



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione*

**Corso di laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione
Neuropsicologica**

Tesi di laurea Magistrale

Simulazione o Reazione emotiva?

Il ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione di stimoli emotivi

Simulation or Emotional Reaction?

role of sensorimotor cortex in the processing of emotional stimuli

Relatrice

Prof.ssa Paola Sessa

Laureando: Gabriele Nobile

Matricola: 2048563

Anno Accademico 2023/2024.

Indice

Indice	1
Introduzione.....	3
CAPITOLO 1 L'elaborazione delle espressioni e la simulazione sensorimotoria	4
1.1. L'elaborazione dei volti e delle espressioni facciali: Bruce & Young e Haxby & Gobbini.....	4
1.1.1. Nuove evidenze sui modelli di elaborazione dei volti e delle espressioni sui modelli facciali: il modello di Douchaine e Yovel	7
1.2. La comprensione delle emozioni attraverso la simulazione sensorimotoria	11
1.2.1. La mimica facciale.....	12
1.2.2. Il feedback facciale, la simulazione, la modulazione delle emozioni e il riconoscimento delle espressioni	14
1.2.3. I modelli simulazionisti del riconoscimento delle emozioni basato sull'elaborazione dei volti	17
CAPITOLO 2 La corteccia somatosensoriale e l'elaborazione delle emozioni e delle espressioni facciali	20
2.1 Le basi neurali della simulazione sensorimotoria.....	20
2.2 Sovrapposizione/Associazione tra deficit di produzione delle emozioni e difficoltà nel riconoscimento delle espressioni facciali	22
2.3. Evidenze ERP (potenziali evento relati) a favore di risposte somatosensoriali indipendenti durante il processamento delle espressioni facciali.....	25
CAPITOLO 3 L'esperimento.	33
3.1. Introduzione e ipotesi	33
3.1.1.-Obiettivi e ipotesi.	33
3.2. Metodologia e materiali.....	34
3.2.1. Partecipanti	34
3.2.2. Procedura sperimentale.....	35
3.2.3. Pre-processing del dato EEG	38
3.3. Analisi statistiche.....	38
3.4. Risultati.....	39
CAPITOLO 4 Discussioni, limiti e prospettive future	42

4.1. Discussioni sulla reattività emotiva.....	42
4.2. Limiti e prospettive future	44
Conclusioni.....	46
BIBLIOGRAFIA.....	47

Introduzione

Il presente lavoro di tesi si propone come obiettivo quello di studiare il ruolo della corteccia somatosensoriale nel contesto della Simulazione Sensorimotoria, del funzionamento emotivo e della comprensione delle espressioni facciali. Più nello specifico, lo studio nasce con lo scopo di approfondire il ruolo svolto da tale regione corticale, per cercare di comprendere se possa essere considerato il substrato nervoso deputato al processamento del contenuto emotivo degli stimoli, oppure una struttura che coinvolta direttamente nell'analisi e nell'elaborazione delle configurazioni delle espressioni facciali. L'esperimento si è svolto, sotto la supervisione della Professoressa Paola Sessa e della Dottoranda Sara Costa, interamente dentro il laboratorio di Elettroencefalografia, all'interno dell'Dipartimento della Socializzazione e dello Sviluppo (DPSS) dell'Università degli Studi di Padova.

Nel primo capitolo del presente elaborato vengono presentate, tramite una panoramica generale, le principali teorie e i modelli più supportati da evidenze relative ai meccanismi sottostanti l'elaborazione degli aspetti dinamici dei volti. Successivamente, vengono descritti i modelli simulativi e i teorici del suo funzionamento, alla mimica facciale e la comprensione di come questi meccanismi supportino la comprensione delle espressioni emozionali.

Il secondo capitolo intende fornire un quadro descrittivo delle evidenze sperimentali e cliniche, riguardo o alle basi neurali dell'integrazione tra esperienza diretta, simulazione e percezione di uno stato emotivo.

Il terzo capitolo ha lo scopo di illustrare brevemente, nel modo più comprensibile possibile, il disegno sperimentale, le ipotesi, la metodologia, gli strumenti utilizzati e vengono esposti i risultati dell'esperimento. Infine, nel quarto capitolo vengono analizzati e discussi i risultati e vengono illustrate le prospettive future, i possibili successivi aspetti da approfondire e i miglioramenti da apportare allo studio svolto.

CAPITOLO 1 L'elaborazione delle espressioni e la simulazione sensorimotoria

Il seguente capitolo si propone di fornire un quadro completo dei più importanti modelli teorici cognitivi e neurali sviluppati per comprendere come avviene l'elaborazione degli aspetti strutturali e dinamici dei volti.

Innanzitutto, ci si focalizzerà sulla descrizione dei circuiti neurali coinvolti in questo processo, a cui seguirà una spiegazione riguardo al funzionamento dei meccanismi di simulazione utilizzati da noi esseri umani per associare le diverse configurazioni facciali ai corrispondenti stati fisiologici ed emozionali.

Questa cornice teorica, insieme all'approfondimento sulle basi neurali della simulazione, che saranno esposte nel secondo capitolo, farà da contesto alla ricerca condotta, oggetto del presente lavoro di tesi.

1.1. L'elaborazione dei volti e delle espressioni facciali: Bruce & Young e Haxby & Gobbini

Noi esseri umani viviamo in un ambiente sociale altamente ricco, dinamico e complesso. La nostra sopravvivenza come individui si basa sulla cooperazione come gruppi. Nel corso della nostra storia evolutiva, prima ancora dell'arrivo del linguaggio, abbiamo sviluppato diverse abilità utili al fine di comunicare rapidamente con i nostri conspecifici (Buss & Tommasi, 2020).

Proprio per questa ragione, la percezione dei volti è una delle capacità umane maggiormente sviluppata; dai volti, e nello specifico dal contatto visivo, dagli sguardi, e dalle espressioni facciali riusciamo a capire in modo rapido e implicito informazioni di importanza cruciale per facilitare le relazioni interpersonali, tra cui lo stato emotivo, le intenzioni, l'atteggiamento altrui (Adolphs & Birmingham, 2011).

In quanto altamente salienti e biologicamente rilevanti, i volti riescono a catturare la nostra attenzione già dalle prime fasi di vita. Il volto della madre è il primo stimolo sociale con cui veniamo a contatto fin dalla nascita e che viene immediatamente riconosciuto come familiare. Tale esposizione, continuativa fin dai primi giorni di vita, ci permette di specializzare i circuiti nervosi, conferendo una maggiore expertise, nonché una maggiore preferenza per queste categorie di stimoli. Tale meccanismo di specializzazione, prevede che i volti non solo passino attraverso una corsia preferenziale di elaborazione (Haan et al., 2002), ma anche sviluppino processi e modalità di elaborazione specifiche, che rientrano nel meccanismo chiamato *olistico-configurale*. Esso suggerisce che volti

vengano processati tramite la costruzione di una gestalt, ovvero la codifica simultanea delle componenti assemblate in un elemento percettivo non più divisibile e non attraverso l'analisi delle singole componenti, che risulta maggiormente dispendiosa a livello di tempo e di risorse cognitive. Ciò permette una facilitazione e una maggiore rapidità nel riconoscimento facciale, che è proprio ciò che ci rende adattabili al contesto in cui viviamo.

Nel 1986, Bruce & Young hanno provato a sistematizzare e sviluppare un modello che non si limitasse a comprendere come vengono elaborati i volti da un punto di vista percettivo, ma che potesse estendersi anche ad un livello cognitivo funzionale.

Questo modello (figura 1) si basa sull'assunto che sia possibile identificare ed estrarre elementi strutturali dai volti osservati, i quali vengono codificati in una rappresentazione dedicata (codifica strutturale). Essa viene confrontata con le unità di riconoscimento facciale (FRU/memoria contenente le rappresentazioni dei volti conosciuti) in modo da consentire il riconoscimento (ovvero stabilire se sono familiari) e la distinzione di caratteristiche differenti che rendono il volto unico. Solo successivamente sarà possibile accedere ad informazioni semantiche associate al volto riconosciuto (PIN\nodi di identità della persona). Questo modello propone inoltre l'esistenza di una seconda via che processerebbe le espressioni facciali come i movimenti delle labbra o la direzione dello sguardo.

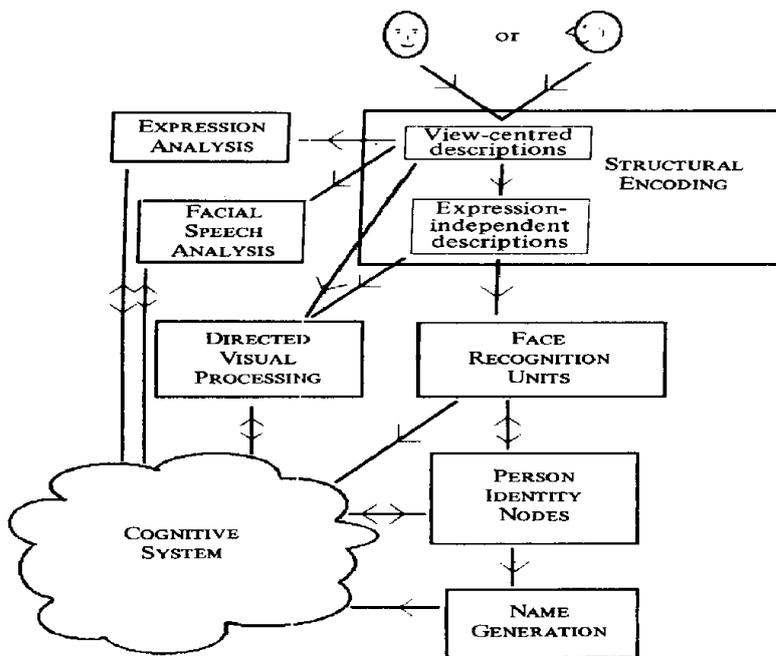


Figura 1 Bruce & Young (1986) Un modello funzionale per il riconoscimento dei volti

In questo modello si osserva una dissociabilità tra le componenti che analizzano gli aspetti invariati, che consentono di estrarre informazioni come l'identità, e quelle che analizzano i tratti mutevoli, come le emozioni.

Nella stessa direzione un modello neurale prodotto successivamente da Haxby e Gobbini (2007) ha individuato le zone corticali, funzionalmente distinte tra loro, deputate all'elaborazione di queste differenti caratteristiche dei volti. Il sistema di percezione dei volti (figura 2) può rappresentare sia gli aspetti invariati di un volto che specificano l'identità (Core System), così come gli aspetti mutevoli di un volto (Extended System) che facilitano la comunicazione sociale (Haxby et al., 2000). Queste due tipologie di elaborazione sono funzionalmente dissociate tra di loro.

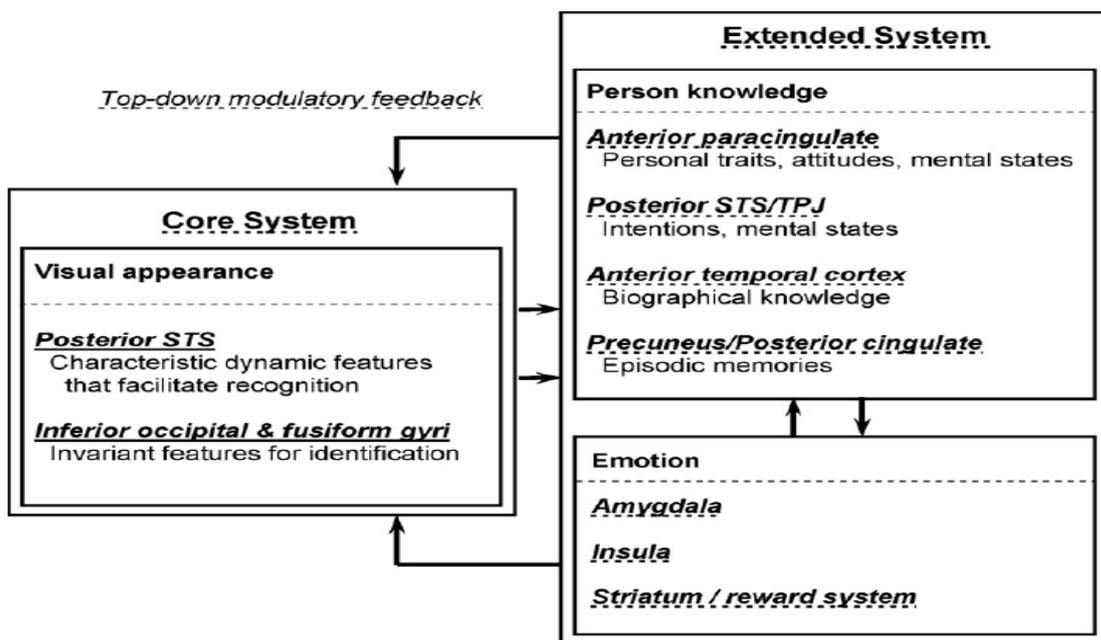


Figura 2 Gobbini & Haxby, (2007) Un modello di aree che mediano il riconoscimento di volti familiari.

Le regioni coinvolte (figura 3) nel processamento dei volti secondo questo modello sarebbero il giro occipitale inferiore, all'interno del quale si colloca l'area occipitale per i volti (OFA), il giro fusiforme laterale dove si trova l'area fusiforme per i volti (FFA) e il solco temporale superiore (STS).

Il coinvolgimento selettivo di queste regioni per i volti è stato dimostrato da studi con risonanza magnetica funzionale, in cui è stata vista una maggiore attivazione in risposta a tali stimoli se confrontate con altri oggetti (Rhodes et al., 2011).

Queste tre aree corticali costituiscono il Core System per l'analisi visiva di volti, con segregazione e suddivisione dei ruoli: FFA sembra essere coinvolta nella codifica

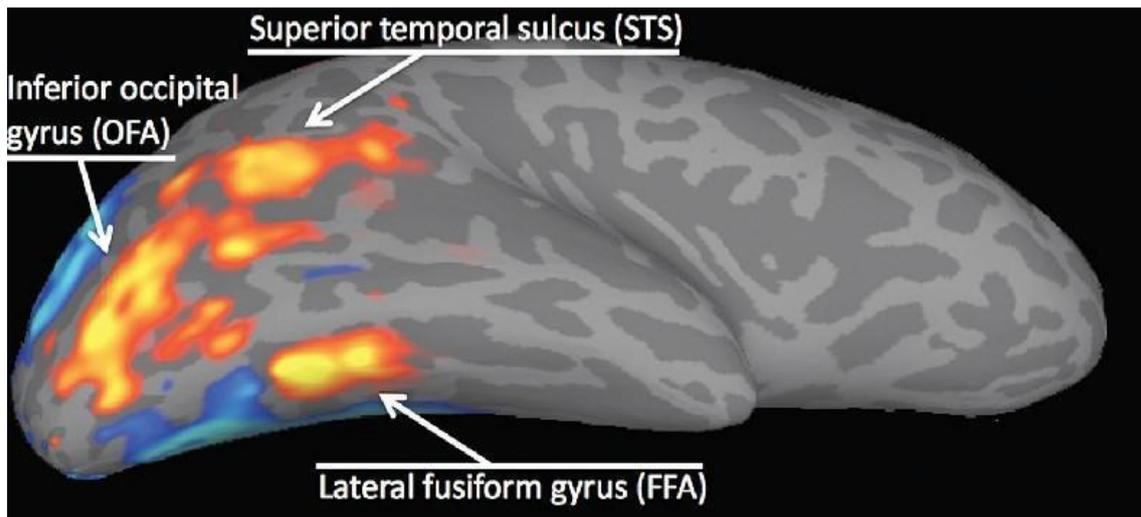


Figura 3 Rhodes et al., (2011), Aree corticali deputate all'elaborazione dei volti

strutturale dei volti e nella rappresentazione dell'identità, mentre pSTS nell'elaborazione degli aspetti mutevoli dei volti.

Oltre alla familiarità è anche tramite la risposta emozionale, che ci fornisce la possibilità di accedere alle conoscenze pregresse su quella persona, che avremo la possibilità di mettere insieme le conoscenze attivate dall'incontro al fine di identificarla correttamente.

Le conoscenze sulla persona riguardano: i tratti di personalità, le intenzioni, le attitudini, gli stati mentali, ma anche i fatti autobiografici e le memorie episodiche. Tutto questo è sostenuto a livello neurale dall'attivazione di un gruppo di aree nervose, raggruppate all'interno dell'Extended System, associate a compiti che coinvolgono la teoria della mente. Essa fa' riferimento alla capacità degli individui di rappresentarsi lo stato mentale degli altri e predire il comportamento altrui basandosi su questa rappresentazione. Le aree che fanno parte dell'Extended System, coinvolte nella Teoria della Mente, sono: la corteccia cingolata anteriore (ACC), pSTS, la giunzione temporo-parietale (TPJ) e il precuneo. Queste aree svolgono un ruolo importante nel recupero delle conoscenze sulla persona durante il riconoscimento facciale (ibidem).

Già in questo caso è possibile notare un riferimento interessante per quanto riguarda la simulazione e la raffigurazione di uno stato mentale altrui che verrà approfondita più avanti focalizzandoci sulla simulazione dello stato emotivo. In particolare, sulla funzione di tale meccanismo nel connettere le espressioni facciali con lo stato fisiologico e l'attivazione dei sistemi emotivi.

1.1.1. Nuove evidenze sui modelli di elaborazione dei volti e delle espressioni sui modelli facciali: il modello di Douchaine e Yovel

Nel 2015, uno studio molto rilevante ha modificato la visione precedente e strutturato maggiormente il vecchio modello sull'elaborazione dei volti (Duchaine & Yovel, 2015). Questo studio si concentra principalmente sull'esistenza di due vie (figura 4) separate:

- la via ventrale dedicata alla rappresentazione degli aspetti strutturali del volto e all'estrazione dell'identità.
- la via dorsale guidata sia dalle informazioni relative alla forma che da quelle dinamiche e mutevoli; ovvero è specializzata nell'elaborazione delle espressioni facciali.

