

Ipotalamo, amigdala, sistema limbico e stati emozionali

Quando noi proviamo una emozione, ad esempio la paura, sperimentiamo una serie di cambiamenti corporei: la bocca secca, l'accelerazione del battito cardiaco e del ritmo respiratorio, sudorazione del palmo delle mani, aumento della motilità intestinale, tensione muscolare. Questo vale anche per un topolino posto di fronte ad un possibile predatore: le manifestazioni fisiche della paura sono conservate attraverso le specie.

Le aree corticali associative del sistema limbico e l'amigdala orchestrano sia la componente cosciente dell'emozione che la componente corporea. L'ipotalamo è una componente cruciale della risposta corporea ma ha solo un ruolo indiretto nelle emozioni.

Noi vedremo prima brevemente il ruolo dell'ipotalamo nell'omeostasi, ovvero nel mantenimento della stabilità delle condizioni dell'organismo, e poi passeremo ad esaminare in che modo le emozioni sono rappresentate nel cervello.

Ipotalamo

L'ipotalamo svolge il ruolo di integrare le risposte del sistema nervoso autonomo e del sistema endocrino con il comportamento, specialmente per quanto riguarda le risposte comportamentali essenziali per il mantenimento dell'omeostasi.

Il concetto di un "ambiente interno" di un organismo stabile a fronte delle grandi variazioni dell'"ambiente esterno" si deve a Claude Bernard, fisiologo francese (1813-1878). Per mantenere stabili le condizioni del mezzo interno sono attivi una serie di meccanismi regolatori la maggior parte dei quali funziona secondo il principio della retroazione (feedback negativo): una variazione in un parametro che deve essere mantenuto stabile provoca una reazione volta ad annullare tale variazione. Ad esempio, se la temperatura corporea scende sotto il livello di riferimento, tale variazione innesca rapidi cambiamenti nella circolazione periferica, che limitano la dispersione di

calore, variazioni nella termogenesi, volte ad aumentare la dispersione di calore e mette in atto comportamenti volti ad aumentare la temperatura ambientale (ad esempio, accendere il fuoco) e a ridurre la dispersione di calore dal corpo (ad esempio, coprirsi di più).

Le funzioni in cui l'ipotalamo è coinvolto vanno dal controllo della pressione arteriosa e del battito cardiaco, alla composizione degli elettroliti al controllo della temperatura, al controllo del metabolismo al controllo della riproduzione al controllo della risposta allo stress. Dal momento che della risposta allo stress e degli effetti che su di essa possono avere le esperienze precoci si tratta nella parte sullo sviluppo, il sistema ipotalamo-ipofisi-ghiandola surrenale viene illustrato in fig. 1.

Nella figura viene sottolineata innanzi tutto la cascata di fattori che, facendo seguito ad una attivazione dell'ipotalamo, ad esempio in presenza di uno stimolo che pone l'organismo in tensione (stressor), sia esso fisico, come ad esempio un trauma o l'essere inseguiti da un predatore, sia esso psicologico, come ad esempio il dover parlare in pubblico o un lutto, conduce alla mobilitazione delle risorse dell'organismo: l'ipotalamo rilascia nell'ipofisi il fattore di rilascio dell'ormone adrenocorticotropo (corticotropin releasing hormon, CRH); l'ipofisi, così stimolata, rilascia l'ormone adrenocorticotropo (ACTH) che a sua volta stimola il rilascio di ormoni glucocorticoidi dalla corticale del surrene. In parallelo, l'ipotalamo, attraverso connessioni nervose dirette, stimola il rilascio di adrenalina da parte della midollare del surrene. L'aumento di adrenalina e glucocorticoidi circolanti determina aumento della pressione arteriosa e del battito cardiaco, un dirottamento del flusso ematico ai distretti muscolari, aumento della disponibilità di glicogeno per il consumo metabolico. Allo stesso tempo, i glucocorticoidi inibiscono processi al momento non essenziali, come i processi infiammatori o la riproduzione. In altre parole, l'organismo si prepara a reagire all'evento stressante. Se però la reazione acuta allo stress è fisiologica e funzionale al mantenimento dell'omeostasi, l'aumento prolungato di glucocorticoidi circolanti può avere effetti deleteri sull'organismo che includono miopatie, osteoporosi, ipertensione, infezioni.

