



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

**Il ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione
delle espressioni facciali emotive: uno studio
elettroencefalografico**

**The role of the somatosensory cortex in the processing of emotional facial
expressions: an electroencephalographic study**

Relatrice

Prof.ssa Paola Sessa

Correlatrice

Dott.ssa Sara Costa

Laureanda: Linda Riu

Matricola: 2092031

Anno Accademico 2023/2024

Introduzione.....	3
1. Capitolo 1 - La percezione dei volti e delle espressioni facciali.....	4
1.1. Una prospettiva cognitiva sull'elaborazione dei volti: Bruce & Young.....	5
1.1.1. L'elaborazione olistico-configurale e le evidenze a supporto	6
1.2. Una prospettiva neurale sull'elaborazione dei volti: Haxby & Gobbini.....	9
1.2.1. Un network neurale per l'elaborazione dei volti.....	9
1.2.2. Il core system e l'extended system	10
1.2.3. Evidenze a supporto della dissociabilità del modello neurale	12
1.3. Nuove evidenze sui modelli di elaborazione dei volti e delle espressioni sui modelli facciali: il modello di Douchaine e Yovel	13
1.3.1. Evidenze.....	13
1.3.2. Il modello di Douchaine e Yovel	16
1.4. Evidenze di una terza via specializzata negli aspetti dinamici della percezione sociale: il modello di Pitcher e Ungerleider	18
2. Capitolo 2 - La Simulazione Sensorimotoria e l'ipotesi del Feedback Facciale a confronto	20
2.1. La simulazione sensorimotoria	20
2.1.1. La simulazione sensorimotoria e le sue tre componenti	23
2.1.2. Evidenze sul ruolo della simulazione sulla percezione delle espressioni facciali in persone con blocco della mimica “naturale” e “artificiale”	28
2.2. L'ipotesi del feedback facciale	30
2.3. Differenze e somiglianze tra i due processi	34
2.4. La corteccia somatosensoriale e l'elaborazione delle espressioni facciali emotive.....	36
3. Capitolo 3 - Uno studio sul ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione selettiva delle espressioni facciali.....	41
3.1. Introduzione teorica	41
3.2. Simulazione sensorimotoria o reazione emotiva? Uno studio elettroencefalografico.....	45
3.2.1. Domande di ricerca e ipotesi dello studio	45

3.3.	Metodologia	46
3.3.1.	Partecipanti.....	46
3.3.2.	Procedura sperimentale	47
3.3.3.	Misurazione segnale EEG.....	53
3.4.	Analisi dei dati e Risultati.....	53
3.4.1.	Identificazione della finestra di interesse.....	53
3.4.2.	Risultati	53
4.	Capitolo 4 - Discussione, limiti e prospettive future	59
4.1.	Discussione	59
4.2.	Limiti e Prospettive Future	61
5.	Conclusioni.....	63
6.	Bibliografia	64

Introduzione

L'abilità di percepire e riconoscere le espressioni facciali è un aspetto alla base della cognizione umana, in quanto ci permette di veicolare una vasta gamma di stati emotivi interni, e di entrare in comunicazione con altri esseri umani. Alla base di questo complesso meccanismo, vi è un vasto network neurale che si specializza fin dai primi anni di vita e che opera per far sì che questa abilità sia sufficientemente efficiente. Tra le regioni neurali deputate a tale processo, la corteccia somatosensoriale riveste un ruolo di cruciale importanza, in quanto sembra essere coinvolta nell'elaborazione e nel riconoscimento delle emozioni veicolate da una determinata espressione facciale. Diverse evidenze sperimentali hanno dimostrato che il meccanismo d'azione di questa regione è intrinsecamente connesso alla simulazione sensorimotoria, un processo che consente la riproduzione interna di stati sensoriali e motori durante l'osservazione di un'azione, senza che essa venga effettivamente compiuta, e implica che le stesse regioni neurali si attivino sia quando si esegue un'azione sia quando la si osserva in altri.