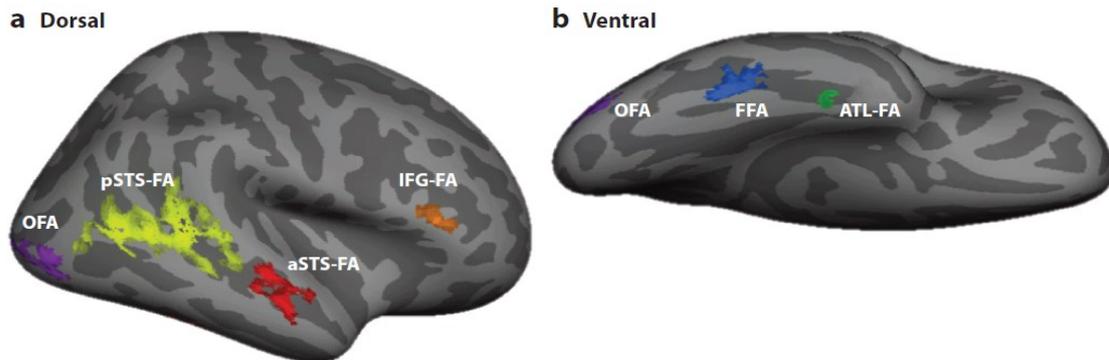


Figura 4 Duchaine & Yovel, (2015) Aree selettive per i volti

Il concetto di specializzazione delle vie neurali per l'elaborazione delle informazioni visive legato al riconoscimento facciale ha portato alla descrizione di due vie funzionalmente separate. La via ventrale o *via del cosa* è specializzata nell'analisi delle caratteristiche strutturali degli oggetti, compresi i volti. Nella rappresentazione del volto la via ventrale è deputata al riconoscimento delle persone utilizzando i tratti distintivi del volto. La via dorsale o *via del dove* è specializzata nell'analisi di informazioni spaziali e dinamiche, quindi dei movimenti nello spazio degli oggetti presenti nel nostro campo visivo. Nell'ambito del riconoscimento facciale la via dorsale si occupa dell'interpretazione delle espressioni facciali, dei movimenti del viso, delle dinamiche sociali come gesti o la direzione dello sguardo.

Le aree che rispondono selettivamente alla vista di un volto sono state trovate in entrambi gli emisferi, ma quelle che svolgono una funzione di maggior peso sono lateralizzate nell'emisfero destro (Rossion, 2014).

La separazione funzionale delle due vie appena accennate porta a supporre l'esistenza di gruppi di aree nervose ad esse appartenenti, con funzioni ben distinte. Una deputata al processamento delle informazioni utili all'estrazione dell'identità ovvero la via ventrale formata da OFA, FFA e ATL. L'altra, la via dorsale formata da pSTS, aSTS e IFG, maggiormente reattiva ai cambiamenti e ai movimenti del volto e delle sue espressioni.

Questa divisione tra regioni cerebrali che elaborano informazioni dinamiche e statiche dei volti è in linea con le teorie cognitive e neurali sulla percezione dei volti, che suggeriscono che parti diverse del cervello sono specializzate nell'elaborare specifici aspetti dei volti, come l'identità o l'espressione. In particolare, le aree della via dorsale, tra cui pSTS ma anche aSTS e IFG rispondono più ai volti dinamici che a quelli statici e agli elementi mutevoli del volto come la direzione dello sguardo o i movimenti della bocca (Pitcher et al., 2011). Le evidenze del modello di Duchaine e Yovel dimostrano che FFA si occupa dell'elaborazione, oltre che degli aspetti statici del volto, anche degli aspetti dinamici delle espressioni facciali. La FFA viene attivata dalla presentazione di espressioni facciali sia quando queste sono attese sia quando non lo sono (Ganel et al., 2005) questa risposta viene aumentata dall'intensità dell'espressione facciale (Winston et al., 2003). Troviamo delle evidenze riguardo a questo aspetto in alcuni studi che hanno utilizzato dei video di volti in movimento dimostrando che le vie dorsali e quelle ventrali si differenziano sostanzialmente nella loro sensibilità alle informazioni dinamiche (O'Toole et al., 2002).

La risposta di pSTS quando viene stimolata con volti dinamici è doppia rispetto a quella di volti statici (figura 5) (Fox et al., 2009); inoltre ha mostrato un aumento della selettività principalmente per la sua risposta molto più consistente ai volti dinamici, mentre FFA e OFA hanno risposte simili ai volti dinamici e statici.

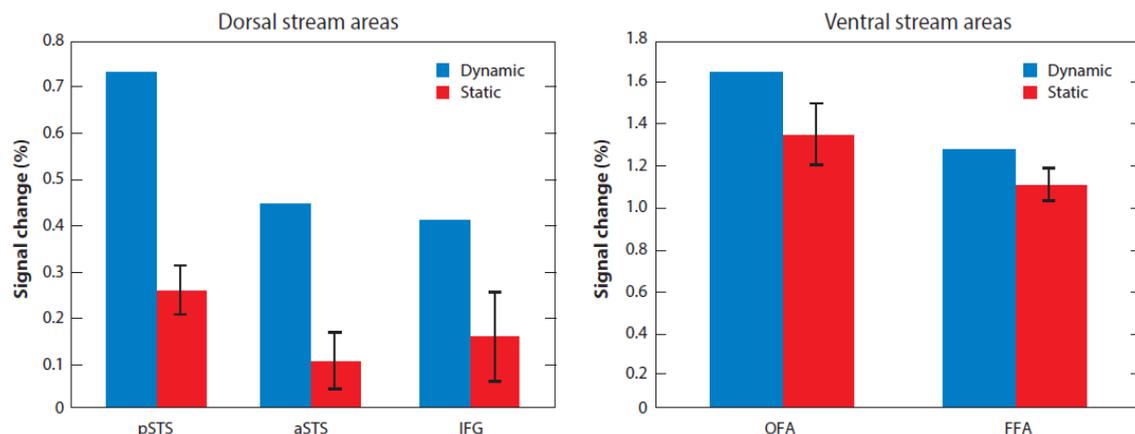


Figura 5 Pitcher et al., (2011) Risposta a volti statici e dinamici in cinque aree selettive per i volti

L'utilizzo di localizzatori dinamici ha permesso di osservare l'attivazione di pSTS molto più facilmente rispetto agli stimoli classici utilizzati per identificare le regioni selettive per i volti.

Grazie a questa metodologia sono inoltre state identificate nuove aree corticali (figura 6) sensibili agli aspetti dinamici dei volti utilizzando dei video contenenti movimenti del volto (localizzazione dinamica). Le due nuove sezioni corticali selettive per i volti che

sono state aggiunte alla via ventrale sono: il solco temporale superiore anteriore (aSTS) e il giro frontale inferiore (IFG). La risposta di queste due aree alla stimolazione tramite video di volti è simile a quella che è possibile osservare in pSTS. Questi studi (Fox et al., 2009) (Pitcher et al., 2011), ci permettono di affermare che le aree dorsali selettive per i volti siano accordate sui movimenti del volto.

Altre ricerche precedenti (Grossman et al., 2000) hanno approfondito l'implicazione di queste aree nei corpi in movimento mentre OFA e FFA rispondono in modo abbastanza simile a stimoli sia statici che dinamici.

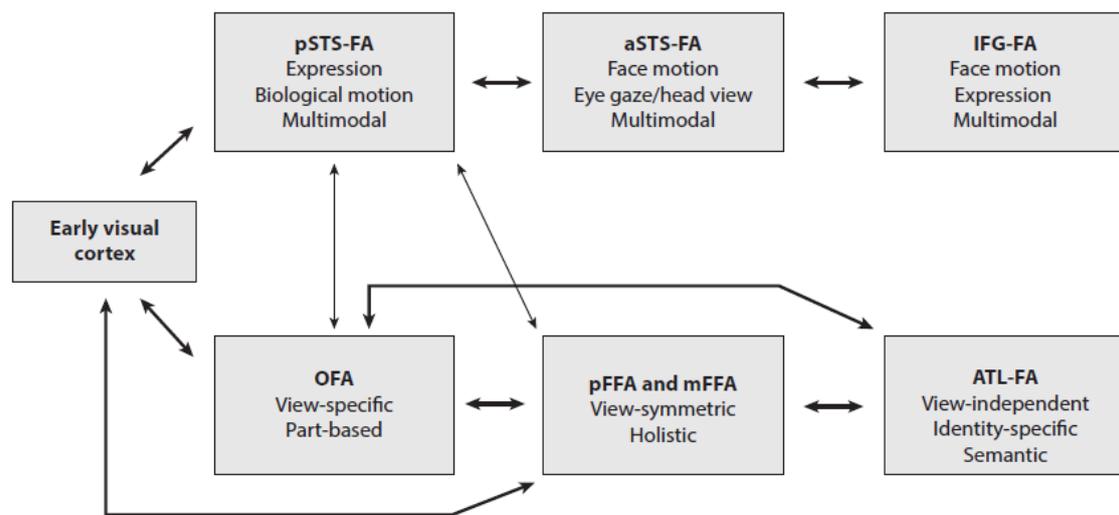


Figura 6 Duchaine & Yovel, (2015) Revisione dei ruoli e delle connessioni del network selettivo per i volti

L'area aSTS ha mostrato reattività per i volti in due studi che utilizzano la localizzazione dinamica (Fox et al., 2009; Pitcher et al., 2011). In precedenza, non era mai stata individuata come area selettiva per i volti perché la sua risposta ai volti statici è paragonabile a quella per gli oggetti (ibidem).

In uno studio *multi-voxel-pattern-analysis* (MVPA) che ha utilizzato immagini di volti, è stato osservato che aSTS codifica per la direzione del movimento oculare (Calder et al., 2007; Carlin et al., 2011).

Fox et al., (2009) e Pitcher et al., (2011) hanno scoperto che un'area prefrontale selettiva per i volti può essere trovata utilizzando stimoli contenenti volti dinamici, inserendola di fatto all'interno del *network* dorsale che elabora le espressioni facciali e i volti dinamici trovato in STS.

Lo studio condotto da Chan & Downing, (2011) ha studiato la possibilità di un'area prefrontale selettiva per i volti dal punto di vista funzionale, in modo sistematico.

Hanno potuto osservare che IFG quando viene stimolato dalla visione di occhi mostra un'elevata attivazione e che non mostra nessun'attivazione se esposto a volti senza occhi a differenza di FFA. Si ipotizza che IFG possa essere deputata all'elaborazione di

informazioni relative alla direzione dello sguardo e al movimento degli occhi, data la sua prossimità al campo frontale degli occhi (ibidem).

Tutte queste evidenze su aree deputate all'elaborazione di espressioni emotive si collegano all'esistenza di meccanismi sottostanti deputati all'attribuzione di un significato emozionale alle espressioni percepite che saranno approfonditi nel paragrafo successivo.

1.2. La comprensione delle emozioni attraverso la simulazione sensorimotoria

*“Quando desidero scoprire quanto sia saggio, o stupido, o buono, o malvagio qualcuno, o quali siano i suoi pensieri al momento, modello l'espressione del mio volto, il più accuratamente possibile, in accordo con l'espressione del suo, e poi aspetto di vedere quali pensieri o sentimenti sorgano nella mia mente o nel mio cuore, come se si accordassero o corrispondessero con l'espressione. (Edgar Allan Poe, 1975 *The Purloined Letter*, pp.215 -216)”*

In questa sezione andremo ad analizzare nello specifico i meccanismi che regolano l'associazione delle espressioni facciali elaborate dalle aree del *network* della via dorsale agli stati emotivi sottostanti e che permettono la comprensione delle espressioni facciali altrui che comunicano il loro stato emotivo. Uno dei possibili meccanismi che permettono tale comprensione è stato ipotizzato sia la simulazione sensorimotoria.

Le emozioni sono configurate come meccanismi biologicamente programmati e funzionali a rispondere a stimoli rilevanti. Svolgono il compito di coordinare i comportamenti, le funzioni cognitive (ad esempio, attenzione, percezione, cognizione, motivazione) e sono mediate da risposte corporee (ad esempio, ormoni, sistema nervoso autonomo, organi sensoriali, movimenti muscolari) (Panksepp, 2005).

Se il cervello si è sviluppato per permettere al corpo di muoversi attraverso lo spazio in modo coordinato (Wolpert et al., 2003), allora le emozioni si sono evolute per svolgere la funzione di organizzare e dirigere la risposta in modo che possa risultare adattiva e utile ad ottenere obiettivi di sopravvivenza (Lench et al., 2015).

Tra tutti il senso maggiormente utilizzato e quindi sviluppato da noi esseri umani è la vista. La nostra abilità di ricavare informazioni dalle espressioni del volto può essere parzialmente attribuita alla nostra specializzazione visiva (Pollak et al., 2009).

Il movimento e le espressioni di emozioni attraverso il volto rapiscono automaticamente la nostra attenzione (Haxby et al., 2000). Le emozioni si attivano in specifici contesti e ci forniscono la capacità di rispondere a specifici eventi.

Nel corso della vita capita molte volte di trovarsi all'interno di questi contesti e di venire esposti più volte alle stesse espressioni, che nel tempo acquisiscono familiarità dato che sono costituite da schemi facciali che ricorrono frequentemente. Estrarre sistematicamente i *pattern* delle espressioni facciali ci permette di sviluppare un bagaglio concettuale sulle emozioni che utilizziamo al fine di riconoscerle (Marchi & Newen, 2015). Sicuramente la contestualizzazione delle emozioni costituisce un indizio importante per potervi attribuire un significato. Oltre a questa modalità un'altra strategia implicita utilizzata dagli individui per comprendere le emozioni è la simulazione sensorimotoria. Per elaborare un'espressione facciale, il soggetto percettore attiva involontariamente gli stessi processi neurali, motori e somatosensoriali che contribuiscono alla produzione della stessa espressione facciale. Si genera quindi un meccanismo di simulazione al fine di riprodurre lo stato emotivo altrui, consentendo a chi la percepisce, nel caso in cui i due stati corrispondano, di dedurre in modo rapido e accurato ciò che l'esprimente sta provando. (Wood, et al. 2016).

Questa attivazione motoria si suppone che produca un effetto cascata di attivazione delle altre componenti nervose coinvolte nella caratterizzazione e particolarizzazione dell'emozione che inconsciamente si sta riproducendo, le quali permettono all'individuo che sta inconsapevolmente simulando di confrontare lo stato interno dell'altro. (Wood et al., 2015).

In una versione alternativa, in cui viene aggirata l'attivazione della muscolatura facciale, la simulazione contribuisce al riconoscimento delle emozioni tramite un circuito "come se" (*as if loop*). In questa versione l'attività prodotta nelle corteccie premotoria e motoria primaria non causerebbe necessariamente un'attivazione della muscolatura facciale. Sarebbe sufficiente l'attività corticale senza bisogno della mimica per riprodurre uno stato emotivo con cui effettuare il confronto.

1.2.1. La mimica facciale

Un aspetto estremamente rilevante per il funzionamento della simulazione sensomotoria è la mimica facciale, ovvero la tendenza ad imitare le espressioni delle persone con cui interagiamo. Questa permette di comprendere lo stato emotivo di altri individui riproducendo l'espressione facciale. Quando ci capita di osservare qualcuno esibire

un'espressione la riproduciamo automaticamente attraverso il nostro volto (Krumhuber et al., 2014).

La mimica potrebbe costituire un effetto *spillover* (tracimazione/concatenazione/effetto a cascata) della simulazione sensorimotoria; ovvero quando l'intensità della simulazione supera una certa soglia dovrebbe ottenere come effetto di innescare la mimica anche se l'intensità della mimica facciale è un indicatore grezzo poiché l'assenza di mimica non significa assenza di simulazione (Wood et al., 2016).

La mimica emozionale può essere definita sulla base di quattro criteri.

1. Primo, due persone mostrano espressioni di emozioni corrispondenti.
2. Secondo, queste espressioni avvengono rapidamente una dopo l'altra.
3. Terzo, l'espressione emozionale di colui che sta mimando deriva da quella di chi viene mimato.
4. Quarto, l'espressione emozionale mimata riflette una condivisione dell'espressione emozionale originaria e quindi la mimica implica una condivisione della prospettiva emotiva dell'altra persona e non una semplice reazione (Hess & Fischer, 2014).

Il grado di affiliazione dell'osservatore nei confronti di chi sta mostrando l'espressione determina la probabilità che la mimica venga espressa (Weyers et al., 2009). Hess e colleghi (2014), suggeriscono che la mimica sia basata sul significato contestuale e sull'interpretazione delle intenzioni emotive dell'altro, interpretate sulla base della relazione, per cui un'espressione accigliata di un amico o di un insegnante potrà trasmettere un'emozione differente. I contesti emotivi e affiliativi attivano automaticamente l'intenzione di condivisione e comprensione reciproca, aumentando la probabilità di imitare le emozioni degli altri, la somiglianza percepita, il gradimento, la fluidità dell'interazione e il comportamento prosociale (Lakin & Chartrand, 2003). Più l'osservatore dimostra interesse verso lo stato emotivo dell'altro, perché è attratto dall'altra persona o perché appartiene allo stesso gruppo, più è probabile che possa esserci la mimica (Thibault et al., 2006). L'ipotesi di base per la comprensione delle emozioni è che l'imitazione delle espressioni produca un *feedback* che suscita uno stato emotivo corrispondente nell'osservatore. Questo stato emotivo fornisce un input che facilita il riconoscimento delle emozioni altrui (Hess & Fischer, 2013). La mimica facciale sarà più facilmente misurabile se il soggetto che la mette in atto ha stabilito un contatto visivo con

la persona; questo è un indicatore della rilevanza dell'espressione emotiva per il soggetto che sta percependo (Rychlowska et al., 2012).

Il blocco o la riduzione della mimica facciale deteriora il riconoscimento delle espressioni facciali delle emozioni. Se il viso non può muoversi come dovrebbe a causa del blocco della mimica, capire le emozioni dalle espressioni diventa difficile perché il segnale inviato dalle cortecce motorie per muovere il viso non corrisponde correttamente con quello che ci si aspetterebbe di vedere (Wood et al., 2016). Il blocco della muscolatura facciale è in grado di diminuire l'intensità dell'esperienza emozionale vissuta. La paralisi temporanea del muscolo corrugatore, che si attiva solitamente durante un'espressione di rabbia, o più in generale durante uno stato di umore negativo, tramite l'iniezione in piccole quantità della tossina botulino, provoca una riduzione dei sintomi della depressione (Finzi & Rosenthal, 2014; Wollmer et al., 2012) e l'attivazione dell'amigdala durante imitazioni dell'espressione intenzionali (Hennenlotter et al., 2009).

Alcuni pazienti affetti da cecità corticale unilaterale mostrano comunque l'attivazione della mimica facciale e cambiamenti fisiologici tipici dell'attivazione emotiva quando vengono presentate espressioni facciali che loro potevano tramite la parte del campo visivo funzionalmente cieca. Le risposte sull'emozione corretta erano significativamente maggiori del caso (davano risposte corrette per più del 50% delle casistiche) e non erano significativamente peggiori delle risposte corrette per espressioni presentate nel campo visivo integro. Questa evidenza supporta il funzionamento della mimica fuori dal campo della coscienza (Tamietto et al., 2009).

1.2.2. Il feedback facciale, la simulazione, la modulazione delle emozioni e il riconoscimento delle espressioni

Come abbiamo accennato, la produzione di un'espressione facciale causa un *feedback* che è in grado di modulare la nostra esperienza emozionale; un sorriso può essere capace di aumentare la felicità percepita (Price & Harmon-Jones, 2015).

