vincite.

Soggetti «sani» presto riuscivano a capire che la strategia consisteva nello scegliere sempre carte dai mazzi «buoni», mentre soggetti con anomalie alla regione Orbito-frontale (COF) perseveravano nello scegliere carte dai mazzi «cattivi», nonostante avessero avuto esperienza che tale scelta comportava continue perdite di denaro.

Inoltre dall'analisi della conduttanza cutanea, si è constatato che soggetti «sani» rivelavano un aumento dei valori nel momento in cui si accingevano a prelevare carte dai mazzi «cattivi» (rischiosi) – segno di ansia e stress, mentre ciò non accadeva per i pazienti con disturbi alla COF.

CORTECCIA ORBITO- FRONTALE - 3

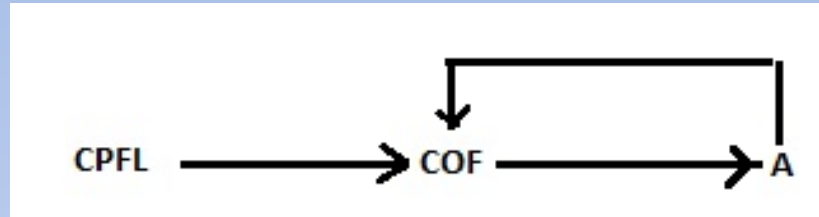


UN CASO EMBLEMATICO. Il caso Phineas Gage non è l'unico a dimostrare che una particolare area del cervello funzioni, in senso lato, **da switch tra il bene e il male.** In Burns e al. (2003) viene discusso il caso di un 40enne, sposato, dalla condotta irreprensibile che improvvisamente sviluppò un patologico interesse per la pornografia e insane e incontrollabili pulsioni sessuali (pedofilia). L'indagine radiologica, sollecitata anche dalle continue emicranie, identificò la presenza di una massa tumorale incapsulata nell'area Orbito-frontale destra con interessamento anche dell'area dorsolaterale (v. figura).

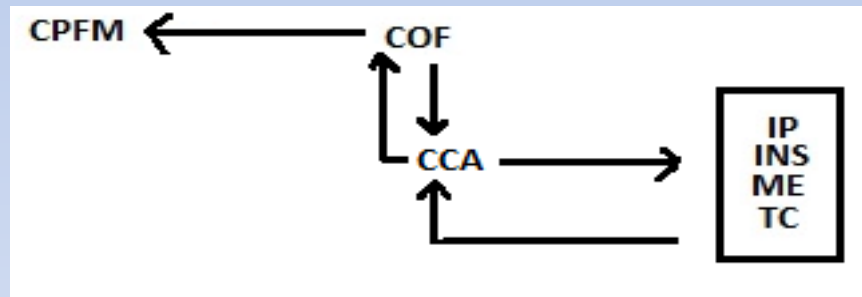
Con la rimozione chirurgica del tumore, e dopo gli opportuni interventi riabilitativi, **svanirono** le pulsioni che spingevano il soggetto alla pedofilia: pulsioni che però si ripresentarono quando il tumore si ripresentò una seconda volta.

CONTROLLO (TOP-DOWN) DELLE EMOZIONI

(Modello Beauregard)



La CPF laterale invia un comando modulante alla COF (che svolge funzioni sintetico-integrative di momenti cognitivi ed emotivi). La COF agisce sull'amigdala, la centralina di processione delle emozioni abbassandone l'intensità emotiva e registra di ritorno il risultato di questa modulazione



La COF indirizza un segnale modulante alla corteccia cingolata anteriore (CCA) che funziona da «interfaccia» con il sistema autonomico, viscerale, «vegetativo» che controlla le reazioni fisiologiche del corpo (**I**Potalamo, **I**NSula, **M**Esencefalo, **T**ronco **C**erebellare) e che viene opportunamente moderato. I segnali di ritorno vengono raccolti nuovamente dalla COP che li invia alla CPF (regione mediale) che registra il risultato dell'insieme in termini di «stato di coscienza».

PREMEDITAZIONE O IMPULSIVITA'?

In una delle più note ricerche effettuate in ambito forense con tecnologie di *imaging* (Raine, 1998) si sono esaminati due classi di soggetti imputati di gravi reati (omicidi) di tipo «impulsivo» (9 soggetti) e di tipo «predatorio» (15 soggetti).