All'interno di questa cornice teorica verrà presentato lo studio oggetto della presente tesi, condotto sotto la supervisione della Professoressa Paola Sessa e della Dottoressa Sara Costa all'interno del laboratorio di Elettroencefalografia del Dipartimento della Socializzazione e dello Sviluppo (DPSS) dell'Università degli Studi di Padova. L'esperimento si è posto l'obiettivo di indagare se l'attivazione della corteccia somatosensoriale in risposta ai volti emotivi sia selettiva per le espressioni facciali, o se, al contrario, sia più generale e aspecifica, e quindi sia legata al contenuto emotivo veicolato dal volto osservato. A tale scopo, ne verranno presentate le ipotesi e la domanda di ricerca, il paradigma sperimentale ed i risultati.

1. Capitolo 1 - La percezione dei volti e delle espressioni facciali

La percezione dei volti rappresenta un'abilità di cruciale importanza per gli esseri umani, in quanto permette la condivisione di numerose informazioni essenziali per la cognizione sociale, come: la direzione dello sguardo e il posizionamento della testa - che segnalano attenzione e interesse e che permettono agli individui di prevedere il comportamento altrui ed entrarci in relazione -, oppure le espressioni facciali, in grado di comunicare un ampio pattern di stati emotivi interiori.

Nello specifico, si può affermare che la sensibilità degli esseri umani ai segnali sociali sia evidenziata dall'esistenza di una scala tassonomica dei segnali socialmente rilevanti, che si distingue in *cues* e *signals* (Adolphs, R., & Birmingham, E., 2011). Nella prima dimensione si identificano tutte le informazioni sociali statiche e su cui il soggetto non esercita controllo; al contrario, la seconda dimensione comprende tutte le informazioni che esercitano un valore "di segnale", e che quindi sono dinamiche e su cui non è possibile esercitare un controllo. In quest'ultima dimensione si collocano le espressioni facciali, che, come detto in precedenza, sono in grado di comunicare lo stato emotivo interno dell'individuo.

Il ruolo fondamentale esercitato dai volti nell'ambito della cognizione sociale è stato ulteriormente confermato da quanto essi risultino facilmente percepibili all'interno dell'ambiente di appartenenza; basti pensare, per esempio, che i neonati di sei mesi sono in grado di distinguere il volto della propria madre da quello di un estraneo (de Haan, M. & Nelson, C.A., 1997).

In generale, le evidenze sopra menzionate sottolineano la naturale abilità umana nella percezione e nel riconoscimento facciale, meccanismo che ci permette di adattarci al complesso ambiente sociale di cui facciamo parte.

1.1. Una prospettiva cognitiva sull'elaborazione dei volti: Bruce & Young

Il primo approccio allo studio dell'elaborazione dei volti dal punto di vista funzionale è stato proposto dagli studiosi Bruce & Young (Bruce, V., & Young, A., 1986). Nello specifico, gli autori hanno proposto un modello che potesse spiegare, dal punto di vista cognitivo, le componenti coinvolte nell'intricato processo di elaborazione e riconoscimento dei volti.

Nello specifico, come mostrato dalla figura 1, questo modello assume che, di fronte ad un volto, si può assistere a 4 fasi consecutive che conducono al riconoscimento del volto associato ad una persona e, infine, al recupero del suo nome.

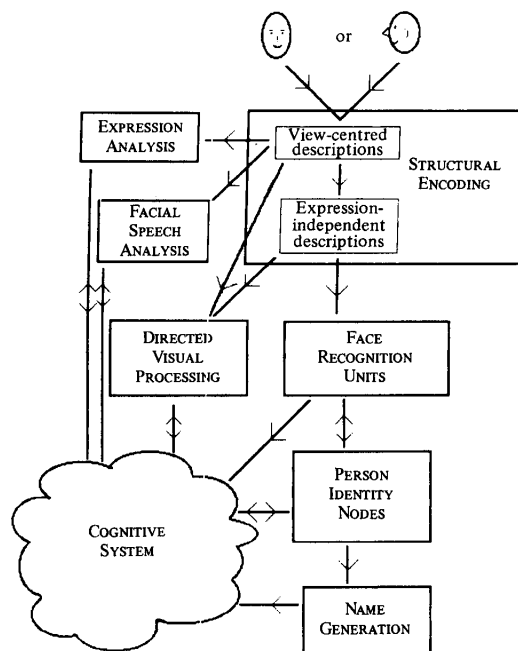


Figura 1. Rappresentazione schematica del modello cognitivo di Bruce & Young (Bruce, V., & Young, A., 1986)

Quando un individuo si trova di fronte a un volto, si possono dunque delineare quattro fasi:

1. Codifica strutturale (*Structural Encoding*): questa fase si basa su una costruzione tridimensionale del volto che si sta osservando, in modo da distinguere un particolare volto da altri. A un livello così precoce di elaborazione di un volto, non vi è nessuna analisi sugli elementi dinamici di esso come, ad esempio, le espressioni facciali. Pertanto, questa

fase si basa solamente su una codifica iniziale degli elementi strutturali del viso. Inoltre, questo primo meccanismo avviene in modo automatico e indipendentemente da processi top-down e attentivi.