Le espressioni facciali possono attivare altre componenti fisiche che caratterizzano l'espressione emozionale come, per esempio, la dilatazione pupillare (un indice di attivazione del sistema nervoso autonomo); (Lee et al., 2013).

L'attivazione di alcuni meccanismi della simulazione tramite un effetto a cascata è capace di attivare anche le altre componenti che caratterizzano i meccanismi emozionali. Di conseguenza l'intensità, la precisione e il dettaglio con la quale si cerca di riprodurre, l'espressione facciale di un individuo determina se l'attivazione muscolare sarà in grado di superare la soglia minima di attivazione delle cortecce motorie e somatosensoriali e

coinvolgere anche altri aspetti dei sistemi emotivi nel cervello del soggetto percettore. Questa potrebbe essere la base su cui si fonda la, particolare, capacità umana di riconoscere i *pattern* delle espressioni facciali (figura 7) (Niedenthal et al., 2010).

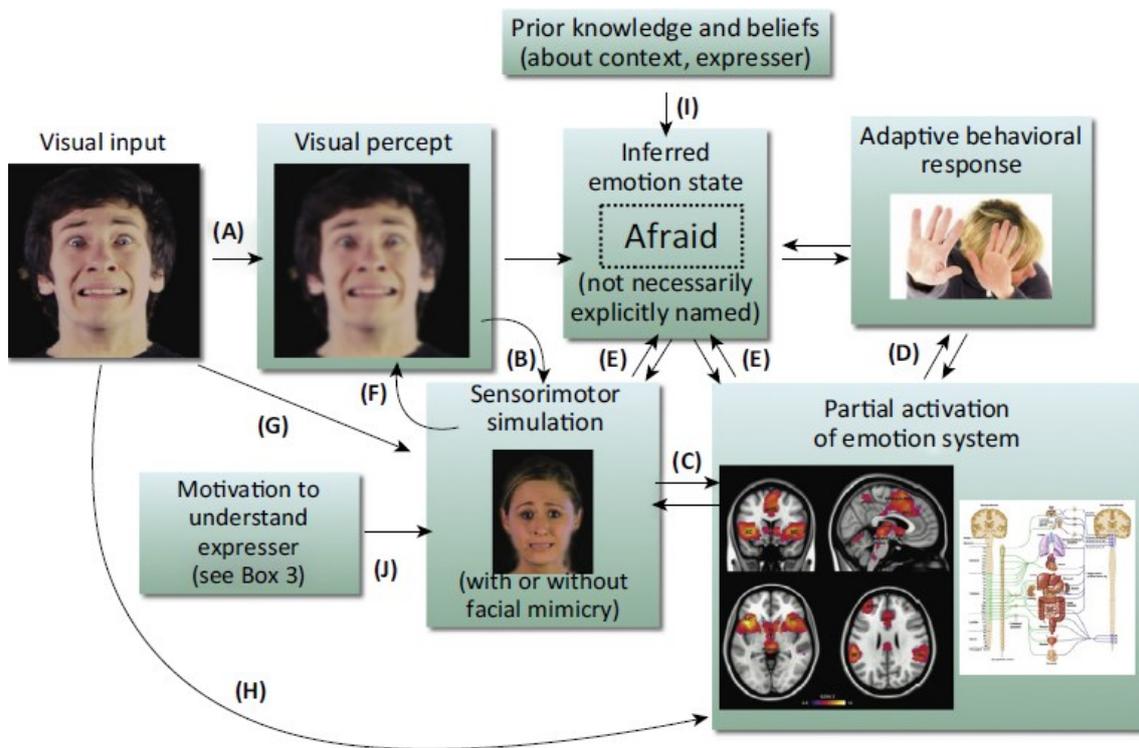


Figura 7 (Wood et al., 2016) La simulazione ed il riconoscimento delle espressioni facciali

I risultati di importanti ricerche sostengono la supposizione che la simulazione sensorimotoria dia un contributo sostanziale nell'accuratezza e nel riconoscimento di elementi specifici delle emozioni come la valenza, l'intensità e l'intenzionalità trasmesse dall'espressione facciale (Künecke et al., 2014; Ipser & Cook, 2016; Hyniewska & Sato, 2015; Lobmaier & Fischer, 2015; Rychlowska et al., 2014; Korb et al., 2014).

La simulazione sensorimotoria è capace di operare come meccanismo che può supportare il processamento delle emozioni nonostante la mancanza della percezione visiva consapevole (Tamietto et al., 2009).

Se la connessione tra la percezione di espressioni facciali e simulazione sensorimotoria risulta fortemente incrementata o inibita, allora le differenze individuali nell'abilità di percepire le emozioni possono emergere; per esempio, persone con *mirror-touch synesthesia* hanno dichiarato, di avere vissuto l'esperienza di una simulazione sensorimotoria esagerata e hanno mostrato un'intensa attività a livello delle cortecce sensomotorie quando osservano altri individui mentre questi vengono toccati (Blakemore et al., 2005). I sinestetisti rispondono in modo più preciso rispetto ai partecipanti di

controllo quando gli viene chiesto di riconoscere delle espressioni facciali, probabilmente perché il loro *feedback* sensorimotorio è amplificato (Banissy et al., 2011).

Un altro aspetto rilevante è stato analizzato da uno studio (figura 8) che ha paragonato i deficit nella mimica facciale e nella capacità emozionale posseduta tra bambini e adolescenti, differenziati anche in base al genere, legandoli alla quantità di tempo per cui è stato utilizzato il ciuccio durante l'infanzia (Niedenthal et al., 2012).

Maggiore è la quantità di tempo per cui i maschi hanno tenuto il ciuccio, meno frequenti sono le situazioni nelle quali viene attivato naturalmente il meccanismo di mimica e minore sarà il grado di intelligenza emotiva che arriveranno a manifestare anni dopo.

Un aspetto molto curioso è che tale correlazione negativa non produce nessun effetto sul genere femminile; l'utilizzo del ciuccio non intacca l'intelligenza emotiva delle donne.

La differenza viene probabilmente causata dal fatto che durante un periodo critico per lo sviluppo della muscolatura facciale il suo ripetitivo blocco causato dall'utilizzo del ciuccio rallenta molto gli uomini nella maturazione riguardante le espressioni facciali emotive (ibidem). All'età di 12 mesi le bambine in media sono superiori ai loro corrispettivi maschili nella comprensione e nell'utilizzo delle emozioni che vengono espresse da chi si prende cura di loro (Mumme et al., 1996; Rosen et al., 1992). Inoltre, è possibile notare, facendo riferimento agli stereotipi e alle categorie di genere che proprio in questo periodo vengono formandosi, che alle bambine si parla molto più frequentemente di emozioni rispetto a quanto lo si faccia con i bambini (Fivush et al., 2000).

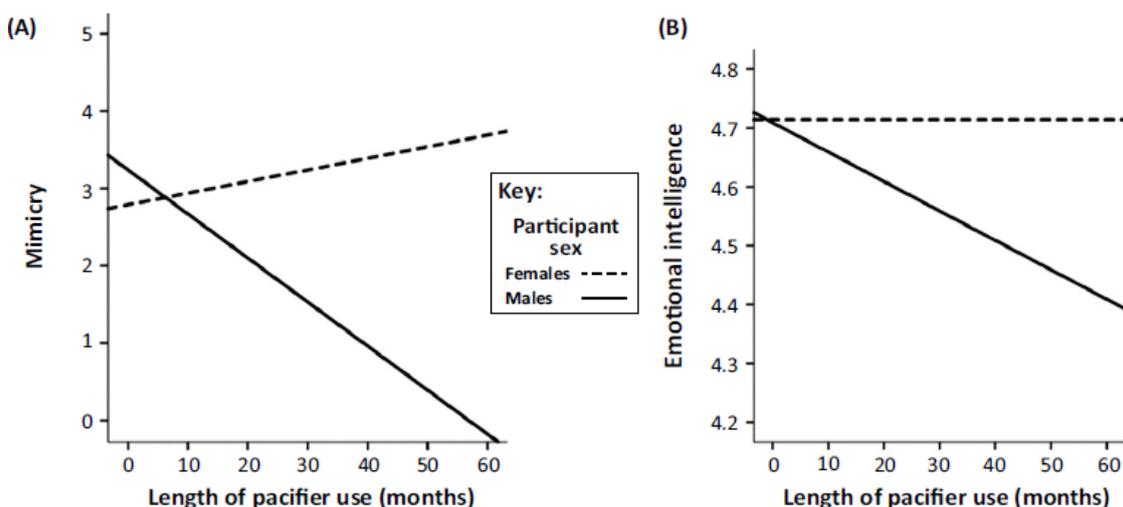


Figura 8 (Niedenthal et al., 2012) Uso prolungato del pacifier danneggia la mimica facciale e l'elaborazione delle emozioni sia dell'utilizzatore che dell'osservatore

Tale studio suggerisce come l'utilizzo prolungato nel tempo durante l'infanzia sia capace di inibire, tramite il blocco della muscolatura facciale, la simulazione sensorimotoria

all'interno di un periodo critico per lo sviluppo di tale meccanismo causando importanti conseguenze sulla capacità di processare le emozioni (Rychlowska et al., 2014).

Una domanda molto attuale ed interessante che ancora non ha una risposta definitiva riguarda la possibilità che mimica facciale e simulazione, così utili per l'elaborazione delle emozioni, possano essere allenate al fine di tentare di consolidare l'intelligenza emotiva. Dato che come sostenuto fino ad ora sia la mimica che le espressioni facciali sono involontarie, cercare di produrre un'espressione facciale come anche cercare di mimarla volontariamente sono sfide estremamente impegnative, come si può notare dall'importante differenza che c'è tra le espressioni facciali artificiali e quelle naturali (Krumhuber & Manstead, 2009). Un livello molto elevato di controllo muscolare facciale *top-down* potrebbe addirittura interferire con la simulazione sensorimotoria spontanea e alterare il riconoscimento delle emozioni, perché le vie nervose che mediano il controllo volontario e involontario della muscolatura facciale sono differenti e in concorrenza tra di loro (Hopf et al., 1992).

1.2.3. I modelli simulazionisti del riconoscimento delle emozioni basato sull'elaborazione dei volti

Il compito che prevede l'attribuzione delle emozioni sulla base delle espressioni facciali percepite è sostanzialmente differente rispetto agli altri compiti di attribuzione di stati mentali (intenzioni, motivazioni, desideri, valori e credenze sulla base dei comportamenti) afferenti alla Teoria della Mente.

La capacità di leggere le emozioni ha un ruolo fondamentale nella sopravvivenza degli individui. Dunque, occupandosi di tipologie di stati mentali differenti, i meccanismi del riconoscimento delle emozioni basato sulle espressioni del volto non possono essere estrapolati dagli altri compiti di attribuzione di stati mentali (Goldman & Sripada, 2005).

L'idea centrale della teoria della simulazione è che il soggetto che opera l'attribuzione, per generare uno stato mentale da confrontare con quello dell'individuo che subisce l'attribuzione, lo sta riproducendo mettendolo in atto tramite il suo stesso corpo. Tenta di ricreare lo stato mentale bersaglio cercando di attivarne uno più simile possibile a quello che sta vivendo il bersaglio. Se la persona vuole attribuire una decisione futura ad un target, questa cercherà di ripercorrere lo stesso processo decisionale utilizzando il risultato per valutare la decisione che il target potrebbe prendere.

Il test dello stato ottenuto come risultato del processo di simulazione viene effettuato osservando congruenze e discrepanze con lo stato del soggetto bersaglio. Come la simulazione viene utilizzata per attribuire uno stato mentale dipende dal legame causale

tra le azioni del soggetto e le conoscenze dell'osservatore. La connessione causale può essere di due tipologie: Caso A: il soggetto che vuole attribuire lo stato mentale è a conoscenza di alcuni stati/attitudini/preferenze pregressi/e del target (desideri o credenze) e vuole provare predire il risultato mentale di questi stati (una decisione); qui sono gli eventi manifesti che causano lo stato mentale. Caso B: il soggetto che sta attribuendo osserva un comportamento del bersaglio (un'espressione facciale) e cerca di capire quale stato mentale ha provocato questo comportamento; in questo caso è lo stato mentale che causa gli eventi. Nel caso del processamento delle emozioni basato sul riconoscimento delle espressioni facciali siamo in una casistica del tipo B.

Lo stato emotivo target causa l'espressione facciale che noi possiamo osservare e questa è l'evidenza usata dall'attributore per identificare lo stato mentale antecedente (ibidem).

Modello numero uno: Generate and test model (figura 9).

Il soggetto che sta attribuendo ipotizza una certa emozione come la causa di una determinata configurazione facciale e successivamente aziona quell'emozione cercando

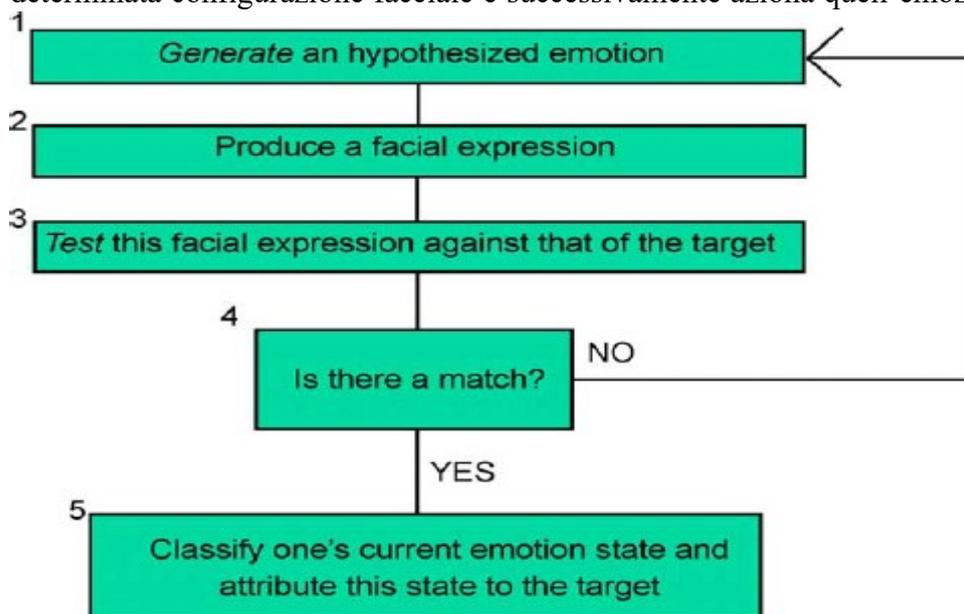


Figura 9 (Goldman & Sripada, 2005) Generate and test simulation

di replicarla dentro di sé. Dopodiché lascia che questa emozione produca la sua espressione facciale naturale o invii gli impulsi alle aree nervose motorie per attivare l'espressione più coerente con lo stato interno. Se l'espressione facciale corrisponde con quella del target allora l'emozione ipotizzata è confermata (ibidem).

Modello numero 2: Reverse simulation model (figura 10)

L'idea alla base della simulazione inversa è che il soggetto che sta attribuendo lo stato emotivo impiega uno dei suoi processi mentali nella direzione inversa in modo da attribuire al target uno stato mentale temporalmente precedente rispetto allo stato mentale che serve come evidenza per l'attribuzione. Nella maggior parte dei casi in cui si ricorre alla simulazione, la simulazione inversa ha un errore logico: la normale direzione in avanti dei processi mentali impedisce che questi processi possano essere utilizzati in senso inverso. Tuttavia, può esserci un'importante eccezione nel caso dell'elaborazione

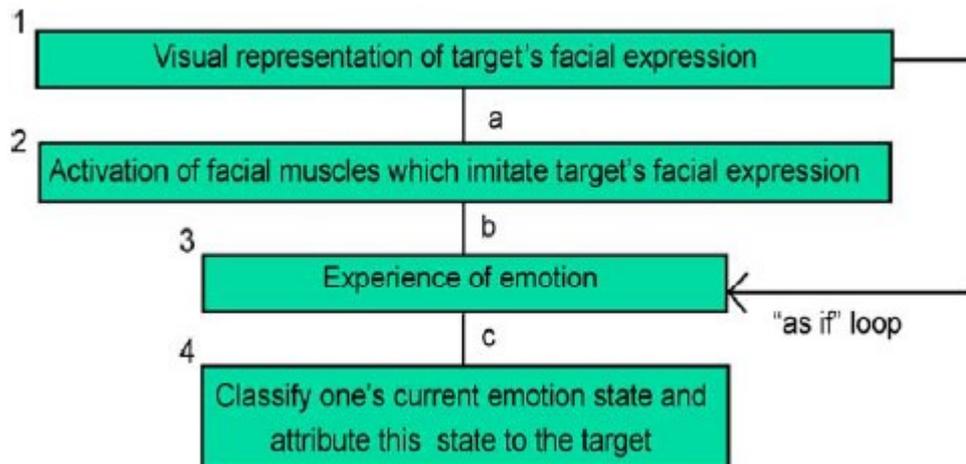


Figura 10 (Goldman & Sripada, 2005) Reverse simulation

delle emozioni basata sul riconoscimento delle espressioni del volto (Goldman & Sripada, 2005). La normale consequenzialità delle operazioni prevede che lo scatenarsi di un episodio emotivo faccia concatenare tra di loro una serie di cambiamenti cognitivi e fisiologici, includendo nel caso delle emozioni di base, un'espressione facciale caratteristica (Ekman, 1992). Nel riconoscimento delle emozioni basato sull'elaborazione delle espressioni facciali sono state trovate convincenti evidenze che le espressioni possano generare l'attivazione degli schemi emotivi ed esse corrispondenti.

Modello numero tre: Reverse simulation with "as if loop"

Adolphs e colleghi., (2000) basandosi sul lavoro svolto da (Damasio, 1994) hanno supposto che potrebbe esserci un link diretto tra la rappresentazione visiva dell'espressione facciale del target e la rappresentazione somatosensoriale di come dovrebbe far sentire l'osservatore riprodurre quell'espressione.

Questa connessione visuo-somato-sensoriale diretta dovrebbe essere la base di una via nervosa indipendente che sorpassa la muscolatura facciale e permette all'osservatore di produrre direttamente uno stato emotivo corrispondente con l'espressione facciale mostrata dal target.

Modello numero quattro: *unmediated resonance model*

In questo modello, saltando tutti i passaggi intermedi, l'osservazione diretta del volto del target, senza nessuna delle strutture mediatrici dei tre modelli precedenti, provoca l'attivazione sottosoglia dello stesso substrato neurale associato all'emozione corrispondente. Questa idea viene sostenuta da Wicker et al., (2003) quando parla della condivisione automatica da parte dell'osservatore, dell'emozione mostrata dal target.

Il presente modello sarebbe in linea coi risultati riguardanti il sistema di *mirroring* trovato sia nei macachi che negli esseri umani, grazie al quale le rappresentazioni delle azioni normalmente attivate per produrre il movimento si attivano anche mentre osserviamo qualcuno che compie lo stesso movimento (Rizzolatti et al., 2001).