C'è quindi un circuito di feedback negativo che, in risposta all'aumento di glucocorticoidi, riduce la produzione di CRH e di ACTH agendo direttamente sull'ipotalamo e sull'ipofisi. In questo

circuito di feedback un ruolo cruciale è svolto dall'ippocampo. L'ippocampo possiede la più alta densità di recettori per i glucocorticoidi nel cervello la cui stimolazione induce un forte effetto di feedback negativo sull'asse ipotalamo-ipofisi-surrene, con conseguente riduzione del rilascio di glucocorticoidi.

Questa alta densità di recettori per i glucocorticoidi nell'ippocampo rende i processi stessi ippocampali molto sensibili ai livelli di glucocorticoidi circolanti: bassi livelli sono necessari al normale funzionamento dei circuiti ippocampali ma livelli eccessivamente elevati interferiscono con le funzioni ippocampali ed in particolare con i processi di apprendimento e memoria. Addirittura, eccessivi livelli di glucocorticoidi possono rendere le cellule ippocampali più suscettibili ad insulti ischemici o ipossici e possono portare i neuroni ippocampali alla morte.

Per svolgere il suo ruolo di controllo sulle variabili sopra descritte l'ipotalamo ha bisogno di informazioni afferenti sul valore delle variabili da controllare, valori di riferimento con cui paragonarli e uscite adatte a controbilanciarne le variazioni.

Le informazioni afferenti vengono fornite da fibre sensoriali afferenti, principalmente attraverso il nucleo del tratto solitario, dalla retina e dal sistema olfattivo. Informazioni nocicettive giungono dal sistema somatosensoriale. L'ipotalamo riceve inoltre ingressi dalla corteccia sensoriale viscerale (corteccia sensoriale limbica), che è la corteccia insulare e dalla corteccia motoria viscerale (corteccia motoria limbica), che è la corteccia cingolata anteriore. La corteccia insulare contiene una mappa degli organi interni ed è importante per apprezzare coscientemente le sensazioni viscerali; la stimolazione della corteccia motoria limbica può determinare cambiamenti nel controllo omeostatico, ad esempio possono provocare un aumento pressorio.

L'ipotalamo possiede poi neuroni sensoriali interni: ad esempio, possiede termorecettori in grado di segnalare la temperatura locale, la concentrazione di glucosio, la concentrazione di Sodio. L'attivazione dei termorecettori del freddo dell'ipotalamo, ottenuta ad esempio attraverso la microperfusione locale di soluzione salina fresca, provoca nell'animale la cessazione della ricerca di refrigerio anche se la temperatura ambientale rimane elevata.

I valori di riferimento sono presenti in specifici circuiti ippocampali per numerose variabili controllate, quali ad esempio la temperatura corporea (valore di riferimento 37 °C), i livelli di zucchero nel sangue, la concentrazione di Sodio. Se il valore misurato per una variabile devia dal valore di riferimento (ad esempio la temperatura sale sopra i 37°C), si generano risposte volte a ristabilire il valore di riferimento.

L'ipotalamo orchestra le sue risposte attraverso una grande "tastiera" in uscita, che include il sistema nervoso autonomo, una uscita ormonale diretta tramite le cellule neuroendocrine magnocellulari dell'ipotalamo ed il controllo dell'uscita ormonale dell'ipofisi. L'ipotalamo contiene molti nuclei, composti di cellule specializzate, che sono selettivamente coinvolti nelle diverse funzioni ipotalamiche. Ad esempio, i nuclei più anteriori dell'ipotalamo controllano i ritmi circadiani (nucleo suprachiasmatico), l'attività riproduttiva, la pressione arteriosa e la temperatura corporea; i nuclei più mediali controllano la secrezione ormonale dell'ipofisi e contengono le cellule neuroendocrine magnocellulari: inoltre, controllano direttamente il sistema nervoso autonomo.

Sistema limbico e stati emozionali

Uno stato emozionale ha due componenti: una componente che potremmo chiamare "corporea" e che è la caratteristica sensazione fisica che proviamo durante un'emozione; l'altra è la componente cosciente, la consapevolezza di star provando una determinata emozione. Ad esempio, se una persona cara per il cui ritorno siamo stati in ansia ci compare dinanzi, noi sentiamo il nostro cuore sobbalzare, il respiro allargarsi, le gambe farsi molli e contemporaneamente siamo coscientemente felici. Gli anglosassoni usano in effetti due termini diversi per le due componenti: usano la parola *emotion* per la componente corporea, che è anche la responsabile della comunicazione agli altri del nostro stato emozionale (pensate al rossore, alla mimica facciale, alla postura corporea, all'incrinarsi della voce); la parola *feeling* è invece usata per la sensazione consapevole.