2. Unità di riconoscimento facciale (*Face Recognition Units*): in questa fase emergono le cosiddette “FRU” (*Face Recognition Units*), ossia le unità di riconoscimento facciale, che possono essere definite come un magazzino di memoria semantica in cui vengono conservate le rappresentazioni tri-dimensionali – elaborate nel livello precedente – dei volti a noi familiari. Ciò che ne consegue è che se vi è un’associazione positiva tra la rappresentazione tridimensionale di un volto e la FRU associata ad esso, vi sarà familiarità, e quindi l’individuo sarà in grado di riconoscere un determinato volto in quanto già incontrato. Al contrario, se vi è un’associazione negativa fra questi due elementi, significa che il volto verrà categorizzato come sconosciuto e, di conseguenza, non verrà riconosciuto.
3. Unità di identità personale (*Person Identity Nodes*): questa fase permette all’individuo di recuperare le informazioni sull’identità del volto che sta osservando, eccetto il nome.
4. Produzione del nome (*Name Generation*): questa fase finale permette la generazione del nome. Secondo gli autori del modello, vi sono due vie che permettono il recupero del nome, ossia: una prima via, deputata ad elaborare aspetti strutturali del volto, ed una seconda via, deputata ad aspetti più dinamici, come, ad esempio, le espressioni facciali, la direzione dello sguardo, e così via. In ultima istanza, queste due vie confluiscono assieme nel sistema cognitivo, che integrerà le informazioni, e permetterà la produzione del nome associato al volto osservato.

1.1.1. L’elaborazione olistico-configurale e le evidenze a supporto

Il modello cognitivo studiato da Bruce & Young è coerente con una particolare modalità di elaborazione dei volti, ossia l’elaborazione olistico-configurale (Tanaka, J.W. & Farah, M.J., 1993).

Questa tipologia di processamento dei volti parte dall'analisi dei singoli elementi che vengono, infine, integrati in un unico volto: ciò garantisce una costruzione tri-dimensionale della configurazione del volto.

A supporto di questa modalità di elaborazione, vi sono numerose evidenze, tra cui diversi effetti dati dalla manipolazione del volto osservato dal partecipante, come, per esempio: l'effetto inversione (Yin, R.K., 1969), e il *composite effect* (Young, A.W., et al, 1987).

Il primo fenomeno consiste in una riduzione nella performance di memoria nell'elaborazione degli stimoli capovolti, ottenuto tramite il seguente paradigma sperimentale: inizialmente i partecipanti vedono un'immagine e, successivamente, vedono una serie di due immagini. In quest'ultima serie i partecipanti devono indicare quale immagine della serie sia uguale a quella presentata inizialmente. Nello specifico, la manipolazione sperimentale consiste nel modificare l'orientamento delle immagini della serie, tale per cui i soggetti vedono la prima immagine orientata in modo canonico e le due immagini della serie successiva orientate al contrario, o viceversa. Sulla base di questa manipolazione, la performance di memoria è particolarmente deficitaria quando i soggetti vedono le immagini di volti capovolti. Ciò suggerisce che, nonostante anche gli oggetti siano degli stimoli difficili da elaborare se presentati capovolti, gli stimoli dei volti sono quelli più complessi da elaborare in tale condizione.

Invece, il secondo meccanismo, ossia il *composite effect*, si basa sul modificare la metà in alto o in basso di un volto: una metà fa parte del volto di appartenenza, mentre l'altra appartiene a un altro volto noto. Questo effetto fa sì che il soggetto percepisca il volto come non familiare, e, di conseguenza, costruisca una nuova configurazione che comprende le due metà del volto "artificiale". Sorprendentemente, gli autori hanno dimostrato che l'effetto non si osserva se una delle due metà del volto è costituita da una faccia non nota.