Infine, il modello assume che, la produzione o la percezione di un'azione certamente vengono trasmesse ad un qualche centro cognitivo che riconosce l'emozione vissuta portando alla sua classificazione cosciente tramite l'attribuzione di un'etichetta e l'espressione verbale come quel tipo di emozione.

CAPITOLO 2 La corteccia somatosensoriale e l'elaborazione delle emozioni e delle espressioni facciali

2.1 Le basi neurali della simulazione sensorimotoria

Il riconoscimento visivo di un'espressione facciale, oltre a essere mediato dalle cortecce visive richiede l'attivazione delle aree motorie e somatosensoriali, evidenziando la stretta connessione tra la percezione, l'esperienza diretta e la simulazione sensorimotoria. Questa è stata ipotizzata a partire dalla stretta vicinanza anatomica a livello corticale tra le aree deputate allo svolgimento di queste funzioni. Sostanzialmente la sovrapposibilità funzionale di queste aree nervose ha portato a supporre che la capacità di vivere direttamente un'esperienza sensoriale, la percezione di un'esperienza sensoriale che sta vivendo un altro individuo e la simulazione di tale esperienza senza metterla in atto concretamente siano tre processi strettamente interconnessi e interdipendenti tra di loro (Decety & Grèzes, 2006; Case et al., 2015).

L'idea che la corteccia somatosensoriale sia implicata nell'elaborazione di espressioni facciali è stato dimostrato da diversi studi, che si sono avvalsi di tecniche diverse e complementari. In Adolphs, et al. (2000) vengono somministrati tre compiti diversi con lo scopo di valutare il riconoscimento e la capacità di nominare le sei emozioni di base a partire dalle espressioni dei volti. Questo compito è stato somministrato a 108 partecipanti con lesioni cerebrali che sono state analizzate in relazione alla compromissione della

capacità di svolgere il compito. Le analisi della densità volumetrica hanno permesso di localizzare regioni specifiche in cui la lesione era significativamente associata all'incapacità di performare. Le regioni individuate sono appartenenti al *network* delle zone corticali connesse alla somatosensoriale destra. Pitcher et al. (2008), in uno studio TMS, hanno osservato che un impulso inibitorio rilasciato sulla corteccia somatosensoriale in una finestra temporale che va dai 130 ms ai 180 ms dall'*onset* (somministrazione) dello stimolo visivo, inibiva la capacità di riconoscimento dell'espressione facciale. Nella stessa direzione si è visto che l'inibizione della corteccia motoria primaria e della corteccia somatosensoriale in individui di genere femminile sembra causare la riduzione della mimica facciale spontanea e ostacolare il riconoscimento delle espressioni facciali (Korb et al., 2015).

La comprensione e la produzione delle espressioni facciali sono abilità strettamente interconnesse tra di loro. Data la sovrapposibilità tra le aree deputate alla percezione, all'esperienza diretta e alla progettazione del movimento (del volto, ma anche di tutto il resto del corpo) il nostro cervello ha dovuto sviluppare delle strategie per potere distinguere funzionalmente questi tre processi tra di loro e per evitare la sinestesia, distinguendo tra quello che avviene all'interno del corpo, quello che avviene a qualcun'altro e la simulazione motoria del movimento senza metterla in pratica. Il cervello che muove il corpo nello spazio deve costantemente confrontare i movimenti pianificati con i movimenti effettuati per effettuare tutte le correzioni necessarie tramite i *feedback* (positivi o negativi) inviati dai muscoli e i *feedforward* (che implementano variazioni nei programmi muscolari) (Seidler et al., 2004). I modelli più recenti che spiegano i processi sottostanti al movimento attribuiscono un ruolo centrale all'integrazione sensomotoria nella pianificazione e nell'esecuzione del movimento (Flanders, 2011; Requarth et al., 2014). Il cervello non si affida esclusivamente alla lenta e dispendiosa lettura del feedback sensoriale, ma la integra con le copie degli schemi di movimento prodotte dalle scariche in uscita necessarie al corretto funzionamento dei comandi motori. Queste copie delle scariche che forniscono supporto all'attivazione motoria in uscita hanno lo scopo di integrare il monitoraggio dello stato dell'organismo e dello stato corporeo e sostengono attivamente gli input sensoriali attesi. Gli input previsti vengono regolarmente comparati e sottratti a quelli motori realmente ottenuti in diverse parti del cervello: nella corteccia, a livello sottocorticale e nelle vie discendenti che partono dal tronco encefalico. Il funzionamento di questo meccanismo supporta la

regolazione adattiva che consente di distinguere gli stimoli interni (sbattere contro un oggetto) dagli stimoli esterni (venire colpiti da un oggetto esterno) (Wood et al., 2016). Una delle ipotesi formulata dagli esponenti della simulazione sostiene che il sistema motorio proprio dell'organismo permette di avere delle rappresentazioni condivise (pattern di attivazione neurale sovrapponibili) per la produzione, l'osservazione e l'immaginazione di azioni (Lench et al., 2015; Case et al., 2015; De Vignemont, 2014). La simulazione sia di azioni compiute direttamente, che dell'osservazione del tocco (due persone che si abbracciano) influenza e viene influenzata dallo stato motorio e somatosensoriale della persona stessa nella gestione del controllo motorio, delle risposte fisiologiche e delle rappresentazioni consapevoli (Case et al., 2015). Al fine di non confondere le azioni compiute da quelle osservate o immaginate, il cervello deve poter effettuare una precisa distinzione tra la simulazione dell'espressione facciale di un altro individuo e l'attivazione della muscolatura interna al suo sistema corporeo. La simulazione attivata dall'osservazione dell'espressione facciale di un individuo, che a catena viene supportata dall'attivazione supplementare (vicaria) dei sistemi motori e somatosensoriali può essere parzialmente inibita o essere attribuita ad uno stimolo esterno appartenente ad un altro soggetto, tramite funzioni svolte dalle aree parietali e frontali (Brass et al., 2005). Basandosi sull'osservazione che, a seguito della perdita di un arto (sindrome dell'arto fantasma), l'attivazione motoria/somatosensoriale risulta amplificata, è stato suggerito che sia il feedback proveniente della periferia del corpo stesso ad inibire la simulazione (Case et al., 2015). Meccanismi inibitori di questo tipo permettono al soggetto che sta percependo di confrontare l'attivazione attuale con processi sensomotori preesistenti favorendo la comprensione delle espressioni facciali altrui senza arrivare alla *mirror-touch-synesthesia* che sarebbe maladattiva avendo un effetto confondente per il cervello su chi sia il soggetto che sta vivendo l'attivazione/emozione (Blakemore et al., 2005).

2.2 Sovrapposizione/Associazione tra deficit di produzione delle emozioni e difficoltà nel riconoscimento delle espressioni facciali

In altri studi neuropsicologici in cui sono stati coinvolti pazienti affetti da una lesione bilaterale dell'amigdala è stato studiato il legame esistente tra il riconoscimento e la capacità di sperimentare le emozioni (Adolphs et al., 1995; Adolphs et al., 1999). Questi studi sono partiti dall'idea, ormai largamente dimostrata, che l'attivazione dell'amigdala stia alla base delle risposte difensive, della risposta a stimoli minacciosi, della

conservazione in memoria delle emozioni legate agli eventi che suscitano reazioni di paura (LeDoux, 1993). Una di questi pazienti, SM, una donna di 30 anni affetta dalla sindrome di Urbach-Wiethe, una malattia genetica rara, che ha provocato una lesione bilaterale dell'amigdala, all'osservazione, reagisce in modo innaturale agli stimoli minacciosi e non manifesta alcuna attivazione del sistema di allarme. Damasio, (1999) ha affermato che: *“SM non vive l'esperienza della paura allo stesso modo in cui la vivremmo tu o io in una situazione che la indurrebbe normalmente. Ad un livello puramente intellettuale lei sa cosa la paura dovrebbe essere, cosa dovrebbe causarla e come qualcuno reagirebbe in situazioni paurose, ma poco o niente di questa conoscenza teorica è di alcuna utilità per lei nel mondo reale. La sua natura impavida, che è il risultato della lesione bilaterale dell'amigdala, ha impedito che lei apprendesse durante il corso della sua vita, il significato delle situazioni spiacevoli da cui tutti noi siamo passati attraverso”* (Damasio, 1999). Questo ci permette di osservare che la conoscenza concettuale di cosa un'emozione sia non è legata alla capacità di sperimentarla o di riconoscere situazioni che dovrebbero scatenarla, ma che la comprensione delle emozioni sembra essere fortemente connessa alla capacità di esprimerle.

Adolphs et al., (1999) hanno approfondito queste evidenze, inserendo la paziente in un gruppo di soggetti affetti dalla stessa lesione, in modo da potere studiare un campione più ampio. Nei risultati viene riportato che i pazienti rispondono in modo anormale in compiti di riconoscimento delle espressioni facciali paurose, ma anche le risposte ad altri tipi di espressioni emotive come la rabbia risultano occasionalmente anormali.

Lo stesso *pattern* associato ai deficit accoppiati della percezione e dell'esperienza dell'emozione di paura è stato osservato per altre emozioni come il disgusto (Goldman & Sripada, 2005). Rozin et al., (2009) hanno concettualizzato in modo molto interessante il disgusto come l'elaborazione di una risposta filogenetica ancestrale di avversione. Molti aspetti relativi all'elaborazione del gusto che sono stati approfonditi tramite studi sugli animali, hanno permesso di identificare l'insula anteriore come la “corteccia gustativa” (Rolls, 1995).

Phillips et al., (1997) hanno condotto uno studio fMRI per cercare di osservare quali aree nervose sono attive durante l'osservazione di espressioni facciali disgustose. Il risultato più sorprendente è stato l'attivazione dell'insula dell'emisfero di destra, mentre regioni limitrofe come l'amigdala non hanno mostrato nessuna risposta. Sulla base di questi dati hanno concluso che essere esposti a espressioni facciali disgustate o più in generale a

stimoli visivi che trasmettono l'emozione del disgusto è strettamente legato alla percezione/esperienza di odori e sapori sgradevoli.

Alcuni studi di lesione hanno riscontrato anche in questo caso un deficit percettivo/esperienziale associato al riconoscimento di espressioni facciali disgustate (Calder et al., 2000). In particolare, è stato esaminato il caso di NK in cui è stata riportata una lesione sia nell'insula che dei gangli della base. In un questionario che le è stato sottoposto il suo punteggio generale per il disgusto era significativamente più basso rispetto a quello ottenuto dai soggetti assegnati al gruppo di controllo, mentre invece quando è stata testata per emozioni di rabbia e di paura i suoi punteggi non differivano eccessivamente da quelli dei controlli. Quando è stata testata la sua capacità di riconoscere le espressioni facciali disgustate ha mostrato un'incapacità selettiva nel riconoscerle.

Uno tra gli studi più rilevanti per quanto riguarda la simulazione, la sovrapposizione tra percezione ed esperienza e il disgusto è stato condotto da Wicker et al., (2003). Si tratta di uno studio fMRI che è andato ad indagare se ci fosse corrispondenza tra l'attivazione delle aree neurali nel caso dell'esperienza di disgusto vissuta in prima persona e nel caso dell'osservazione delle espressioni facciali disgustate. In due condizioni visive, i partecipanti osservavano video di persone che odoravano il contenuto di un bicchiere che poteva essere piacevole neutro o spiacevole. In due condizioni olfattive, erano i partecipanti stessi ad inalare odori piacevoli o disgustosi tramite delle maschere poste sul loro naso o sulla loro bocca. Il risultato principale ottenuto (figura 11) in questo studio è che l'attivazione dell'insula anteriore sinistra e della corteccia cingolata anteriore avviene sia durante la percezione del disgusto in prima persona che, durante la percezione vicaria, cioè durante l'osservazione dell'espressione facciale di disgusto altrui.

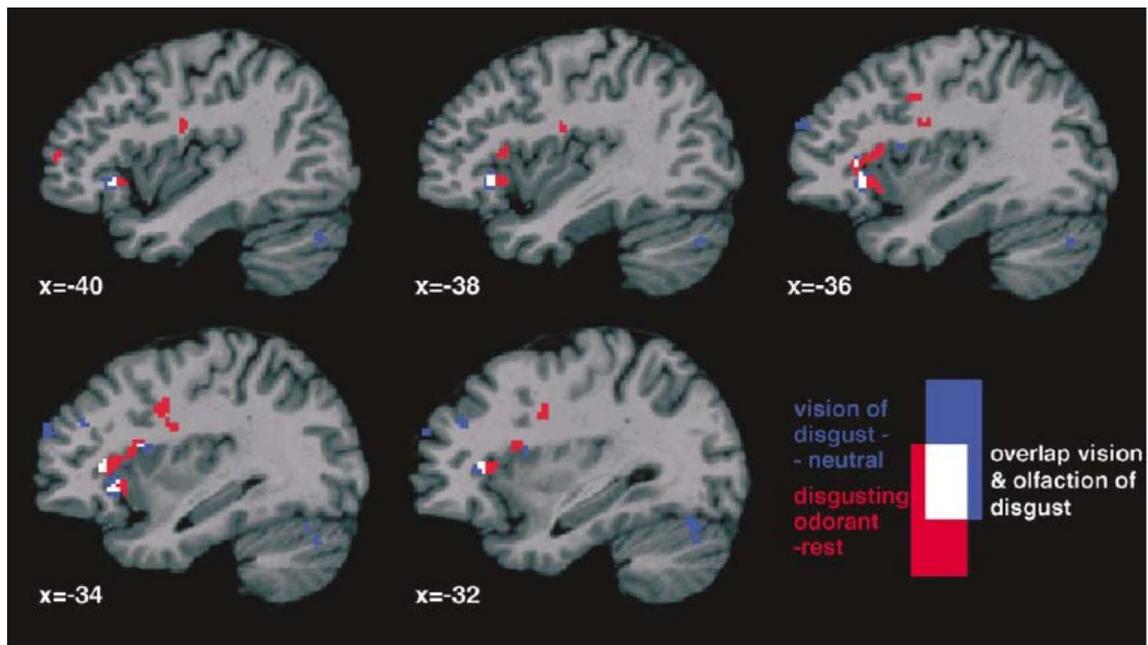


Figura 11 (Wicker et al., 2003) Illustrazione delle sovrapposizioni

Questi dati sembrano quindi supportare l'idea che anche per le emozioni, esista un circuito con proprietà "specchio", che garantisce una corrispondenza neurale - ipotesi del *direct matching* (Rizzolatti et al., 2001) tra l'esperienza propria e altrui.

2.3. Evidenze ERP (potenziali evento relati) a favore di risposte somatosensoriali indipendenti durante il processamento delle espressioni facciali

Come accennato sopra, il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di indagare il ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione delle emozioni, utilizzando la tecnica degli ERP. In questa sezione passerò in rassegna alcuni studi che, avvalendosi della stessa tecnica, possono fornire un'utile introduzione all'esperimento.

Il primo a cui faccio riferimento è uno studio pubblicato da Sel et al., (2014) che porta delle evidenze a favore dell'ipotesi di un coinvolgimento delle cortecce somatosensoriali durante il processamento dei volti non subordinato alla risposta visiva. In questo lavoro, gli autori misuravano direttamente l'attività evocata somatosensoriale (SEP) dei soggetti andando ad indagare lo stato della corteccia somatosensoriale durante un compito di discriminazione tra stimoli emotivi e neutri. Tale tipologia di attivazione durante il processamento del volto fornisce un indice di *internal embodiment* (incarnazione interna/attivazione delle mappe degli stati corporei interni) a supporto dei modelli simulazionisti (Goldman & Sripada, 2005), permettendo un maggiore approfondimento delle proprietà

dell'attivazione delle cortecce somatosensoriali che, ad oggi, sono ancora poco esplorate (Hussey & Safford, 2009).

Non è ancora stato chiarito se l'attivazione della corteccia somatosensoriale prodotta dall'elaborazione dei volti sia sottostante e derivata del processamento precoce delle emozioni che avviene nelle regioni visive o se abbia un ruolo indipendente e autonomo (Pitcher et al., 2008). Per dimostrare il ruolo indipendente di queste aree Sel et al., (2014) ne hanno misurato direttamente l'attivazione durante un compito (figura 12) di discriminazione delle espressioni facciali emotive applicando una stimolazione tattile che causerebbe l'attività somatosensoriale elettrocorticale (Aukstulewicz et al., 2012).

Sono state progettate tre condizioni:

- nella prima vengono somministrati dei volti senza stimolazione tattile (VOC);
- nella seconda oltre alla stimolazione tramite immagini di volti viene applicata una stimolazione tattile al volto (VTFAC);
- nella terza vengono combinate la stimolazione visiva e quella tattile ma in un dito (VTFIC).

Al fine di isolare l'attivazione somatosensoriale da quella causata da regioni visive maggiormente precoci viene registrata e sottratta l'attività puramente visiva da quella causata dalla stimolazione tattile durante l'elaborazione dei volti (Dell'acqua et al., 2003). Inoltre, per cercare di capire se la risposta somatosensoriale riflette un processo specifico o generale è stata aggiunta una condizione di stimolazione tattile del viso (parte del corpo congruente) e di un dito (parte del corpo incongruente). L'uso della TMS per inibire il funzionamento sia di aree visive (OFA destra) che di aree somatosensoriali ha permesso di approfondire la sequenza temporale di attivazione di queste aree nel processamento delle espressioni facciali, con le prime attive tra i 60 e 100 millisecondi e le seconde tra i 100 e i 170 millisecondi (Pitcher et al., 2008).

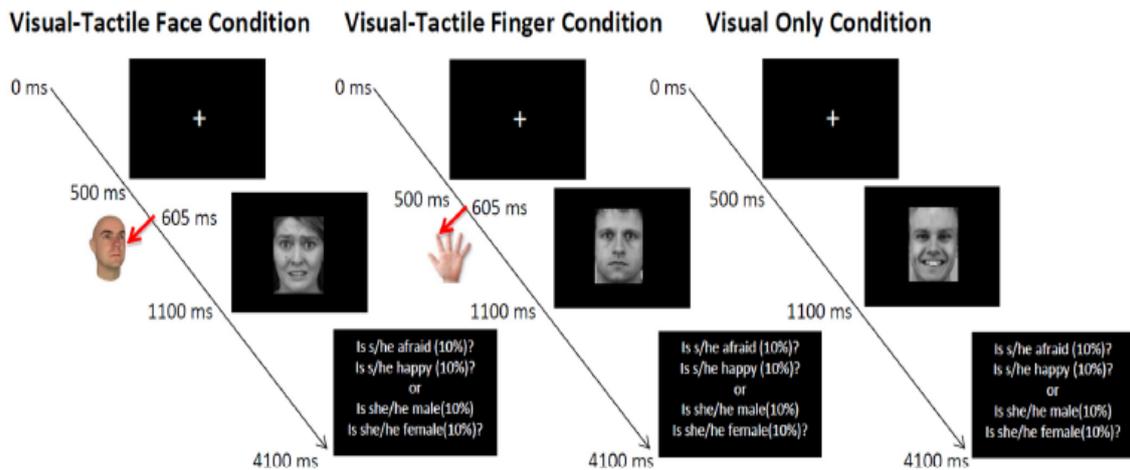


Figura 12(Sel et al., 2014) Timeline of VTFAC, VTFIC and VOC in the emotion gender task.