La componente cosciente è mediata da strutture corticali, in parte dalla corteccia cingolata ed in parte dai lobi frontali. La componente corporea è mediata da diverse strutture sottocorticali: l'ipotalamo, l'amigdala ed il tronco dell'encefalo.

L'emozione è il risultato di entrambe le componenti, la componente cosciente corticale e la componente corporea, dipendente da strutture sottocorticali: ma come interagiscono queste componenti?

Diverse teorie delle emozioni sono state proposte, da quella di James e Lange a quella di Cannon e Bard, alle integrazioni di Shachter e Damasio alla teoria di James-Lange e alle ulteriori riflessioni di Arnold e LeDoux. Noi non tratteremo qui le teorie delle emozioni, per la cui trattazione rimandiamo a testi di Psicologia generale e alla lettura dei libri di Damasio, LeDoux e Arnold (Damasio, *The feeling of what happens*; LeDoux, *The emotional brain*, 1966; Arnold, *Emotion and personality* 1960). Delineeremo invece le strutture nervose cruciali per le due componenti delle emozioni: dalla trattazione emergerà che le emozioni sono probabilmente il risultato di una interazione dinamica, per la quale è cruciale l'amigdala, fra fattori periferici, mediati dall'ipotalamo, e fattori centrali, mediati dalla corteccia cerebrale.

Numerosi studi hanno confermato l'ipotesi iniziale di Cannon che l'ipotalamo svolgesse un ruolo cruciale nelle risposte corporee, regolando l'espressione fisiologica delle emozioni. In particolare, Hess ha mostrato che la microstimolazione elettrica di diverse parti dell'ipotalamo produce una caratteristica costellazione di reazioni corporee che riproduce le reazioni caratteristiche di uno stato emozionale. Ad esempio: la stimolazione dell'ipotalamo laterale nel gatto evoca le risposte caratteristiche della rabbia, quali il rizzarsi del pelo, l'arcuarsi del dorso e l'aumento della pressione arteriosa. Questi risultati sono in linea con quanto abbiamo visto nella sezione precedente per quanto riguarda la capacità dell'ipotalamo di integrare le risposte del sistema nervoso autonomo e del sistema endocrino con il comportamento. La conclusione di questi studi è stata che l'ipotalamo è il centro che assicura la coordinazione delle componenti corporee di uno stato emozionale.

Veniamo adesso alla seconda componente, la componente corticale. James Papez propose alla fine degli anni trenta che le strutture corticali coinvolte nelle emozioni fossero quelle del sistema limbico, un sistema composto da aree corticali filogeneticamente primitive che comprendono la corteccia cingolata, la corteccia paraippocampale e l'ippocampo. Successivamente, MacLean allargò il sistema limbico includendovi il nucleo accumbens (una struttura che fa parte dei nuclei della base, riceve informazioni dalle aree corticali associative e proietta all'ippocampo), aree neocorticali quali la corteccia orbitofrontale (area associativa prefrontale) e soprattutto l'amigdala. Uno schema semplificato del sistema neurale delle emozioni è mostrato in Fig. 2.

Nell'ipotesi di Papez, l'ippocampo svolgeva un ruolo cruciale nelle emozioni facendo da tramite fra le aree corticali e l'ipotalamo. In realtà, questo ruolo è svolto dall'amigdala. Le evidenze in questo senso sono ormai molteplici.

La stimolazione elettrica dell'amigdala provoca nell'uomo un forte stato di paura. Lesioni dell'amigdala in animali producono docilità ed assenza di reazioni di paura in risposta a stimoli che normalmente le inducono. Pazienti con lesioni che includono l'amigdala mostrano difficoltà a reagire e a giudicare le espressioni facciali di felicità, paura, disgusto o tristezza anche se non hanno alcuna difficoltà a riconoscere l'identità delle stesse facce (questa capacità è invece danneggiata da lesioni alle aree visive inferotemporali). Inoltre, esperimenti di neuroimmagine hanno evidenziato come, in soggetti normali cui vengono mostrate facce con espressione impaurita o felice, l'attivazione dell'amigdala, ed in particolare dell'amigdala sinistra, era significativamente maggiore per le facce impaurite che per quelle felici (Fig. 3, Morris et al., 1996 Morris JS, Frith CD, Perrett DI, Rowland D, Young AW, Calder AJ, Dolan RJ. A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature*. 1996 Oct 31;383(6603):812-5). Il coinvolgimento dell'amigdala nelle risposte emozionali e la possibilità che svolga un ruolo dominante in alcuni tipi di emozioni è suggerito dalla attivazione dell'amigdala sinistra in risposta alla presentazione di facce tristi ma non di facce arrabbiate (Fig. 3, Blair et al., 1999 Blair RJ, Morris JS, Frith CD, Perrett DI, Dolan RJ. Dissociable neural responses to facial expressions of