Inoltre, sono state proposte delle evidenze elettrofisiologiche a favore dell'esistenza effettiva di questo processo. Nello specifico, diversi studi sono andati ad indagare il ruolo della componente N170 nell'elaborazione olistico-configurale; questa componente ERP si caratterizza per una

deflessione negativa che raggiunge il massimo picco attorno ai 130-200 ms dopo la presentazione dello stimolo (Bentin, S., et al., 1996). Nello specifico, l'attività di questa componente è stata associata all'elaborazione degli elementi strutturali dei volti. Diversi studi hanno indagato il legame tra l'ampiezza di tale componente e l'elaborazione olistico-configurale, sia in persone sane coinvolte in compiti di memorizzazione di volti invertiti (Kovács, P., et al., 2017), che in popolazioni cliniche, come il disturbo dello Spettro Autistico (ASD) (Naumann, S., et al., 2018). Nel primo caso, la componente N170 - assieme alla componente P100 - ha riportato un'ampiezza maggiore e più tardiva nel momento in cui venivano presentati degli stimoli di volti capovolti. Ciò suggerisce che vi è un maggior carico cognitivo nell'elaborazione del volto che, non essendo presentato nella sua posizione canonica, non viene elaborato con la modalità privilegiata di elaborazione, ossia quella olistico-configurale.

Nel secondo caso, invece, ossia negli studi focalizzati sull'ampiezza e latenza della componente N170 in persone ASD, si è dimostrato che, anche in questa popolazione, è presente l'elaborazione olistico-configurale per i volti. Tuttavia, tale modalità di percezione di questi stimoli risulta più tardiva rispetto al gruppo di controllo; nello specifico, si è dimostrato un ritardo nella latenza della componente P100 - una componente ERP indicatore di un'elaborazione visiva precoce - e un aumento, prolungato nel tempo, dell'attività gamma. Quest'ultima componente - anche denominata come GBA (Gamma Band Activity) - mostra attivazione nel range dei 20-200 Hz, ed è generata a livello di diverse strutture cerebrali, ma anche a livello del sistema olfattivo. Inoltre, tale componente si associa al rilascio del glutammato, associato prevalentemente ad attività eccitatoria, e si associa a diverse funzioni cognitive, quali: percezione, attenzione, memoria e plasticità sinaptica (Amo Usanos, C., et al., 2020). Questi risultati permettono di poter affermare che, nonostante il processo non sia alterato nella popolazione ASD, tale modalità di elaborazione dei volti risulti meno automatica ed efficiente rispetto al gruppo di controllo.

1.2. Una prospettiva neurale sull'elaborazione dei volti: Haxby & Gobbini

1.2.1. Un network neurale per l'elaborazione dei volti

L'interesse verso questa branca di ricerca è stato mosso da osservazioni cliniche di pazienti affetti da prosopagnosia, una condizione neuropsicologica che si verifica solitamente in seguito a lesioni di tipo focale, e si caratterizza per l'incapacità di riconoscere i volti osservati, anche se familiari.

A partire dai primi studi condotti su tale condizione (Damasio, A.R., et al., 1982; Meadows, J.C., et al., 1974), si può affermare che vi sia un accordo relativamente alle basi neurali della prosopagnosia. Tale disturbo coinvolgerebbe, infatti, lesioni bilaterali o maggiormente lateralizzate nell'emisfero di destra e a carico della corteccia occipito-temporale ventrale, della corteccia fusiforme o della corteccia temporale anteriore.

Pertanto, lo studio di questa popolazione ha gettato le basi per la ricerca delle regioni neurali implicate nell'elaborazione, percezione e riconoscimento dei volti. Ciò è stato possibile grazie allo sviluppo di tecniche di neuroimmagine che hanno permesso di studiare - in maniera non invasiva - i processi sottostanti alla percezione di facce in persone sane.

Un ulteriore contributo allo studio del sistema di elaborazione dei volti proviene da un filone di ricerca condotto sui primati, principalmente sul macaco rhesus. La maggior parte delle evidenze si è basata su tecniche di impianto di elettrodi e studi di registrazione di singolo neurone (Perrett, D., et al., 1982; Perrett, D., et al., 1990).

Questi studi hanno dimostrato come sia possibile affermare l'esistenza di neuroni sensibili alla presenza dei volti; nello specifico, i neuroni localizzati nel solco temporale superiore e nella corteccia temporale inferiore hanno evidenziato un aumento della loro attività - e quindi una risposta selettiva - in seguito alla visione di facce.