Se l'attività somatosensoriale in concomitanza del processamento emotivo visivo fosse effettivamente un riflesso dell'attivazione prodotta dall'elaborazione visiva allora i potenziali evocati registrati dalle condizioni con la stimolazione tattile non dovrebbero essere diversamente influenzati dalla valenza emotiva. Per controllare se ci fosse questa differenza sono stati confrontati sia gli effetti delle condizioni visive che gli effetti somatosensoriali di riflesso sia per i volti emotivi che per quelli neutri in assenza della stimolazione tattile.

I risultati mostrano che:

- il compito di discriminazione delle espressioni emotive aumenta sensibilmente l'attività somatosensoriale pura (sottratta all'attività visiva);
- le espressioni emozionali modulano l'attivazione somatosensoriale sia legata alla stimolazione tattile del viso (congruente) sia del dito (incongruente);
- l'attività che permette di distinguere tra l'elaborazione delle espressioni emotive e neutre tramite una ricostruzione di sorgente è stata localizzata nelle cortecce somatosensoriali primarie, secondarie e associative.

Questi risultati forniscono un importante supporto nella direzione che la simulazione emotiva sia realmente *embodied*/incorporata e coinvolge la rappresentazione attuale dello stato del corpo (Keyesers et al., 2010). Basandosi sui risultati di studi con TMS ottenuti da Pitcher et al., (2008), i ricercatori hanno cercato di stimolare la risposta somatosensoriale tra i 100 e i 170 millisecondi successiva all'iniziale elaborazione visiva attivando la stimolazione, sia del viso che delle dita, 105 millisecondi dopo la presentazione visiva dello stimolo. Tramite questa stimolazione è stato possibile osservare una modulazione dell'attivazione evocata somatosensoriale precoce tra i 40 e gli 80 millisecondi quando venivano presentati volti che esprimevano emozioni che invece era assenti se venivano presentati volti neutri. La risposta ottenuta risulta

abbastanza simile sia nella condizione di stimolazione tattile del volto (VTFAC) che in quella di stimolazione tattile delle dita (VTFIC). Ciò supporta l'idea che l'elaborazione delle emozioni sia sostenuta da un'attivazione somatosensoriale diffusa che coinvolge anche le regioni in cui solitamente si collocano le rappresentazioni corticali non facciali (Tamietto et al., 2009). Inoltre, va a favore delle teorie della simulazione che postulano una forte interconnessione tra l'emozione osservata e il corpo dell'osservatore e che la rappresentazione del corpo venga attivata durante la visione di volti emotivi.

Un altro studio (figura 13), appartenente allo stesso filone di ricerche, è andato ad analizzare il reclutamento della rappresentazione corporea nell'elaborazione degli stimoli emotivi in soggetti ASD (*autism spectrum disorder*) (Fanghella et al., 2022). Il disturbo dello spettro autistico è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da atipie nell'elaborazione delle informazioni sensoriali e sociali e da comportamenti e interessi ripetitivi e stereotipati (Shah et al., 2014). Nell'ambito della percezione sociale, gli individui affetti da autismo spesso mostrano difficoltà nel riconoscimento delle espressioni facciali (Loth et al., 2018) cosa che è stata associata a ridotta sensibilità della corteccia visiva alle espressioni emozionali (Martínez et al., 2019).

Alcune evidenze recenti confermano quanto è stato esposto fin qui, ovvero che nei soggetti a sviluppo tipico al di là dell'analisi visiva, la percezione di espressioni emotive attiva una risonanza corporea (Gallese & Sinigaglia, 2018) nelle regioni sensorimotorie che in concatenazione attiva anche i pattern viscerali, somatici, propriocettivi e motori associati all'espressione che si sta' osservando (Goldman & Sripada, 2005).

Questo meccanismo corporeo simulativo opera in modo differente nei soggetti neurodivergenti che vivono nella condizione dell'ASD. Degli studi fMRI hanno messo a confronto ASD e soggetti a sviluppo tipico dimostrando una ridotta risonanza corporea all'osservazione del tocco affettivo (vicario) della corteccia somatosensoriale (Lee Masson et al., 2019) ma anche una ridotta attività nella corteccia premotoria, nell'amigdala e nel giro frontale inferiore durante la percezione di espressioni corporee emozionali dinamiche (Grèzes et al., 2009). Insieme agli studi che dimostrano un ridotto funzionamento del sistema *mirror* negli individui ASD durante l'osservazione e l'imitazione di azioni compiute da altri e durante l'espressione emozionale (Oberman et al., 2005; Greimel et al., 2010) queste evidenze suggeriscono che le problematiche dei soggetti ASD nell'ambito della cognizione socio-emotiva possono essere legate ad una ridotta capacità di simulare azioni e sentimenti. Comunque, i processi sottostanti coinvolti rimangono oggetto di dibattito a causa della problematicità metodologica nel dissociare

le molteplici basi neurali coinvolte nei processi di comprensione delle espressioni emotive altrui (Galvez-Pol et al., 2020).

Questo studio vuole indagare se l'elaborazione delle emozioni nei soggetti ASD sia legata alla ridotta attivazione somatosensoriale, al di là delle differenze nella risposta visiva. Per fare questo sono stati registrati simultaneamente i potenziali evento-relati visivi e i potenziali somatosensoriali tramite EEG in due gruppi di soggetti: uno formato da ASD e l'altro con soggetti a sviluppo tipico appaiati, durante un compito di discriminazione visiva delle emozioni e un compito di controllo in cui veniva chiesto di giudicare il genere di appartenenza; inoltre, è stata misurata direttamente l'attività somatosensoriale evocando potenziali evento-relati sensomotori irrilevanti per il compito nel 50% delle esecuzioni durante i compiti visivi (Auksztulewicz et al., 2012). Successivamente è stato utilizzato il metodo sottrattivo, che è stato esposto anche nello studio precedente, andando a eliminare l'attività visiva in modo da isolare un'attività somatosensoriale pura (Sel et al., 2020). Inoltre, è stato indagato come le differenze nell'attivazione di stati corporei legata all'espressione emozionale sono legate ai tratti autistici, alla misura dell'*allessitimia* e alla consapevolezza interocettiva, aspetti che influiscono nelle differenze dell'elaborazione delle emozioni di individui affetti da autismo (Garfinkel et al., 2016). Gli autori si aspettavano di osservare una ridotta modulazione dei potenziali evocati somatosensoriali (ripuliti dall'attività visiva) nei soggetti portatori di ASD in confronto ai soggetti a sviluppo tipico come riflesso di una ridotta attivazione degli stati corporei nell'espressione emozionale degli individui ASD.

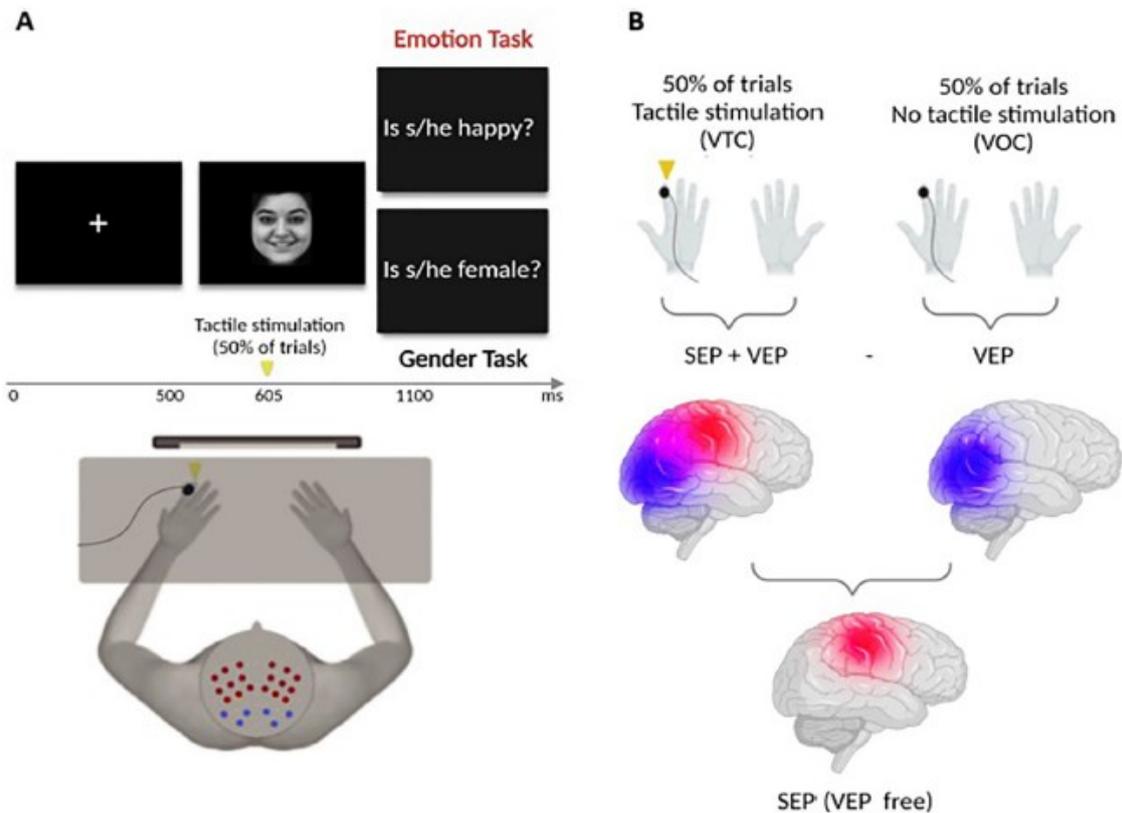


Figura 13(Fanghella et al., 2022) Il disegno sperimentale

I risultati, in linea con l'ipotesi sperimentale, hanno confermato la ridotta attivazione della corteccia somatosensoriale nella popolazione ASD durante il compito di discriminazione delle espressioni facciali emotive. Questo è un indice che i sistemi, successivi nell'elaborazione rispetto a quello visivo, hanno un ruolo rilevante nella rilevazione degli aspetti mutevoli dei volti osservati. Il risultato centrale è l'osservazione di risposte potenziate del sistema somatosensoriale durante l'elaborazione delle emozioni in individui a sviluppo tipico se comparati con i soggetti ASD nella componente P100 dei potenziali evocati sensomotori, durante il compito di discriminazione delle emozioni ma non in quello di discriminazione del genere. Le differenze tra i gruppi nella risposta somatosensoriale sono state evidenziate in modo sistematico nelle regioni somatosensoriali frontali e dorsali ma anche nell'attività generale. Nello specifico i soggetti assegnati al gruppo ASD hanno mostrato un'ampiezza ridotta della P100 se comparati con i soggetti a sviluppo tipico solo durante l'elaborazione delle emozioni, dimostrando una riduzione dell'attivazione degli stati corporei durante l'espressione emozionale nei soggetti con ASD. Invece nei soggetti a sviluppo tipico è stata osservata una P100 SEP potenziata nel compito di discriminazione delle emozioni se comparata con il compito di discriminazione di genere, che evidenzia un importante coinvolgimento del sistema somatosensoriale durante l'elaborazione delle emozioni i soggetti a sviluppo

tipico. È possibile osservare, nel compito comportamentale di riconoscimento delle emozioni e del genere, il gruppo ASD ha mostrato una minor precisione nei *catch trials* (prove dove i soggetti rispondono anche se non viene chiesto di farlo ma registrate comunque) rispetto ai TD; tuttavia, queste differenze comportamentali non erano dipendenti dal compito. Questo dimostra che le differenze che sono state trovate tra i gruppi nella risposta somatosensoriale non possono essere spiegate come effetto di disattenzione o di scarse capacità comportamentali durante il compito di riconoscimento delle emozioni.

Sono state trovate anche differenze tra i gruppi legate al compito nella componente dei potenziali evocati somatosensoriali N140, la quale ha mostrato una risposta differente per diverse emozioni negli individui a sviluppo tipico ma non negli ASD, fornendo evidenze che la corteccia somatosensoriale svolga un ruolo nell'elaborazione anche successivo ai 100 millisecondi nei soggetti a sviluppo tipico ma non negli ASD. Nella N80 le differenze nell'elaborazione delle emozioni tra i gruppi sembrano legate a differenze più generali legate alle emozioni. I tratti autistici misurati tramite due questionari, l'*autism quotient* e la *social responsiveness scale* sono risultati altamente correlati all'ampiezza della P100 in tutti gli elettrodi in cui sono state osservate differenze significative tra i gruppi. Solo l'ampiezza dei potenziali evocati sensomotori registrata durante il compito di riconoscimento emotivo è risultata correlata con i tratti autistici. La correlazione tra i tratti autistici e l'attività somatosensoriale è stata ulteriormente confermata tramite una regressione lineare multipla che ha permesso di osservare la forza dei tratti autistici, ma non l'alessitimia come predittori dell'ampiezza dei potenziali evocati sensomotori. Il modello regressivo è risultato significativo solo per il compito di riconoscimento delle emozioni. I tratti alessitimici, misurati tramite la TAS-20 (*Toronto alexithymia scale*) non sono risultati associati con una risposta somatosensoriale ridotta permettendo di supporre che il ridotto coinvolgimento della corteccia somatosensoriale durante il compito di discriminazione delle emozioni è legata più all'autismo che all'alessitimia che viene spesso ad esso associata. Questo permette di osservare che non tutti gli aspetti delle problematiche di elaborazione delle emozioni connesse nell'ASD possono essere direttamente causate dall'alessitimia (Bird & Cook, 2013). È stata osservata correlazione tra l'attivazione degli stati corporei interni durante l'elaborazione delle emozioni (*emotional embodiment*) e la consapevolezza interocettiva, in linea con le evidenze che suggeriscono una relazione tra la corteccia insulare e le difficoltà nell'elaborazione emotiva associate all'autismo (Ebisch et al., 2011). Questa correlazione è stata trovata

solo quando venivano inclusi entrambi i gruppi nelle analisi, se invece veniva considerato solo il gruppo ASD la correlazione scompariva. La differenza potrebbe essere legata ad una eccessivamente ridotta dimensione del campione, ma è anche possibile che questi risultati riflettano una correlazione tra i due costrutti. La ricostruzione delle sorgenti effettuata sulle componenti SEP rilevanti ha individuato delle sorgenti di attivazione riconducibili alle cortecce somatosensoriali primarie e secondarie di destra (Klingner et al., 2011). Queste modalità di risposta evidenziano un coinvolgimento ridotto della corteccia somatosensoriale durante i compiti di riconoscimento delle emozioni nei soggetti ASD se messi a confronto con quelli a sviluppo tipico. Queste conclusioni supportano la letteratura esistente nel sostenere una ridotta rappresentazione vicaria degli stati somatici altrui nei soggetti ASD (Lee Masson et al., 2019). In linea con le ultime scoperte, un'atipica modulazione *top-down* (volontaria) dell'attività vicaria sensorimotoria potrebbe essere la causa della ridotta simulazione tramite attivazione delle mappe degli stati corporei (simulazione incarnata/incorporata) e dei deficit di elaborazione sensoriale nei soggetti ASD (Hamilton, 2013; Cook et al., 2012). Inoltre, è possibile che questa modulazione *top-down* derivante dalle aree frontali di ordine superiore possa spiegare le differenze nelle componenti di media latenza (P100 e N140) delle risposte somatosensoriali nei soggetti ASD e in quelli a sviluppo tipico (Forster & Eimer, 2005).

CAPITOLO 3 L'esperimento.

3.1. Introduzione e ipotesi

Questo capitolo sarà dedicato alla presentazione della ricerca oggetto della presente tesi. L'esperimento è stato condotto all'interno del laboratorio di elettroencefalografia del Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione, con lo scopo di studiare la corteccia somatosensoriale e il suo ruolo nell'elaborazione di due tipologie di stimoli emotivi: **immagini di stimoli disgustosi e immagini contenenti volti con espressioni disgustate.**

Il progetto si compone sia di un compito associato alla registrazione elettroencefalografica (EEG), sia di una parte comportamentale, in cui vengono raccolti dati comportamentali volti a misurare l'arousal e la valenza degli stimoli visivi, e questionari. Nel presente elaborato, mi focalizzerò su una parte dell'esperimento complessivo, discutendo principalmente i risultati della parte EEG.

3.1.1.-Obiettivi e ipotesi.

Come introdotto nei precedenti capitoli, secondo alcuni approcci teorici, gli esseri umani sembrano possedere la capacità di replicare gli stati emotivi degli altri e di utilizzare queste riproduzioni incarnate per comprendere e prevedere i comportamenti dei membri del gruppo all'interno dei contesti sociali. La corteccia somatosensoriale sembra avere un ruolo centrale nel mediare tale capacità simulativa (Wood, et al. 2016; Goldman & Sripada, 2005) poiché, le emozioni trasmesse attraverso le espressioni facciali attiveranno nell'osservatore le aree a supporto della produzione delle espressioni facciali stesse, tra cui le aree somatosensoriali. Tale reclutamento, secondo precedenti studi, avverrebbe tra 40 e i 100 millisecondi dopo l'inizio dello stimolo, indicando quindi un'elaborazione visiva delle emozioni localizzata nelle cortecce sensorimotorie (Sel et al., 2014; 2020). Ciò che resta inesplorato, tuttavia, è se sia l'espressione facciale in sé o il contenuto emotivo trasmesso dall'espressione facciale ad attivare il reclutamento della corteccia somatosensoriale. Disambiguare fra questi due possibili scenari ci aiuterebbe a comprendere se il reclutamento della corteccia somatosensoriale sia inscrivibile all'interno del quadro teorico della simulazione sensorimotoria, oppure se sia semplicemente il riflesso di una reattività emotiva generalizzata, mediata dal contenuto emotivo dello stimolo.

Lo scopo della presente tesi è dunque rispondere alla seguente domanda sperimentale: l'attivazione delle cortecce sensorimotorie in risposta a espressioni facciali è mediata da un meccanismo simulativo o da una reattività emotiva generalizzata?