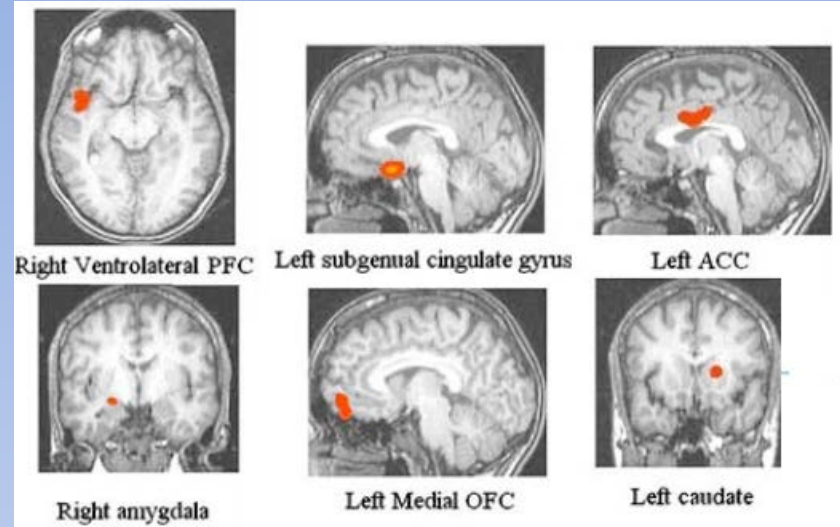
In **tutti i soggetti** si è riscontrata una attività eccessiva a livello subcorticale nell'emisfero destro, che in altri termini significa uno stato d'animo negativo e una turbolenta predisposizione alla aggressività.

Tuttavia i soggetti che avevano commesso omicidi impulsivi presentavano **anche** una ridotta funzionalità nei lobi prefrontali, mentre i soggetti imputati di omicidi di natura non impulsiva – ossia pianificati – la funzionalità dei lobi prefrontali rientrava nella norma. A ciò veniva attribuita la loro attitudine a modulare e distribuire nel tempo l'impulso aggressivo.

Questa problematica è emersa in sede giudiziaria nel processo al mobster Vincent Gigante. Se esiste una tipologia di delitti dove è richiesta la capacità di pianificare, è proprio quella mafiosa o della delinquenza organizzata in generale. Ebbene il processo Gigante si avviò su binari sempre più incerti a causa del fatto che la difesa produsse una documentazione in cui si evidenziavano segni riconducibili ad una patologia di natura demenziale nell'imputato che ovviamente avrebbe comportato forti limitazioni nella capacità di progettazione.

AL DI QUA DEL BENE E DEL MALE

In genere tutte le la ricerche dei correlati neurali che sono implicati nella definizione delle **inclinazioni morali e nell'orientamento del comportamento sociale /antisociale**, identificano nell'amigdala e nella Corteccia OF il cuore del sistema (la cabina di regia).



Attorno a questo asse ruotano poi altri moduli che rilevano i conflitti oppure che gestiscono i conflitti (cingolo anteriore) o che sovrintendono al giudizio morale e alla pianificazione dell'azione . La rilevazione dell'attività di questi circuiti via fMRI è stata effettuata con tecniche che misuravano le reazioni del soggetto alla visione di violazioni morali o a descrizioni morali , separando in questo caso l'aspetto semantico dal contenuto morale (Moll , 2002).

Il limite di queste tecniche consisteva nel fatto che il soggetto poteva controllare le sue risposte . Pertanto, per meglio valutare la «spontaneità» delle risposte si è pensato ad un test più complesso (Luo e al. 2006) **associando** le categorie del bene e del male ad oggetti (*target*) rispetto ai quali il soggetto provava **naturalmente** un trasporto positivo (ad esempio un fiore) o di ripugnanza (ad esempio un insetto). Il test si fonda sul fatto che negli individui esista un rapporto di **coerenza** tra **immoralità**, **illegalità** e **significato negativo** (l'oggetto ripugnante).

La complessità dell'esperimento, che impegna anche risorse in grado di rilevare congruenze, incongruenze, conflittualità, associazioni semantiche ha portato alla luce un articolato sistema di moduli di controllo neuronali, ciascuno dei quali esercita una specifica funzione o registra un particolare conflitto.

Tutta questa attività converge tuttavia attorno a due poli principali costituiti dall'amigdala e dalla corteccia OF.

EMPATIA



La capacità di **comprendere**, **riprodurre in se stessi** e di **condividere** i sentimenti e le intenzioni altrui costituisce un potente mezzo di integrazione sociale e di apprendimento. Viceversa il deterioramento dei moduli cerebrali che governano questo processo di immedesimazione (l'assenza di empatia) costituisce condizione atta a favorire comportamenti antisociali e aggressivi.

I canali principali attraverso i quali si sviluppa il processo empatico sono principalmente due:

A - Interpretazioni dei segni, della mimica facciale, dei segnali acustici (pianto ecc.) o visivi aventi soprattutto rilevanza sensoriale ed emozionale (stato d'animo altrui). Noi sappiamo «che cosa prova» l'altra persona perché si attivano dentro di noi di riflesso gli stessi circuiti cerebrali – attivati principalmente dall'**amigdala**, la centralina che seleziona il contenuto emotivo dell'esperienza esterna.