Questo ultimo "cluster" di ricerca ha condotto a un progresso nello studio delle basi neurali della prosopagnosia e, più in generale, ha fornito un importante contributo a una descrizione sempre più approfondita delle regioni implicate nella percezione dei volti.

1.2.2. Il core system e l'extended system

Sulla base delle molteplici evidenze di neuroimmagine funzionale evidenziate nel paragrafo precedente, gli autori Haxby & Gobbini hanno elaborato un modello che, pur basandosi sulle conoscenze fornite dal modello cognitivo di Bruce & Young, sottolinea la distinzione tra due meccanismi implicati nella percezione dei volti, ossia la rappresentazione di aspetti strutturali - e dunque invariabili - e la rappresentazione di aspetti mutevoli e dinamici - cioè le espressioni facciali, il movimento delle labbra e la direzione dello sguardo - che facilitano lo scambio e la comunicazione sociale con altri individui (Haxby, J.V., et al., 2000).

Tale modello viene definito neurale, in quanto i due processi visti sopra hanno avuto riscontro a livello di molteplici evidenze di *neuroimaging* funzionale.

Come raffigurato nella figura 2, la prospettiva neurale prevede due sistemi preposti ai due meccanismi evidenziati, gerarchicamente organizzati e composti da:

1. il *Core System*

Questo sistema si basa sull'analisi visiva dei volti, e comprende tre regioni bilaterali della corteccia visiva occipitotemporale extrastriata, che sono interconnesse e organizzate gerarchicamente. Nello specifico, la regione occipitale inferiore è connessa con le altre due strutture coinvolte nel Core System, ossia la regione fusiforme laterale (LFA) e il solco temporale superiore (STS).

Molteplici evidenze hanno dimostrato come la regione del giro fusiforme laterale, specialmente dell'emisfero destro, sia coinvolta nella costruzione della rappresentazione dell'identità. L'attività di quest'area è, infatti, significativamente maggiore quando gli individui osservano dei volti rispetto a quando osservano stimoli di controllo (come oggetti). Per questa ragione, diversi autori hanno proposto una ri-concettualizzazione del ruolo di quest'area; essa, infatti, dovrebbe essere considerata come un modulo specializzato per la percezione di volti, e, di conseguenza, dovrebbe essere rinomata come "*Fusiform Face Area*", o anche nota più semplicemente come FFA (Kanwisher, N., et al., 1997).

Inoltre, ulteriori evidenze hanno approfondito il ruolo di tale area nel processo di elaborazione facciale. Tali studi hanno evidenziato dei risultati relativi ad un ruolo della FFA nell'elaborazione di aspetti statici e invarianti del volto (Kilts, C.D., et al., 2003; Hoffman, E., Haxby, J, 2000). Di conseguenza, quest'area sembrerebbe non essere coinvolta in tutto il processo di elaborazione delle facce, ma soltanto in una parte di esso.

Al contrario, si è osservato che, di fronte all'elaborazione di aspetti dinamici del volto, si osserva l'attivazione di un'ulteriore area - anch'essa inclusa nel Core System - ossia la regione del solco temporale superiore (Hoffman, E., Haxby, J, 2000; Puce, A., et al., 1998; Perrett, D.I., et al., 1982; Schultz, J., et al., 2009).

Questa area è stata consistentemente associata alla percezione del movimento biologico del corpo umano, delle mani, degli occhi e della bocca (Oram, M. and Perrett, D., 1996; Perrett, D. et al., 1985). Sorprendentemente, è stata riportata un'attivazione consistente di tale area durante un compito di osservazione di volti statici (Hoffman, E. & Haxby, J., 2000; Chao, L.L. et al., 1999); ciò potrebbe essere dovuto al fatto che, nonostante si stia osservando uno stimolo statico, l'individuo sarebbe in grado di percepire alcune caratteristiche del volto che potrebbero variare col movimento, e ciò fa sì che si osservi un'attivazione anche a livello di quest'area.