Le ipotesi dello studio sono le seguenti:

- - i SEP legati all'elaborazione delle espressioni facciali hanno sempre un'ampiezza maggiore rispetto a quelli attivati dalle immagini disgustose. Quindi la corteccia somatosensoriale sembra essere maggiormente coinvolta nell'elaborazione delle espressioni facciali. Questa Ipotesi è in linea con la teoria della simulazione sensorimotoria.
- - i SEP prodotti dalle immagini disgustose sono ampi tanto quanto quelli prodotti dalle espressioni disgustate in almeno una delle due finestre temporali di stimolazione e potrebbe quindi rappresentare, non tanto un meccanismo simulativo (che richiederebbe un'attivazione somatosensoriale precoce), quanto più una preparazione generale (reazione emotiva) dell'organismo in funzione del contenuto emotivo.

3.2. Metodologia e materiali

3.2.1. Partecipanti

All'esperimento hanno partecipato 39 soggetti, reclutati tramite conoscenze personali di noi laureandi. Tre soggetti sono stati esclusi poiché il tracciato mostrava scarsa qualità e numerosi artefatti, e di conseguenza non risultava elaborabile. Il campione definitivo era dunque comprensivo di 36 soggetti (età media 23.8, deviazione standard 1.7) di cui 15 maschi e 20 femmine e un partecipante non binario.

Tutti i partecipanti erano madrelingua italiana e di nazionalità italiana, in modo da evitare variabili confondenti legate alla cultura e alla lingua di appartenenza. I criteri di inclusione erano:

- 1- non avere riportato malattie neurologiche, psichiatriche, endocrine o dermatologiche;
- 2- non fare uso di farmaci psicoattivi
- 3- avere un'età compresa tra i 18 e i 35 anni
- 4- essere destrimani

Nessun partecipante è stato escluso. Tutti i partecipanti hanno riferito di avere visione normale o corretta. Tutti i partecipanti hanno letto e firmato il consenso informato e hanno ricevuto un compenso di 10 euro.

L'esperimento è stato accettato dal comitato etico del Dipartimento di Psicologia dello sviluppo e della Socializzazione dell'Università di Padova.

3.2.2. Procedura sperimentale

Una volta arrivato in laboratorio al soggetto viene misurata la circonferenza della testa in modo da selezionare la cuffia EEG acticap Brain Products più aderente possibile, gli viene dato da leggere e firmare il consenso informato, gli vengono fatti compilare tre questionari. Il primo di questi è l'IRI (*interpersonal reactivity index*), con lo scopo di valutare i livelli di empatia dei partecipanti fornisce punteggi relativi a quattro sottoscale che rispecchiano quattro aspetti differenti dell'empatia:

- 1- *perspective taking* (assumere la prospettiva degli altri);
- 2- *fantasy* (la capacità di immedesimarsi nei sentimenti e nelle azioni di personaggi di libri o film);
- 3- *empathic concern* (i sentimenti orientati verso l'altro di simpatia e preoccupazione per le sfortune altrui);
- 4- *personal distress* (sentimenti di ansia e disagio personali in contesti interpersonali tesi

Il secondo questionario somministrato è la TAS-20 (*toronto alexythymia scale*) che indaga la presenza di tratti alessitimici tramite tre sottoscale:

- 1- DIF (*difficulty identifying feelings*), difficoltà ad identificare i sentimenti e a distinguere tra sentimenti e sensazioni fisiche
- 2- DDF (*difficulty describing feelings*) difficoltà nel trovare le parole per esprimere i propri sentimenti agli altri
- 3- EOT (*externally oriented thinking*) il pensiero è orientato prevalentemente verso l'esterno.

Il questionario Qualtrics veniva somministrato il giorno prima che i soggetti venissero in laboratorio, allo scopo di effettuare la validazione degli stimoli utilizzati nel compito sperimentale. Il questionario viene fatto svolgere anonimamente e ha la durata di circa 30 minuti. Nella pagina iniziale oltre alle istruzioni di compilazione è presente un'avvertenza "alcuni stimoli potrebbero urtare la tua sensibilità. Qualora decidessi di continuare la compilazione, ricorda che sei libero di interromperlo in qualsiasi momento. I tuoi dati verranno immediatamente cancellati".

Vengono presentate delle immagini seguite da tre affermazioni. Una di queste ha una struttura a scelta multipla mentre nelle altre si dovrà rispondere con una scala likert a 9 punti. Nella domanda a scelta multipla viene chiesto di indicare quale emozione si adatta di più all'immagine in questione. Nella prima domanda con scala likert viene domandato "Come giudichi questa immagine?" e le risposte vanno da 1 (molto negativa) a 9 (molto positiva). Nella seconda domanda viene domandato "Di fronte a questa immagine provi ... 1 (rilassamento), 9 (attivazione).

Il questionario ha lo scopo di valutare la valenza attribuita agli stimoli e l'arousal che questo causa ai partecipanti.

Si è scelto di utilizzare il disgusto sia perché risulta essere un'emozione facilmente evocabile tramite immagini di oggetti disgustosi ma anche tramite espressioni di disgusto, sia perché il suo substrato nervoso, l'insula, è stato studiato ampiamente ed è conosciuto in modo approfondito; quindi, è possibile identificarlo tramite la ricostruzione di sorgente. Ognuno di questi viene ripetuto 200 volte, per condizione di stimolazione. Le immagini sono state selezionate ad hoc per l'esperimento da *google* immagini, mentre le fotografie dei volti sono state realizzate ex-novo dai ricercatori che hanno ideato l'esperimento.

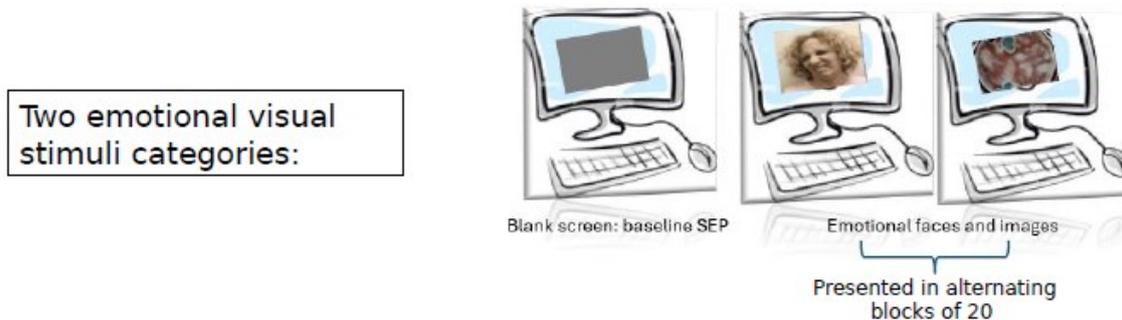


Figura 14 Condizioni sperimentali

Nel compito sperimentale è presente una croce di fissazione (figura 14) al centro dello schermo per 800 millisecondi seguita da una sequenza di dieci immagini, ognuna delle quali resta a schermo per 800 millisecondi. Gli stimoli sono presentati in modo randomizzato ma in blocchi di 20, alternando volti e immagini. Ogni 10 stimoli viene presentata una domanda legata al compito in cui viene chiesto di esprimere se l'ultima immagine vista abbia evocato sensazione positive o negativa. Il partecipante viene istruito a premere il tasto "p" per indicare sensazioni positive e il tasto "n" per sensazioni negative. Le immagini selezionate come stimoli sono 20 volti disgustati e 20 cibi/oggetti disgustosi.

La stimolazione tattile viene somministrata in due finestre di tempo distinte a 105 e a 245 millisecondi dopo la comparsa dell'immagine perché si suppone che la stimolazione precoce moduli solo l'elaborazione delle espressioni emotive dei volti, mentre la stimolazione tardiva sia legata alla modulazione delle immagini che rispetto ai volti subiscono un'elaborazione più lenta.

Il compito si compone di tre tipologie di condizioni (figura 15) di stimolazione tattile, più una con stimolazione solo visiva:

1. Condizione di stimolazione tattile con blank screen e (ha lo scopo di fornire la baseline con cui valutare le altre condizioni).
2. Condizione di stimolazione tattile precoce + stimolazione visiva.
3. Condizione di stimolazione tattile tardiva + stimolazione visiva.
4. Condizione di stimolazione esclusivamente visiva.

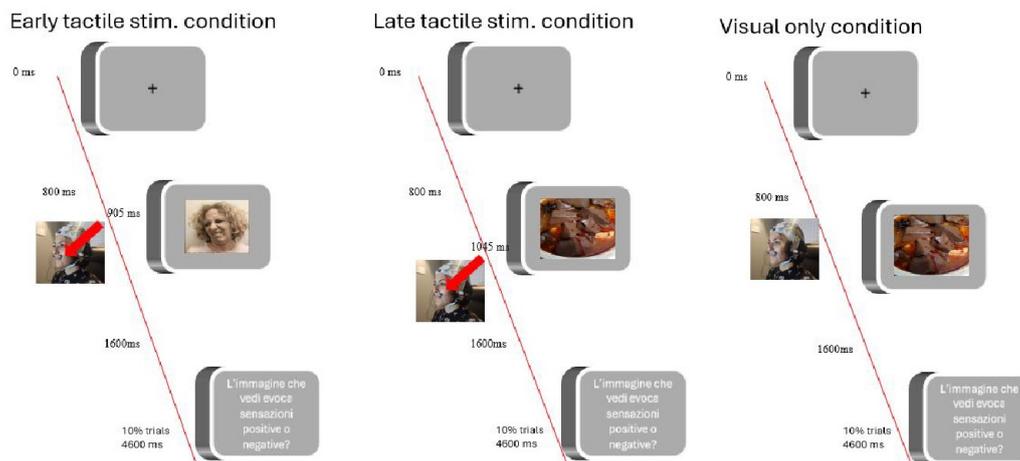


Figura 15 Condizioni di stimolazione precoce e tardiva

Inoltre, queste condizioni possono essere ulteriormente distinte in base alla tipologia di immagini utilizzata: volti disgustati o immagini disgustose. Sono stati aggiunti anche due tipologie di *catch trials* sia nella condizione con volti che possono essere felici o neutri, sia in quella con immagini anche qui felici o neutre, con lo scopo di valutare i livelli di attenzione al compito dei soggetti e se questi rispondono in modo casuale.

Al fine di ottenere la frequenza del segnale pura (figura 16) prodotta dalla corteccia somatosensoriale è stato registrato il segnale della condizione esclusivamente visiva in

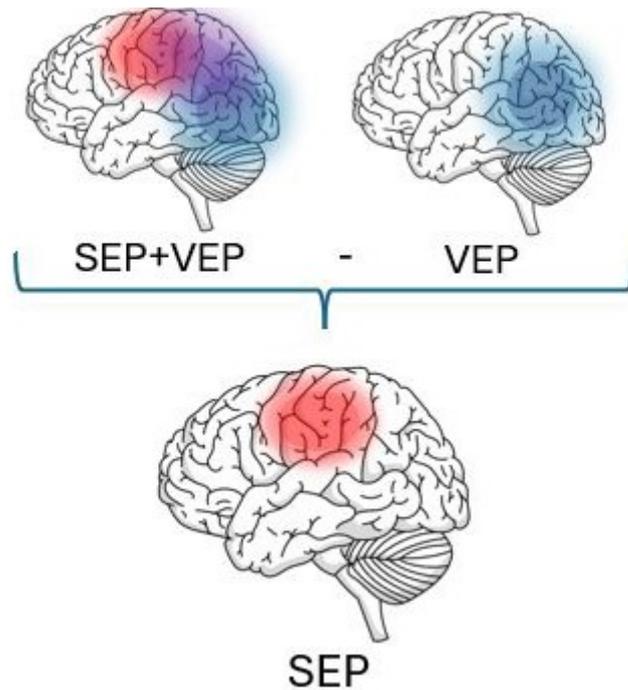


Figura 16 Sottrazione della condizione VEP alle condizioni SEP+VEP

modo da poterlo sottrarre dalle condizioni di stimolazione tattile: VOC (*visual only condition*), e VTC (*visual tactile condition*,) (Dell'acqua et al., 2003).

3.2.3. Pre-processing del dato EEG

L'EEG è stato registrato durante il compito per mezzo di 64 elettrodi attivi distribuiti sullo scalpo sistema 10/20 esteso posizionando un Acti-Cap elastico in riferimento al lobo dell'orecchio sinistro. La frequenza di campionamento è stata di 1000 Hz e l'alta viscosità del gel utilizzato ha permesso di mantenere l'impedenza al di sotto di 10 K. I dati continui sono stati declassati a 500 Hz, filtrati passa-alto a 0.1 Hz e passa-basso a 40 hz, riferiti alla media di tutti i canali e segmentati in epoche a partire da -100 ms a 500 ms rispetto all'inizio dello stimolo. L'analisi delle componenti indipendenti (ICA) è stata effettuata a partire dai dati segmentati al fine di rimuovere le componenti artefattuali.

3.3. Analisi statistiche

Allo scopo di avere il controllo sul problema dei confronti multipli e l'errore di tipo 1, i dati EEG sono stati analizzati con un approccio *cluster based permutation* (Bullmore et al., 1999; Maris e Oostenveld, 2007), utilizzando *Brainstorm* (Tadel et al., 2011). Per approfondire si possono vedere i seguenti studi (Sessa et al., 2022; Schiano Lomoriello et al., 2022). Nello specifico, è stata condotta un'analisi dell'intero scalpo su tutti i 64 siti degli elettrodi all'interno della finestra temporale 0-500 ms. Per fare questo è stato utilizzato un approccio di permutazione a cluster con t-test accoppiato (cluster $\alpha = 0,05$, 5000 permutazioni casuali all'interno del partecipante dei dati), numero minimo di cluster

= 3 per controllare il tasso di errore familiare (Groppe et al., 2011). A tale scopo, è stata utilizzata la funzione *FieldTrip* (Maris e Oostenveld, 2007).

L'approccio utilizzato è definibile come *data driven* ovvero incentrato sulle corrispondenze dei dati con i criteri forniti all'algoritmo e non sulle ipotesi preliminari. Questo metodo permette di effettuare un'analisi dell'intero scalpo ed individuare quali sono gli elettrodi maggiormente significativi sulla base dei dati forniti, ovvero i canali e i *time point* di comparsa degli stimoli. L'algoritmo, svolgendo le permutazioni è in grado di individuare i canali che registrano un'attivazione significativa in uno specifico punto di tempo.

Per assicurarci che la corteccia somatosensoriale venga effettivamente reclutata durante l'elaborazione delle espressioni facciali abbiamo incluso nell'analisi anche un'analisi di *permutazione t-test against 0*, per controllare se entrambe le tipologie di stimoli reclutano la somatosensoriale e per verificare se l'attivazione è della stessa intensità o è differente in base allo stimolo presentato.

3.4. Risultati

Alla luce delle analisi che sono state condotte le forme d'onda registrate (SEP), ripulite dalle componenti visive del segnale (*VEP FREE*) non appaiono modulate differenzialmente dalle due tipologie di stimoli (Figura 17a e 17b), quindi non è possibile accettare l'ipotesi sperimentale H1, che prevedeva che le cortecce somatosensoriali abbiano un'attivazione specifica per l'elaborazione delle espressioni facciali emotive e non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla H0, che sosteneva che entrambe le tipologie di stimoli attivano la corteccia somatosensoriale in modo simile. Infatti, le forme d'onda prodotte da entrambe le tipologie di stimoli risultano simili.

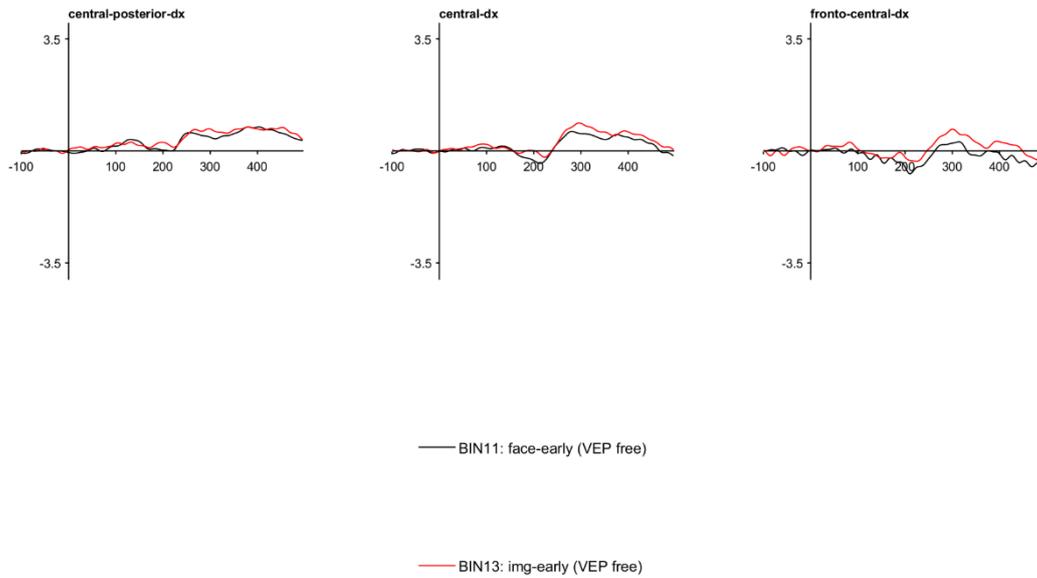


Figura 17a) Plot delle forme d'onda degli elettrodi centro-posteriori, centrali e fronto-centrali (CP, C, FC) nella condizione di stimolazione precoce che avviene a 105ms.

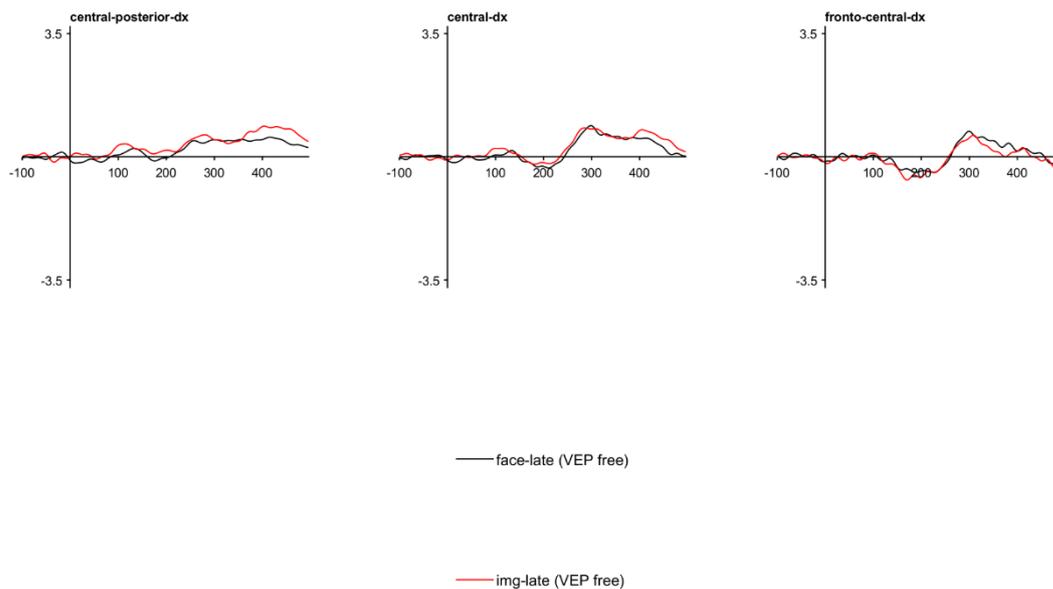


Figura 17b) Immagini dei plot degli elettrodi fronto-centrali, centrali e centro-parietali (FC, C, CP), nella condizione di stimolazione tardiva a 245ms. Prima di cominciare la sperimentazione, era stato ipotizzato di trovare l'effetto indagato in queste regioni corticali. Le onde che possiamo osservare sono state prodotte tramite il metodo sottrattivo che ha permesso di ottenere i SEP sia per i volti (linea nera) che per le immagini disgustose (linea rossa) sottraendo alla condizione VITFC (visual tactile face condition) la condizione VOC (visual only condition).