B - Interpretazione degli «scopi» e delle **intenzioni** soprattutto in un contesto «pratico» (sistema neuronale a specchio)

NEURONI SPECCHIO - 1



Leggiamo spesso nel vortice di copia-incolla di internet che la famiglia di neuroni specchio (mirror neurons) «... *are the brain feature that makes empathy possible*». Non è **esattamente** così, perché l'interazione empatica è un fenomeno più vasto. I neonati, che ancora non hanno sviluppato questo sistema, piangono appena sentono un altro neonato piangere. Nel vasto quadro dei processi di acquisizione dei sentimenti e dei comportamenti sociali, il sistema dei neuroni a specchio, variamente distribuito, assolve ad una funzione specifica che favorisce i processi di apprendimento ... **«guardando cosa fa l'altro»** (apprendere dal movimento o per imitazione) al fine di cogliere la finalità implicita nell'azione.

NEURONI SPECCHIO - 2

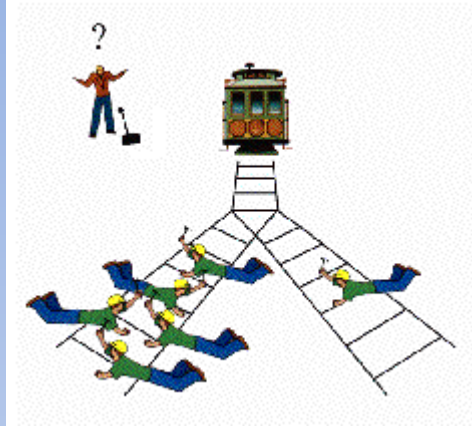


Neuroni specchio sono distribuiti in aree frontali e parietali connesse direttamente alla pianificazione del movimento spaziale. Sono già presenti in una regione «visiva» secondaria disposta sull'asse temporale (STS) preposta a rilevare e processare il **movimento biologico** (movimenti di altre figure animate).

L'area si attiva anche quando il movimento è solo immaginato.

E' interessante osservare la concentrazione di neuroni specchio in quella porzione terminale (pars opercularis) dell'**area di Broca** (la «fabbrica» del linguaggio collocata sul piano temporale dell'emisfero sinistro) laddove questa si connette con la corteccia motoria supplementare.

Questa scoperta ha suggerito nuove ipotesi sull'origine del linguaggio. Il linguaggio «evolverebbe» dal concetto di movimento – ipotesi non sorprendente se si pensa che il linguaggio dei gesti ha effettivamente preceduto il linguaggio delle parole. (Cfr. A. Leroi-Gourham, *Il Gesto e la Parola*, Einaudi, 1977)



IL TROLLEY-DILEMMA



Formulazione a) – Un tram fuori controllo sta proseguendo la sua corsa che lo porta ad investire e uccidere 5 lavoratori su binari. Voi avete la possibilità di agire sulla leva dello scambio dirottandolo su un binario in cui c'è un solo lavoratore che sarà investito e ucciso. Premereste la leva?

Formulazione b) – Stesso scenario precedente. Il tram sta per investire 5 lavoratori. Però non c'è possibilità di deviare il tram. L'unica possibilità per fermarlo è prendere un uomo grasso che è lì accanto a voi e lanciarlo sui binari. L'uomo grasso morirà, ma nello stesso tempo bloccherà la corsa del tram, per cui le 5 persone saranno salve. Lancereste l'uomo grasso?

*Buona parte delle persone sottoposte a test dichiararono di ritenere ammissibile, e persino obbligatorio, tirare la leva nel caso **a)**; però le stesse persone ritennero inammissibile la soluzione nel caso **b)** nonostante, dal punto di vista logico il bilancio tra vittime e salvati sia lo stesso.*

I riscontri fMRI (Greene, 2001) mostrarono che nel caso della opzione **b)** si attivava il «cervello emozionale», Mentre l'opzione **a)** che consisteva nell' «azionare una leva non provocava la stessa risposta interna.

Questa evidenza si è prestata ad alcune speculazioni. La intermediazione tecnologica (la leva) agisce anche come fattore «spersonalizzante» e sembra perciò attenuare il circuito empatico.

EMPATIA DEL DOLORE

L'empatia assolve ad un ruolo cruciale in un contesto evolutivo per quanto costituisce strumento di consolidamento dei rapporti sociali, favorisce i processi di apprendimento e gesti di solidarietà tra gli individui. Il nucleo centrale del rapporto empatico è il rapporto naturale madre/figlio. Per questo le femmine hanno per natura potenzialità empatiche superiori ai maschi, soprattutto se si parla di **empatia emotiva**. La sensibilità empatica decresce con l'età.