sadness and anger. *Brain*. 1999 May;122 (Pt 5):883-93). Inoltre, l'attivazione dell'amigdala sembra importante anche per la convergenza di stimoli emozionali appartenenti a modalità diverse (convergenza intermodale), come accade quando ascoltiamo e vediamo una persona arrabbiata: la rabbia è convogliata sia dal tono di voce che dall'espressione facciale. L'importanza dell'amigdala nella convergenza intermodale è stata dimostrata osservando se la presentazione di una voce impaurita facilitasse il riconoscimento di un'espressione facciale impaurita: tale facilitazione correlava con l'attività dell'amigdala (Dolan RJ, Morris JS, de Gelder B. Crossmodal binding of fear in voice and face. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2001 Aug 14;98(17):10006-10). Data l'importanza della capacità di riconoscere le espressioni facciali e di valutare il contenuto emotivo del tono di voce nelle relazioni sociali, è evidente che la funzione dell'amigdala è importante nel comportamento sociale e nel suo sviluppo.

Come abbiamo visto nel capitolo dedicato alla memoria, l'amigdala è cruciale per lo svilupparsi di risposte emozionali apprese. L'esempio più chiaro viene dal condizionamento alla paura, di cui abbiamo già ampiamente parlato. Lesioni dell'amigdala impediscono l'instaurarsi del condizionamento da paura. Questo significa che soggetti con lesioni dell'amigdala non imparano a reagire in maniera appropriata ad uno stimolo la cui apparizione dovrebbe invece avere valore predittivo per l'accadere di un evento negativo.

Esiste il condizionamento da paura nell'uomo? La risposta è affermativa. Associando la presentazione di uno stimolo acustico neutro con quella di un forte suono minaccioso (ad esempio, le trombe di un TIR in avvicinamento) si provoca nei soggetti la comparsa di risposte emotive alla presentazione dello stimolo neutrale.

L'apprendimento del condizionamento da paura coinvolge cambiamenti duraturi dell'efficacia sinaptica di tipo potenziamento a lungo termine (LTP) nel nucleo basolaterale, come abbiamo visto nel capitolo precedente. L'ipotesi è che l'attività evocata nel nucleo basolaterale dalla presentazione dello stimolo condizionato, quando appaiata con l'attività evocata dallo stimolo incondizionato, provoca un potenziamento della risposta allo stimolo condizionato. In effetti, la

formazione di una traccia di memoria in seguito a condizionamento da paura determina un cospicuo potenziamento della risposta alla frequenza acustica dello stimolo condizionato nel nucleo basolaterale dell'amigdala (Armony et al., 1995).

Il nucleo basolaterale dell'amigdala proietta al nucleo centrale, che costituisce la principale uscita dell'amigdala (Fig. 4). La maggior risposta del nucleo basolaterale allo stimolo condizionato determinerà una maggior attivazione del nucleo centrale. Le proiezioni del nucleo centrale sono dirette all'ipotalamo e alle strutture del tronco dell'encefalo coinvolte nel controllo del sistema nervoso autonomo: in questo modo l'amigdala controlla sia il sistema nervoso autonomo che il sistema endocrino che l'asse ipotalamo-ipofisi-surrene. Quindi, l'amigdala è in grado di mediare la componente corporea delle emozioni tramite le proiezioni del nucleo centrale: attraverso la maggior attività nel nucleo centrale si può pensare che, nel condizionamento alla paura, la maggior risposta allo stimolo condizionato attivi tale componente.

L'amigdala, attraverso le sue proiezioni all'ipotalamo ed al tronco dell'encefalo media le reazioni corporee, la parte inconscia di uno stato emozionale. L'amigdala è anche importante per l'esperienza cosciente delle emozioni: essa proietta infatti alle aree corticali associative, ed in particolare alla corteccia cingolata anteriore ed alla corteccia orbitofrontale (Fig. 2 e 4).