Non è emersa una differenza significativa dal confronto tra la condizione sperimentale in cui si presentano volti disgustati e quella in cui si presentano stimoli disgustosi che avrebbe permesso di dimostrare una selettività somatosensoriale per le espressioni facciali ($P_{corr} > 0.05$).

Le evidenze che emergono dalle analisi condotte non ci permettono di sostenere che la simulazione sensorimotoria sia un meccanismo con un ruolo specifico a supporto del riconoscimento e della capacità di elaborazione delle espressioni facciali emotive, ma vanno nella direzione di un ruolo più generale nei processi di valutazione della significatività emotiva degli stimoli, sia che siano volti con espressione disgustata, sia che siano immagini contenenti oggetti disgustosi. Dato che la corteccia somatosensoriale viene similmente attivata da entrambe le tipologie di stimoli, le evidenze vanno in direzione di un meccanismo legato alla reattività o preparazione emotiva.

La reattività emotiva o elaborazione emotiva è quel processo di valutazione degli stimoli che ha lo scopo di determinare se questi hanno un contenuto emotivo rilevante o meno. In un primo momento questo processo è volto a determinare la rilevanza emotiva degli stimoli che si presentano nel nostro ambiente, in modo che, una volta stabilita la significatività, in un secondo momento, possa avvenire l'attivazione dell'emozione adeguata necessaria alla preparazione della risposta maggiormente adattiva allo stimolo in questione (Kropf et al., 2019).

CAPITOLO 4 Discussioni, limiti e prospettive future

4.1. Discussioni sulla reattività emotiva

Il presente studio si è posto l'obiettivo di indagare il ruolo della simulazione sensorimotoria nel mediare la capacità di discriminare le espressioni facciali emotive. Nel corso dei precedenti capitoli è stato discusso il meccanismo della simulazione sensorimotoria, il quale consiste nell'attivazione della muscolatura facciale e della mimica di fronte alla visione di espressioni facciali altrui. L'imitazione delle emozioni altrui consente di migliorare la loro comprensione e la loro analisi. Inoltre, consente un riconoscimento e un'elaborazione più accurata ed efficace delle espressioni emotive. Per questo motivo è stato teorizzato che la simulazione sensorimotoria è uno dei meccanismi più frequentemente utilizzato dagli individui per elaborare le emozioni espresse dagli altri individui.

Risulta quindi particolarmente interessante indagare se la corteccia somatosensoriale, la quale media il funzionamento della simulazione sensorimotoria, venga attivata dalle espressioni facciali emotive e abbia un ruolo nella capacità di discriminarle.

Un'ipotesi alternativa che è stata presa in considerazione nel nostro studio è che la corteccia somatosensoriale possa essere attivata in modo simile anche da oggetti capaci di innescare degli stati emotivi negli individui con cui entrano in contatto.

Considerando questa possibilità, l'elaborazione delle emozioni mediata dalla somatosensoriale, sarebbe legata più che alla simulazione sensorimotoria ad un meccanismo di reazione emotiva. Questo ha lo scopo di valutare la salienza emotiva degli stimoli in modo tale da innescare nell'organismo un'emozione funzionale alla produzione della risposta maggiormente adattiva.

I dati emersi dallo studio condotto nel laboratorio di Elettroencefalografia dell'Università di Padova, a differenza degli studi precedenti, non hanno fatto riscontrare una differenza nell'attivazione somatosensoriale specifica per le espressioni emotive dei volti. Sono state messe a confronto le forme d'onda delle attività evocate somatosensoriali ripulite dall'attivazione visiva prodotte dalla stimolazione con volti disgustati e con immagini disgustose. Questo confronto non ha permesso di confermare l'ipotesi sperimentale. L'ipotesi non è stata confermata né nella condizione di stimolazione precoce a 105 ms, né nella condizione di stimolazione tardiva a 245 ms. I dati ottenuti non sono in linea con l'ipotesi della specificità dell'attivazione somatosensoriale per le espressioni facciali emotive. Si discostano dai risultati ottenuti

negli studi precedenti, i quali confermano la modulazione dell'attivazione per i volti emotivi prodotta dalla stimolazione tattile.

Questi risultati vanno nella direzione di un coinvolgimento della somatosensoriale più che come una corteccia deputata all'elaborazione delle espressioni facciali emotive, come una zona corticale coinvolta nella valutazione della significatività emotiva degli stimoli allo scopo di predisporre l'organismo in uno stato di attivazione che consente di mettere in atto la risposta più adattiva.

Una delle funzioni riconosciute alla corteccia somatosensoriale è quella del processamento delle informazioni sensoriali provenienti da molte parti del corpo. L'integrazione di queste informazioni sensoriali permette la costruzione di rappresentazioni complete del corpo, conosciute come homunculus sensoriale.

Una possibile spiegazione del coinvolgimento della somatosensoriale nel riconoscimento della salienza emotiva degli stimoli è la sua connessione con l'amigdala, sia direttamente che indirettamente attraverso l'insula, considerando il suo ruolo ampiamente dimostrato nella regolazione delle emozioni e nella preparazione della risposta emozionale. Le valutazioni precoci, quasi istantanee, degli stimoli, che passano per una via breve, vengono condotte dall'amigdala e dalle regioni circostanti, invece le valutazioni più tardive (consapevoli), che passano per una via più lunga, avvengono tramite la connessione dell'amigdala con le cortecce prefrontali e frontali tra cui la somatosensoriale (LeDoux, 2018). Infatti, perché possa essere determinata la salienza emotiva di uno stimolo è necessario che prima venga generato un appropriato stato somatico/affettivo. Damasio e colleghi., nel 2000, hanno osservato cambiamenti nell'attività della corteccia somatosensoriale quando a dei soggetti veniva chiesto di riflettere su delle esperienze che hanno generato differenti stati emozionali. Questi elementi sono supportati da uno studio di Critchley e colleghi., condotto nel 2004, effettuato con l'utilizzo di fMRI, che ha dimostrato l'attivazione della corteccia somatosensoriale in un compito che richiedeva attenzione interocettiva. Questo ci suggerisce che la somatosensoriale potrebbe essere coinvolta, insieme ad altre aree come la ACC (Corteccia cingolata anteriore) e l'Insula, nel permettere la consapevolezza e il monitoraggio consapevole dello stato corporeo interno, andando a collocarsi in uno schema più generale per cui la generazione di uno stato emozionale richiede la consapevolezza degli stati corporei tramite l'interocezione e la propriocezione (Kropf et al., 2019).

Riassumendo, la valutazione della salienza emotiva di uno stimolo passerebbe attraverso la consapevolezza dei cambiamenti negli stati corporei interni che lo stimolo produce.

Sarebbe quindi questa consapevolezza, prodotta da cambiamenti degli stati corporei che possono essere vividamente percepiti, a provocare l'inizio di uno stato emotivo che rispecchia la preparazione dell'organismo a rispondere coerentemente regolandosi sulla base della sollecitazione ricevuta.

4.2. Limiti e prospettive future

In letteratura sono presenti evidenze che supportano un'elicitazione più intensa delle emozioni tramite l'utilizzo di filmati. Potrebbe essere problematico implementare l'utilizzo di filmati in studi con i potenziali eventi relativi in quanto è necessario avere molti trial che devono avere un *onset* e un *offset* ben definito nel tempo allo scopo di poterli utilizzare nella procedura di *averaging*.

Come nello studio di Wicker e colleghi del 2003, potrebbe essere interessante utilizzare dei bicchieri contenenti sostanze disgustose per osservare altre modalità sensoriali oltre la vista. Avere inserito oggetti disgustosi (frutta marcia, foruncoli e pus) ma senza respirare gli odori da questi prodotti ha, probabilmente, reso l'esperimento meno immersivo.

Negli studi precedenti (Sel et al., 2014), l'attivazione somatosensoriale veniva confrontata nelle condizioni emotive e neutre in assenza di stimolazione e nelle condizioni emotive e neutre con la stimolazione tattile per verificare la differenza di modulazione. Uno dei limiti più evidenti, dello studio attuale, è l'assenza di una condizione neutra, che negli studi precedenti era presente. Aggiungere questa condizione avrebbe permesso di confrontare stimoli come oggetti non emotigeni e volti neutri con stimoli emotivamente salienti. Probabilmente questo avrebbe aumentato le possibilità di trovare dei risultati significativi, permettendo di osservare le differenze nelle forme d'onda. Questa non è stata aggiunta a causa della già elevata durata del compito sperimentale.

A causa della ripetitività della componente comportamentale del compito sperimentale, molti soggetti hanno riferito di essersi annoiati durante l'esperimento. Questo può essere successo per due motivi: -primo, la procedura sperimentale ha una durata elevata; -secondo, la prevalenza di immagini a contenuto disgustoso potrebbe avere comportato che venisse premuto molto più spesso il tasto "n", per comunicare sensazioni negative, rispetto a "p", rendendo il compito meccanico e non particolarmente stimolante.

Da un altro punto di vista, la semplicità del compito è un aspetto positivo perché evita di impegnare il soggetto in un compito che potrebbe produrre un'attivazione indesiderata che risulterebbe come rumore.

Oltre ai questionari già presenti che possono aiutare a spiegare i risultati delle analisi (l'IRI e la TAS-20), in studi futuri, come era già stato fatto nello studio di Fanghella e colleghi del 2022, sulla sindrome dello spettro dell'autismo, potrebbe essere inserito anche un test che permetta di indagare in modo approfondito la consapevolezza interocettiva dei soggetti, come il MAIA-2 (Multidimensional Assesment for Interoceptive Awareness) in modo da vagliare in modo più approfondito questa ipotesi alternativa. Potrebbe costituire un criterio di esclusione avere ottenuto un punteggio troppo basso nella valutazione della capacità interocettiva.

Un'ipotesi dibattuta, infatti, è che i soggetti con bassi livelli di empatia e bassa capacità interocettiva possano avere una minore attivazione della mimica, della simulazione e di conseguenza una minore modulazione somatosensoriale. Questo potrebbe essere verificato anche tramite la misurazione della attivazione muscolare facciale, tramite un elettromiografo.

La numerosità del campione (36 soggetti sperimentali), per quanto comunque limitata, può essere considerata un punto di forza, perché gli studi precedenti hanno osservato i loro risultati con numeri molto ridotti, come 17 partecipanti nel caso di Sel e colleghi., 2014.

Conclusioni

Possiamo concludere dicendo che i risultati di questo studio, in contrasto con la letteratura precedente sui SEP, non confermano il ruolo della corteccia somatosensoriale come mediatore dell'elaborazione delle espressioni facciali emotive. L'ipotesi sperimentale non è stata infatti confermata né nella condizione di stimolazione precoce a 105 ms (per i volti disgustati), né nella condizione di stimolazione tardiva a 245 ms (per gli oggetti disgustosi). I risultati, infatti, vanno nella direzione di un ruolo della somatosensoriale legato più alla valutazione della salienza emotiva degli stimoli rispetto che all'elaborazione delle espressioni facciali emotive.

L'integrazione degli input sensoriali in mappe relative allo stato somatico del corpo (homunculus sensoriale) potrebbero mediare la comprensione della salienza emotiva degli stimoli e la generazione degli stati affettivi, che permettono all'organismo di preparare una risposta adattiva. Questo ruolo sembra in qualche modo essere mediato dalla consapevolezza degli stati corporei interni posseduta dai soggetti (Kropf et al., 2019). Il tema della mimica facciale rimane tuttora molto controverso e dibattuto. Anche se la somatosensoriale non è strettamente coinvolta nell'elaborazione delle espressioni facciali emotive, non si può concludere che non sia connessa con la simulazione. Infatti, lo stretto legame tra assenza di mimica e assenza di simulazione non è stato saldamente dimostrato. Modelli della simulazione meno rigidi e meno strutturati di quello fondato sulla mimica facciale, come il *reverse simulation model* con *as if loop* (Goldman & Sripada, 2005) oppure l'*unmediated resonance model* (Wicker et al., 2003) integrano la consapevolezza degli stati corporei interni mediata dall'attivazione delle mappe somatiche nella comprensione degli stati emotivo/affettivi altrui.

Nonostante i risultati sembrano escludere la possibilità che la simulazione sensorimotoria abbia un ruolo specifico nell'elaborazione delle espressioni facciali emozionali andranno svolti ulteriori approfondimenti, possibilmente utilizzando un elettromiografo allo scopo di misurare l'attivazione della muscolatura facciale e trovare una soglia di intensità minima al di sotto della quale peggiora la *performance* nella capacità di discriminare le espressioni facciali emotive.

BIBLIOGRAFIA

- Adolphs, R. (2002). Recognizing Emotion from Facial Expressions: Psychological and Neurological Mechanisms. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1(1), 21–61
- Adolphs, R., & Birmingham, E. (2011). *Neural Substrates of Social Perception*. Oxford University Press.
- Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G., & Damasio, A. R. (2000). A Role for Somatosensory Cortices in the Visual Recognition of Emotion as Revealed by Three-Dimensional Lesion Mapping. *The Journal of Neuroscience*, 20(7), 2683–2690.
- Adolphs, R., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. (1995). Fear and the human amygdala. *The Journal of Neuroscience*, 15(9), 5879–5891.
- Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A. W., Calder, A. J., Phelps, E. A., Anderson, A., Lee, G. P., & Damasio, A. R. (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37(10), 1111–1117.
- Auksztulewicz, R., Spitzer, B., & Blankenburg, F. (2012). Recurrent Neural Processing and Somatosensory Awareness. *The Journal of Neuroscience*, 32(3).
- Axelrod, V., & Yovel, G. (2010). External facial features modify the representation of internal facial features in the fusiform face area. *NeuroImage*, 52(2).
- Banissy, M. J., Garrido, L., Kusnir, F., Duchaine, B., Walsh, V., & Ward, J. (2011). Superior Facial Expression, But Not Identity Recognition, in Mirror-Touch Synesthesia. *The Journal of Neuroscience*, 31(5).
- Bird, G., & Cook, R. (2013). Mixed emotions: The contribution of alexithymia to the emotional symptoms of autism. *Translational Psychiatry*, 3(7).

Blakemore, S.-J., Bristow, D., Bird, G., Frith, C., & Ward, J. (2005). Somatosensory activations during the observation of touch and a case of vision–touch synaesthesia. *Brain*, *128*(7), 1571–1583.

Blakemore, S.-J., & Decety, J. (2001). From the perception of action to the understanding of intention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(8).

Brass, M., Derrfuss, J., & Von Cramon, D. Y. (2005). The inhibition of imitative and overlearned responses: A functional double dissociation. *Neuropsychologia*, *43*(1).

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, *77*(3).

Bullmore, E. T., Suckling, J., Overmeyer, S., Rabe-Hesketh, S., Taylor, E., & Brammer, M. J. (1999). Global, voxel, and cluster tests, by theory and permutation, for a difference between two groups of structural MR images of the brain. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, *18*(1), 32–42.

Buss, D. M., & Tommasi, L. (2020). *Psicologia evolucionistica sesta edizione* (6a ed). Pearson.

Calder, A. J., Beaver, J. D., Winston, J. S., Dolan, R. J., Jenkins, R., Eger, E., & Henson, R. N. A. (2007). Separate Coding of Different Gaze Directions in the Superior Temporal Sulcus and Inferior Parietal Lobule. *Current Biology*, *17*(1).

Calder, A. J., Keane, J., Manes, F., Antoun, N., & Young, A. W. (2000). Impaired recognition and experience of disgust following brain injury. *Nature Neuroscience*, *3*(11).

- Carlin, J. D., Calder, A. J., Kriegeskorte, N., Nili, H., & Rowe, J. B. (2011). A Head View-Invariant Representation of Gaze Direction in Anterior Superior Temporal Sulcus. *Current Biology, 21*(21).
- Case, L. K., Pineda, J., & Ramachandran, V. S. (2015). Common coding and dynamic interactions between observed, imagined, and experienced motor and somatosensory activity. *Neuropsychologia, 79*, 233–245.
- Chan, A. W.-Y., & Downing, P. E. (2011). Faces and Eyes in Human Lateral Prefrontal Cortex. *Frontiers in Human Neuroscience, 5*.
- Cook, J., Barbalat, G., & Blakemore, S.-J. (2012). Top-down modulation of the perception of other people in schizophrenia and autism. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*.
- Critchley, H. D., Wiens, S., Rotshtein, P., Öhman, A., & Dolan, R. J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience, 7*(2), 189–195.
- Damasio, A. (1994). L'errore di Cartesio.[The error of Cartesio]. *Milano, Adelphi*.
- Damasio, A. R., Grabowski, T. J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L. L. B., Parvizi, J., & Hichwa, R. D. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience, 3*(10), 1049–1056.
- Damasio, A. (1999). *The feeling of what happens*.
- De Vignemont, F. (2014). Shared body representations and the ‘Whose’ system. *Neuropsychologia, 55*, 128–136.
- Decety, J., & Grèzes, J. (2006). The power of simulation: Imagining one’s own and other’s behavior. *Brain Research, 1079*(1).