I circuiti cerebrali che processano in noi l'esperienza del dolore si attivano anche alla vista del dolore altrui. Per questo lenire o evitare l'altrui dolore reca sollievo a noi stessi. Esperimenti sui macachi hanno mostrato che gli individui evitavano di autosomministrarsi dosi superiori di cibo (premendo la leva dell'erogatore) se tali ripetute pressioni provocavano una scarica elettrica che colpiva il compagno. L'animale non mangiava piuttosto che procurare dolore al compagno.

Studi effettuati con fMRI (Decety, 2010) hanno mostrato che la vista del dolore generato da aggressione mobilita un numero di circuiti superiori rispetto alla visione della altrui sofferenza dovuta a fatti accidentali. In particolare si è rilevata l'attivazione della corteccia Orbito-frontale (COF) che, come abbiamo visto, è fortemente implicata nel rilevare e processare informazioni aventi rilevanza etico-sociale



SOCIOPATIA DEL DOLORE

In teoria la rappresentazione del dolore dovrebbe potenziare la compassione umana e affratellare i popoli (si consideri ad esempio il significato religioso della *Via Crucis* come via della salvezza e della redenzione dell'uomo).

In realtà esiste un punto in cui il sistema empatico **si rompe** e genera un effetto contrario. Possiamo pensare che il circuito che favorisce il processo di socializzazione attraverso la rappresentazione di scene di violenza possa invece deteriorarsi proprio a causa di un **sovraccarico** di stimoli. Citiamo due esempi.

REDUCI DI GUERRA. Costituiscono un problema sociale in USA, per cui sono stati attivati progetti di sostegno neuropsichiatrico e di reinserimento sociale dei reduci. La sindrome principale riferita è quella da **stress post-traumatico** – dove viene particolarmente interessata l'interfaccia che separa i moduli superiori dal sistema emozionali ed autonomico

IMMAGINI VIOLENTE DIFFUSE DAI MEDIA. Ci sono specifici studi, con tecnologia fMRI, soprattutto sugli adolescenti, ove si dimostra che la ripetuta esposizione ad immagini violente tende a danneggiare il **sistema di controllo delle emozioni** con indebolimento della corteccia OF e generando disturbi comportamentali del seguente tipo:

- a) Raffreddamento dell'empatia, progressiva indifferenza nei confronti degli atti di violenza sociale;
- b) Aumento della aggressività e predisposizione ad **identificarsi con l'aggressore** e non con la vittima.

DETERMINISMO E LIBERTA'

Da uno studio effettuato con tecniche fMRI da Soon e altri, *Unconscious determinants of free decisions in the human brain*, 2012, tendente a misurare i tempi intercorrenti tra una determinata scelta deliberata da un soggetto (premere il tasto A o B) e l'attivazione delle relative aree esecutive del cervello, è emerso il sorprendente dato per cui il cervello eseguiva l'azione **prima ancora** che il soggetto avesse deliberato di farla, al punto che una macchina sarebbe stata in grado di prevedere quale tasto avrebbe premuto il soggetto. Ciò confermava un precedente esperimento di Libet (*Do you have free will?* 1999) che già aveva suscitato ampie discussioni trasversali tra neuroscienze e filosofia.

Questa scoperta ha contribuito ad riaprire uno squarcio nel campo della filosofia morale, riportando in primo piano l'antico dilemma sul libero arbitrio. Il senso di libertà nelle scelte che sperimentiamo "soggettivamente" è solo una illusione?

Nessuna convincente spiegazione è stata ancora offerta per cui restano sempre agibili le posizioni classiche: determinismo, compatibilismo, libertarismo a cui bisogna aggiungere il "misterianismo" (Chomsky) che si arrende riconoscendo che i limiti delle capacità conoscitive umane sono limiti biologici, naturali, per cui esisteranno sempre delle zone d'ombra dove i conti non tornano mai. Dobbiamo imparare a convivere con l'"inspiegabile".

POSTILLA

I concetti di responsabilità, di intenzione, di volontà, escludono una visione deterministica dell'uomo. Gli esperimenti di Soon e Libet, hanno rinnovato antiche polemiche filosofiche che in fondo si sono rivelati utili perché hanno anche contribuito a risvegliare il pensiero filosofico da tempo moribondo. Resta il fatto che le ricerche nel campo delle neuroscienze ci costringono a compiere una riflessione sul piano concettuale per ridisegnare un nuovo profilo dell'umano - per osservare i comportamenti, le emozioni, le dinamiche psicologiche, le scelte ecc. da una visuale più vasta che fino a pochi decenni ci era preclusa.

Queste più ampie visuali si traducono in uno stimolo a ricercare una **nuova dottrina della soggettività**.