La stimolazione della corteccia orbitofrontale produce risposte vegetative. Lesioni della corteccia orbitofrontale nelle scimmie riducono l'aggressività e le risposte emozionali. Per motivi storici, ricordiamo che queste osservazioni portarono Egas Moniz a praticare la lobotomia frontale, ovvero la rimozione dei lobi frontali nel tentativo di limitare i disturbi comportamentali in malati mentali. Le nostre attuali conoscenze sulle funzioni dei lobi frontali (vedi capitolo precedente) ci fanno probabilmente rabbrivire all'idea di praticare una rimozione che danneggia le capacità di condurre la propria vita, danneggia il comportamento sociale e lascia i soggetti incapaci di iniziativa.

Un punto che vorremmo sottolineare è che, come evidente in Fig. 4, l'amigdala riceve informazioni sensoriali sia dalle aree corticali che direttamente dal talamo. Attraverso questa via

l'informazione giunge molto più rapidamente al nucleo basolaterale dell'amigdala rispetto a quella che giunge attraverso le aree corticali e può dare inizio a risposte emozionali a brevissima latenza che si manifestano prima che il soggetto abbia coscienza dello stimolo che le ha provocate. Da notare che la presenza di risposte a stimoli subliminali è una delle conseguenze della teoria delle emozioni di Arnold.

L'esempio tipico portato da LeDoux è quello di un soggetto che cammina in giardino. Una improvvisa sensazione di paura gli fa fare un salto indietro, e gli si presenta alla mente il pensiero di un serpente fra l'erba. Se effettivamente l'ombra scura in movimento sinuoso che ha attivato il circuito talamo-amigdala ed ha messo in moto una reazione emotiva è un serpente, la reazione emotiva è stata protettiva. Se, una volta elaborata lungo le vie visive corticali, essa viene riconosciuta come il tubo dell'acqua mosso da qualcuno che sta innaffiando, è stata inutile. Ma nel dubbio....

E' davvero possibile evidenziare nell'uomo queste risposte emozionali a stimoli "non percepiti"? La risposta sembra affermativa. In un lavoro su soggetti normali, (Morris et al., 1999, Morris JS, Ohman A e Dolan RJ. A subcortical pathway to the right amigdala mediating "unseen" fear. PNAS 96, 1680-1685, 1999) è stata usata una procedura di rapida presentazione di due stimoli visivi in successione. In questo modo, la presentazione del secondo stimolo previene la percezione cosciente del primo (procedura di masking). Gli stimoli erano costituiti da facce, alcune delle quali erano state accoppiate con un forte rumore per provocare un condizionamento da paura. Ebbene, la presentazione di queste facce evocava sudorazione delle mani (risposta emozionale) sia quando esse venivano coscientemente percepite sia quando la loro percezione cosciente era prevenuta dal masking. Quindi, è possibile evocare una risposta emotiva con uno stimolo "non visto". In questo caso si attivava l'amigdala destra in correlazione con l'attivazione del collicolo superiore e del pulvinar ed in correlazione negativa con la corteccia orbitofrontale e con l'area delle facce nella corteccia inferotemporale. Quando invece lo stimolo condizionato veniva coscientemente percepito, l'attivazione dell'amigdala destra correlava positivamente con l'attivazione

dell'ippocampo e del cervelletto e negativamente con quella del pulvinar. L'amigdala sinistra non mostrava correlazione con l'attività del collicolo superiore o del pulvinar. Gli autori suggeriscono che nella condizione di masking, l'informazione visiva arrivi all'amigdala destra attraverso una via retino-collicolo-talamica veloce, forse mediata dalla via magnocellulare. Questa via sottocorticale sarebbe una via per l'elaborazione inconscia ma rapida di stimoli potenzialmente rilevanti per il soggetto (il serpente di LeDoux!) e lavorerebbe in parallelo alla via più lenta, che richiede l'attività della neocorteccia, necessaria per l'identificazione degli oggetti e per la percezione cosciente.

Questa ipotesi è stata confermata da uno studio di Morris e collaboratori (Morris JS, DeGelder B, Weiskrantz L, Dolan RJ. Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain*. 2001 Jun;124(Pt 6):1241-52). Essi hanno studiato un soggetto con "blindsight" emozionale, il paziente G.Y. La "blindsight" è la capacità di soggetti con lesioni occipitali di "indovinare" con sorprendente accuratezza la posizione di stimoli presentati nel loro emicampo visivo cieco (quello controlaterale alla corteccia visiva primaria lesionata), stimoli che peraltro essi non vedono. Il paziente G.Y. è in grado anche di discriminare le espressioni facciali di visi presentati nel suo emicampo cieco, visi che egli non percepisce coscientemente. Con un esperimento di neuroimmagine, gli autori hanno dimostrato che quando una faccia con espressione impaurita viene presentata nell'emicampo cieco le aree corticali visive non si attivano ma si attivano invece entrambe le amigdale, destra e sinistra. Quando essa viene presentata nell'emicampo normale, si attivano le aree corticali visive e si attiva l'amigdala sinistra. L'attivazione dell'amigdala per le presentazioni nell'emicampo cieco correlava positivamente con quella del collicolo superiore e del pulvinar.