- Dell'acqua, R., Jolicoeur, P., Pesciarelli, F., Job, R., & Palomba, D. (2003). Electrophysiological evidence of visual encoding deficits in a cross-modal attentional blink paradigm. *Psychophysiology*, *40*(4).
- Duchaine, B., & Yovel, G. (2015). A Revised Neural Framework for Face Processing. *Annual Review of Vision Science*, *1*(1).
- Ebisch, S. J. H., Gallese, V., Willems, R. M., Mantini, D., Groen, W. B., Romani, G. L., Buitelaar, J. K., & Bekkering, H. (2011). Altered intrinsic functional connectivity of anterior and posterior insula regions in high-functioning participants with autism spectrum disorder. *Human Brain Mapping*, *32*(7).
- Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? *Psychological Review*, *99*(3).
- Evers, C., Hopp, H., Gross, J. J., Fischer, A. H., Manstead, A. S. R., & Mauss, I. B. (2014). Emotion response coherence: A dual-process perspective. *Biological Psychology*, *98*, 43–49.
- Fanghella, M., Gaigg, S. B., Candidi, M., Forster, B., & Calvo-Merino, B. (2022). Somatosensory Evoked Potentials Reveal Reduced Embodiment of Emotions in Autism. *The Journal of Neuroscience*, *42*(11).
- Finzi, E., & Rosenthal, N. E. (2014). Treatment of depression with onabotulinumtoxinA: A randomized, double-blind, placebo controlled trial. *Journal of Psychiatric Research*, *52*, 1–6.
- Fivush, R., Brotman, M. A., Buckner, J. P., & Goodman, S. H. (2000). Gender Differences in Parent–Child Emotion Narratives. *Sex Roles*, *42*(3), Articolo 3.
- Flanders, M. (2011). What is the biological basis of sensorimotor integration? *Biological Cybernetics*, *104*(1–2).

- Forster, B., & Eimer, M. (2005). Vision and gaze direction modulate tactile processing in somatosensory cortex: Evidence from event-related brain potentials. *Experimental Brain Research, 165*(1).
- Fox, C. J., Iaria, G., & Barton, J. J. S. (2009). Defining the face processing network: Optimization of the functional localizer in fMRI. *Human Brain Mapping, 30*(5).
- Gallese, V., & Sinigaglia, C. (2018). Embodied resonance. *The Oxford handbook of 4E cognition, 417–432*.
- Galvez-Pol, A., Calvo-Merino, B., & Forster, B. (2020). Revealing the body in the brain: An ERP method to examine sensorimotor activity during visual perception of body-related information. *Cortex, 125*, 332–344.
- Ganel, T., Valyear, K. F., Goshen-Gottstein, Y., & Goodale, M. A. (2005). The involvement of the “fusiform face area” in processing facial expression. *Neuropsychologia, 43*(11).
- Garfinkel, S. N., Tiley, C., O’Keeffe, S., Harrison, N. A., Seth, A. K., & Critchley, H. D. (2016). Discrepancies between dimensions of interoception in autism: Implications for emotion and anxiety. *Biological Psychology, 114*, 117–126.
- Gobbini, M. I., & Haxby, J. V. (2007). Neural systems for recognition of familiar faces. *Neuropsychologia, 45*(1).
- Goldman, A. I., & Sripada, C. S. (2005). Simulationist models of face-based emotion recognition. *Cognition, 94*(3).
- Greimel, E., Schulte-Rüther, M., Kircher, T., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Fink, G. R., Herpertz-Dahlmann, B., & Konrad, K. (2010). Neural mechanisms of empathy in adolescents with autism spectrum disorder and their fathers. *NeuroImage, 49*(1).

- Grèzes, J., Wicker, B., Berthoz, S., & De Gelder, B. (2009). A failure to grasp the affective meaning of actions in autism spectrum disorder subjects. *Neuropsychologia*, *47*(8–9).
- Groppe, D. M., Urbach, T. P., & Kutas, M. (2011). Mass univariate analysis of event-related brain potentials/fields I: A critical tutorial review. *Psychophysiology*, *48*(12), 1711–1725.
- Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G., & Blake, R. (2000). Brain Areas Involved in Perception of Biological Motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(5).
- Haan, M. D., Pascalis, O., & Johnson, M. H. (2002). Specialization of Neural Mechanisms Underlying Face Recognition in Human Infants. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(2).
- Halberstadt, J. B., & Niedenthal, P. M. (2001). Effects of emotion concepts on perceptual memory for emotional expressions. *Journal of Personality and Social Psychology*, *81*(4).
- Hamilton, A. F. D. C. (2013). Reflecting on the mirror neuron system in autism: A systematic review of current theories. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *3*, 91–105.
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(6).
- Hennenlotter, A., Dresel, C., Castrop, F., Ceballos-Baumann, A. O., Wohlschläger, A. M., & Haslinger, B. (2009). The Link between Facial Feedback and Neural Activity within Central Circuitries of Emotion—New Insights from Botulinum Toxin-Induced Denervation of Frown Muscles. *Cerebral Cortex*, *19*(3).
- Hess, U., & Fischer, A. (2013). Emotional Mimicry as Social Regulation. *Personality and Social Psychology Review*, *17*(2).

- Hess, U., & Fischer, A. (2014). Emotional Mimicry: Why and When We Mimic Emotions. *Social and Personality Psychology Compass*, 8(2).
- Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, 3(1).
- Hopf, H. C., Md, W. M.-F., & Hopf, N. J. (1992). Localization of emotional and volitional facial paresis. *Neurology*, 42(10).
- Hussey, E., & Safford, A. (2009). Perception of Facial Expression in Somatosensory Cortex Supports Simulationist Models. *The Journal of Neuroscience*, 29(2).
- Hyniewska, S., & Sato, W. (2015). Facial feedback affects valence judgments of dynamic and static emotional expressions. *Frontiers in Psychology*, 6.
- Ipsier, A., & Cook, R. (2016). Inducing a concurrent motor load reduces categorization precision for facial expressions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(5).
- Keaton, S. A. (2017). Interpersonal Reactivity Index (IRI): (Davis, 1980). In D. L. Worthington & G. D. Bodie (A c. Di), *The Sourcebook of Listening Research* (1^a ed., pp. 340–347). Wiley.
- Keysers, C., Kaas, J. H., & Gazzola, V. (2010). Somatosensation in social perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(6).
- Kilts, C. D., Egan, G., Gideon, D. A., Ely, T. D., & Hoffman, J. M. (2003). Dissociable Neural Pathways Are Involved in the Recognition of Emotion in Static and Dynamic Facial Expressions. *NeuroImage*, 18(1).
- Klingner, C. M., Huonker, R., Flemming, S., Hasler, C., Brodoehl, S., Preul, C., Burmeister, H., Kastrup, A., & Witte, O. W. (2011). Functional deactivations: Multiple

ipsilateral brain areas engaged in the processing of somatosensory information. *Human Brain Mapping, 32*(1).

Korb, S., Malsert, J., Rochas, V., Rihs, T. A., Rieger, S. W., Schwab, S., Niedenthal, P. M., & Grandjean, D. (2015). Gender differences in the neural network of facial mimicry of smiles – An rTMS study. *Cortex, 70*, 101–114.

Korb, S., With, S., Niedenthal, P., Kaiser, S., & Grandjean, D. (2014). The Perception and Mimicry of Facial Movements Predict Judgments of Smile Authenticity. *PLoS ONE, 9*(6).

Kropf, E., Syan, S. K., Minuzzi, L., & Frey, B. N. (2019). From anatomy to function: The role of the somatosensory cortex in emotional regulation. *Brazilian Journal of Psychiatry, 41*(3), 261–269.

Krumhuber, E. G., Likowski, K. U., & Weyers, P. (2014). Facial Mimicry of Spontaneous and Deliberate Duchenne and Non-Duchenne Smiles. *Journal of Nonverbal Behavior, 38*(1).

Krumhuber, E. G., & Manstead, A. S. R. (2009). Can Duchenne smiles be feigned? New evidence on felt and false smiles. *Emotion, 9*(6).

Künecke, J., Hildebrandt, A., Recio, G., Sommer, W., & Wilhelm, O. (2014). Facial EMG Responses to Emotional Expressions Are Related to Emotion Perception Ability. *PLoS ONE, 9*(1).

Lakin, J. L., & Chartrand, T. L. (2003). Using Nonconscious Behavioral Mimicry to Create Affiliation and Rapport. *Psychological Science, 14*(4).

LeDoux, J. E. (1993). Emotional memory systems in the brain. *Behavioural Brain Research, 58*(1–2).

Lee, I.-S., Yoon, S.-S., Lee, S.-H., Lee, H., Park, H.-J., Wallraven, C., & Chae, Y. (2013). An amplification of feedback from facial muscles strengthened sympathetic activations to emotional facial cues. *Autonomic Neuroscience*, *179*(1–2).

Lee Masson, H., Pillet, I., Amelynck, S., Van De Plas, S., Hendriks, M., Op De Beeck, H., & Boets, B. (2019). Intact neural representations of affective meaning of touch but lack of embodied resonance in autism: A multi-voxel pattern analysis study. *Molecular Autism*, *10*(1).

Lench, H. C., Bench, S. W., Darbor, K. E., & Moore, M. (2015). A Functionalist Manifesto: Goal-Related Emotions From an Evolutionary Perspective. *Emotion Review*, *7*(1).

Lobmaier, J., & Fischer, M. (2015). Facial Feedback Affects Perceived Intensity but Not Quality of Emotional Expressions. *Brain Sciences*, *5*(3).

Loth, E., Garrido, L., Ahmad, J., Watson, E., Duff, A., & Duchaine, B. (2018). Facial expression recognition as a candidate marker for autism spectrum disorder: How frequent and severe are deficits? *Molecular Autism*, *9*(1).

Marchi, F., & Newen, A. (2015). Cognitive penetrability and emotion recognition in human facial expressions. *Frontiers in Psychology*, *6*.

Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, *164*(1), 177–190.

Martínez, A., Tobe, R., Dias, E. C., Ardekani, B. A., Veenstra-VanderWeele, J., Patel, G., Breland, M., Lieval, A., Silipo, G., & Javitt, D. C. (2019). Differential Patterns of Visual Sensory Alteration Underlying Face Emotion Recognition Impairment and Motion Perception Deficits in Schizophrenia and Autism Spectrum Disorder. *Biological Psychiatry*, *86*(7).

Mauss, I. B., Levenson, R. W., McCarter, L., Wilhelm, F. H., & Gross, J. J. (2005). The Tie That Binds? Coherence Among Emotion Experience, Behavior, and Physiology. *Emotion, 5*(2).

Mazard, A., Schiltz, C., & Rossion, B. (2006). Recovery from adaptation to facial identity is larger for upright than inverted faces in the human occipito-temporal cortex. *Neuropsychologia, 44*(6).

Mumme, D. L., Fernald, A., & Herrera, C. (1996). Infants' Responses to Facial and Vocal Emotional Signals in a Social Referencing Paradigm. *Child Development, 67*(6).

Niedenthal, P. M., Augustinova, M., Rychlowska, M., Droit-Volet, S., Zinner, L., Knafo, A., & Brauer, M. (2012). Negative Relations Between Pacifier Use and Emotional Competence. *Basic and Applied Social Psychology, 34*(5).

Niedenthal, P. M., Mermillod, M., Maringer, M., & Hess, U. (2010). The Simulation of Smiles (SIMS) model: Embodied simulation and the meaning of facial expression. *Behavioral and Brain Sciences, 33*(6).

Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research, 24*(2).

O'Toole, A. J., Roark, D. A., & Abdi, H. (2002). Recognizing moving faces: A psychological and neural synthesis. *Trends in Cognitive Sciences, 6*(6).

Panksepp, J. (2005). Affective consciousness: Core emotional feelings in animals and humans. *Consciousness and Cognition, 14*(1).

Phillips, M. L., Young, A. W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A. J., Bullmore, E. T., Perrett, D. I., Rowland, D., Williams, S. C. R., Gray, J. A., & David, A.

S. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 389(6650).

Phillips, M. L., Drevets, W. C., Rauch, S. L., & Lane, R. (2003). Neurobiology of emotion perception II: Implications for major psychiatric disorders. *Biological Psychiatry*, 54(5), 515–528.

Pitcher, D., Dilks, D. D., Saxe, R. R., Triantafyllou, C., & Kanwisher, N. (2011). Differential selectivity for dynamic versus static information in face-selective cortical regions. *NeuroImage*, 56(4).

Pitcher, D., Garrido, L., Walsh, V., & Duchaine, B. C. (2008). Transcranial Magnetic Stimulation Disrupts the Perception and Embodiment of Facial Expressions. *The Journal of Neuroscience*, 28(36).

Pitcher, D., Goldhaber, T., Duchaine, B., Walsh, V., & Kanwisher, N. (2012). Two Critical and Functionally Distinct Stages of Face and Body Perception. *The Journal of Neuroscience*, 32(45).

Pitcher, D., Walsh, V., Yovel, G., & Duchaine, B. (2007). TMS Evidence for the Involvement of the Right Occipital Face Area in Early Face Processing. *Current Biology*, 17(18).

Pollak, S. D., Messner, M., Kistler, D. J., & Cohn, J. F. (2009). Development of perceptual expertise in emotion recognition. *Cognition*, 110(2).

Pourtois, G., Sander, D., Andres, M., Grandjean, D., Reveret, L., Olivier, E., & Vuilleumier, P. (2004). Dissociable roles of the human somatosensory and superior temporal cortices for processing social face signals. *European Journal of Neuroscience*, 20(12).

- Price, T. F., & Harmon-Jones, E. (2015). Embodied emotion: The influence of manipulated facial and bodily states on emotive responses. *WIREs Cognitive Science*, 6(6).
- Requarth, T., Kaifosh, P., & Sawtell, N. B. (2014). A Role for Mixed Corollary Discharge and Proprioceptive Signals in Predicting the Sensory Consequences of Movements. *The Journal of Neuroscience*, 34(48).
- Rhodes, G., Calder, A., Johnson, M., & Haxby, J. V. (A c. Di). (2011). *Oxford Handbook of Face Perception* (1^a ed.). Oxford University Press.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9).
- Rolls, E. (1995). Central taste anatomy and neurophysiology. *Handbook of Olfaction and gustation.*, 549–573.
- Rosen, W. D., Adamson, L. B., & Bakeman, R. (1992). An experimental investigation of infant social referencing: Mothers' messages and gender differences. *Developmental Psychology*, 28(6).
- Rossion B. 2014. (2014). *Understanding face perception by means of prosopagnosia and neuroimaging*. 6:258–307. *Frontiers in Bioscience*.
- Rozin, P., Haidt, J., & McCauley, C. (2009). Disgust: The body and soul emotion in the 21st century. In B. O. Olatunji & D. McKay, *Disgust and its disorders: Theory, assessment, and treatment implications*. (pp. 9–29). American Psychological Association.
- Rychlowska, M., Cañadas, E., Wood, A., Krumhuber, E. G., Fischer, A., & Niedenthal, P. M. (2014). Blocking Mimicry Makes True and False Smiles Look the Same. *PLoS ONE*, 9(3).

Rychlowska, M., Korb, S., Brauer, M., Droit-Volet, S., Augustinova, M., Zinner, L., & Niedenthal, P. M. (2014). Pacifiers Disrupt Adults' Responses to Infants' Emotions. *Basic and Applied Social Psychology, 36*(4).

Rychlowska, M., Zinner, L., Musca, S. C., & Niedenthal, P. M. (2012). *From the eye to the heart: Eye contact triggers emotion simulation. Proceedings of the 4th Workshop on Eye Gaze in Intelligent Human Machine Interaction, 1–7.*

Sadeh, B., Podlipsky, I., Zhdanov, A., & Yovel, G. (2010). Event-related potential and functional MRI measures of face-selectivity are highly correlated: A simultaneous ERP-fMRI investigation. *Human Brain Mapping, 31*(10).

Said, C. P., Haxby, J. V., & Todorov, A. (2011). Brain systems for assessing the affective value of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 366*(1571).

Schiano Lomoriello, A., Sessa, P., Doro, M., & Konvalinka, I. (2022). Shared Attention Amplifies the Neural Processing of Emotional Faces. *Journal of Cognitive Neuroscience, 34*(6), 917–932.

Seidler, R. D., Noll, D. C., & Thiers, G. (2004). Feedforward and feedback processes in motor control. *NeuroImage, 22*(4).

Sel, A., Calvo-Merino, B., Tsakiris, M., & Forster, B. (2020). The somatotopy of observed emotions. *Cortex, 129*, 11–22.

Sel, A., Forster, B., & Calvo-Merino, B. (2014). The Emotional Homunculus: ERP Evidence for Independent Somatosensory Responses during Facial Emotional Processing. *The Journal of Neuroscience, 34*(9).

Sessa, P., Schiano Lomoriello, A., Duma, G. M., Mento, G., De Stefani, E., & Ferrari, P. F. (2022). Degenerate pathway for processing smile and other emotional expressions in

congenital facial palsy: An hdEEG investigation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377(1863), 20210190.

Shah, A., Banner, N., Heginbotham, C., & Fulford, B. (2014). 7. American Psychiatric Association (2013) Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th edn. American Psychiatric Publishing, Arlington, VA. 8. Bechara, A., Dolan, S. and Hindes, A.(2002) Decision-making and addiction (Part II): Myopia for the future or hypersensitivity to reward? *Neuropsychologia*, 40, 1690–1705. 9. Office of Public Sector Information (2005) The Mental Capacity Act 2005. [Http://www](http://www). *Substance Use and Older People*, 21(5).

Sorger, B., Goebel, R., Schiltz, C., & Rossion, B. (2007). Understanding the functional neuroanatomy of acquired prosopagnosia. *NeuroImage*, 35(2).

Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: A User-Friendly Application for MEG/EEG Analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, 1–13.

Tamietto, M., Castelli, L., Vighetti, S., Perozzo, P., Geminiani, G., Weiskrantz, L., & De Gelder, B. (2009). Unseen facial and bodily expressions trigger fast emotional reactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(42).

Taylor, G. J., Bagby, M., & Parker, J. D. A. (1992). The Revised Toronto Alexithymia Scale: Some Reliability, Validity, and Normative Data. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 57(1–2), 34–41.

Thibault, P., Bourgeois, P., & Hess, U. (2006). The effect of group-identification on emotion recognition: The case of cats and basketball players. *Journal of Experimental Social Psychology*, 42(5).

Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Effects of Attention and Emotion on Face Processing in the Human Brain. *Neuron*, 30(3).

Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: Evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, 45(1).

Weyers, P., Mühlberger, A., Kund, A., Hess, U., & Pauli, P. (2009). Modulation of facial reactions to avatar emotional faces by nonconscious competition priming. *Psychophysiology*, 46(2).

Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J.-P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of Us Disgusted in My Insula. *Neuron*, 40(3).

Winston, J. S., O'Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *NeuroImage*, 20(1).

Wollmer, M. A., De Boer, C., Kalak, N., Beck, J., Götz, T., Schmidt, T., Hodzic, M., Bayer, U., Kollmann, T., Kollwe, K., Sönmez, D., Duntsch, K., Haug, M. D., Schedlowski, M., Hatzinger, M., Dressler, D., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Kruger, T. H. C. (2012). Facing depression with botulinum toxin: A randomized controlled trial. *Journal of Psychiatric Research*, 46(5).

Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431).

Wood, A., Lupyan, G., Sherrin, S., & Niedenthal, P. (2016). Altering sensorimotor feedback disrupts visual discrimination of facial expressions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4),

Wood, A., Rychlowska, M., Korb, S., & Niedenthal, P. (2016). Fashioning the Face: Sensorimotor Simulation Contributes to Facial Expression Recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(3)