Quindi risulta confermata l'esistenza di una via sottocorticale retina-collicolo-talamo-amigdala che elabora stimoli con contenuto emotivo di tipo pauroso indipendentemente dalla attività della corteccia visiva primaria (assente nel soggetto G.Y.) e della percezione cosciente.

Vorremmo concludere ricordando che le connessioni fra la corteccia e l'amigdala consentono l'attivazione di risposte emozionali anche da stimoli evocati dalla memoria e

dall'immaginazione. Inoltre, consentono di sopprimere la risposta evocata dalla via diretta talamo-amigdala: non appena l'ombra allungata in movimento fra l'erba si rivela per il tubo dell'acqua usato per innaffiare, la reazione emotiva di paura si spegne.

Empatia

Partecipare alla sofferenza di una persona, in particolare di una persona cara, è un carico emozionale fortissimo. Uno studio recente (Singer et al., 2004) ha dimostrato che aree corticali associative implicate nel circuito delle emozioni sono implicate anche nel fenomeno dell'empatia.

Gli autori hanno utilizzato una tecnica di neuroimmagine per paragonare l'attività cerebrale di un gruppo di soggetti mentre essi ricevevano una stimolazione dolorosa (una piccola scossa elettrica sulla mano) e mentre osservavano un segnale che indicava che una persona a loro cara, presente nella stessa stanza, stava ricevendo lo stesso stimolo doloroso.

La stimolazione nocicettiva attivava numerose aree cerebrali (la cosiddetta "rete nocicettiva"), che includeva le corteccie somatosensoriali primaria e secondaria, aree di arrivo dell'informazione che viaggia lungo la via antero-laterale, e alcune aree corticali limbiche, l'area sensoriale limbica (corteccia insulare) e l'area motoria limbica (corteccia cingolata anteriore, di cui abbiamo parlato precedentemente in relazione alle sue relazioni con l'amigdala). Il segnale che la persona cara stava ricevendo uno stimolo nocicettivo attivava solo un sottoinsieme della rete nocicettiva, ed in particolare attivava la corteccia insulare anteriore e la corteccia cingolata anteriore rostrale. Per ogni soggetto, l'entità dell'attivazione di queste due aree correlava con il punteggio ottenuto in una scala per misurare il grado di empatia.

Quali conclusioni possiamo trarre da questo lavoro e da altri lavori sull'argomento?

Possiamo concludere che c'è una segregazione fra la componente sensoriale-discriminativa e la componente affettiva-emozionale dell'esperienza di uno stimolo doloroso. La corteccia somatosensoriale riflette la localizzazione e le caratteristiche fisiche dello stimolo doloroso. La

corteccia cingolata anteriore rostrale e la corteccia insulare anteriore sembrano invece riflettere l'esperienza emotiva della nostra reazione al dolore e potrebbero costituire le basi neurali per la nostra capacità di comprendere le emozioni ed i sentimenti degli altri e di noi stessi. Infatti, la loro attività è cruciale per la componente cosciente delle proprie emozioni (vedi sezione precedente).

L'esperienza empatica si basa quindi sull'attivazione di aree corticali che sono rappresentazioni di secondo ordine, non necessarie per la precisa localizzazione dello stimolo doloroso o per l'analisi della sua natura ma necessarie invece per la dimensione affettiva del dolore. Infatti, per capire la reazione emotiva di un altro al dolore abbiamo bisogno di una rappresentazione della spiacevolezza dello stimolo, non delle caratteristiche sensoriali dello stimolo. Questa rappresentazione è quindi disaccoppiata dalla stimolazione sensoriale proveniente dal mondo esterno. Una simile rappresentazione disaccoppiata è stata postulata per spiegare le capacità di "mentalizzare", ovvero di capire i pensieri, le convinzioni e le intenzioni degli altri (U. Frith, C. D. Frith, *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 358, 459, 2003).

La nostra capacità di metterci in sintonia con gli altri sembra dunque essersi evoluta dal sistema che rappresenta gli stati corporei e le emozioni soggettive.