2. *l'Extended System*

Questo sistema, invece, si caratterizza per una elaborazione maggiormente approfondita di ulteriori aspetti del volto, coinvolgendo ulteriori network neurali, tra cui:

- solco intraparietale e i campi oculari frontali. Tali aree giocano un ruolo nel direzionare l'attenzione spaziale, sfruttando *cues* visive, come, ad esempio, la direzione dello sguardo e la posizione della testa.
- amigdala e l'insula e le altre aree afferenti al sistema limbico. Queste aree neurali permettono di dare un contenuto emotivo all'espressione facciale veicolata dal volto
- Il giro temporale superiore e la corteccia uditiva. Tali aree sono deputate all'elaborazione del contenuto fonemico osservato nel movimento delle labbra senza emissione di suoni.

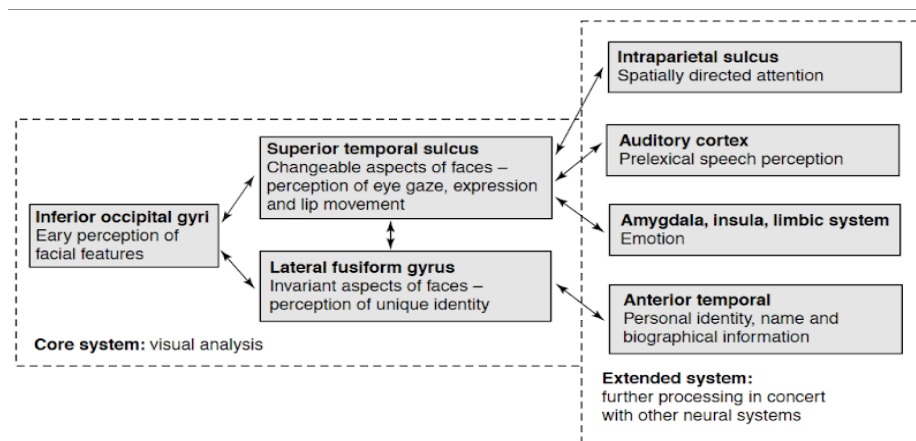


Figura 2. Rappresentazione schematica del modello neurale di Haxby & Gobbini (Haxby, J.V., et al., 2000).

1.2.3. Evidenze a supporto della dissociabilità del modello neurale

Il modello neurale ha permesso di studiare e comprendere i meccanismi sottostanti la percezione dei volti, ed ha essenzialmente messo in luce due regioni coinvolte in questo processo, ossia la FFA e il solco temporale superiore.

Inoltre, la letteratura ha ampiamente approfondito il legame tra queste due aree, cercando di chiarire il nesso tra di esse e, soprattutto, il ruolo specifico che ciascuna di essa esercita nell'elaborazione di particolari aspetti del volto osservato. Gli autori del modello neurale, assieme ad altri studiosi, hanno dimostrato, in maniera univoca, la presenza di una forte doppia dissociazione tra tali regioni cerebrali. Un contributo importante deriva da Hasselmo e collaboratori, in cui si è studiata la risposta selettiva di popolazioni di neuroni all'identità o all'espressione del volto osservato (Hasselmo, M.E., et al., 1989). Nello specifico, l'obiettivo di tale studio era indagare se la percezione di caratteristiche facciali differenti - in questo caso l'identità o l'espressione facciale di un viso - venisse codificata da popolazioni di neuroni diverse nei macachi e, di conseguenza, in maniera selettiva per un determinato elemento del volto. Pertanto, le scimmie osservavano tre immagini di altri conspecifici con tre diverse espressioni facciali: 1) espressione neutra; 2) espressione di aggressività con la bocca leggermente aperta; e 3) espressione di aggressività con la bocca totalmente aperta.

Utilizzando la registrazione di singolo neurone, i risultati hanno mostrato che - nel cervello del macaco *rhesus* - vi sono delle popolazioni neuronali localizzate nel giro temporale inferiore specifiche per il processamento dell'identità facciale; al contrario, vi sono altre popolazioni poste nel solco temporale superiore che, invece, dimostrano selettività per l'espressione facciale dei volti osservati. Un ulteriore contributo a supporto dell'ipotesi di dissociabilità fra queste due regioni è stato fornito da studi condotti anche su partecipanti umani. Nello specifico, in uno studio (Hoffman, E.A., et al., 2000), partendo da delle ipotesi di dissociabilità tra le due regioni - ossia che il giro fusiforme sia specifico per l'identità, e il solco temporale superiore lo sia per aspetti mutevoli, i partecipanti hanno svolto un compito passivo di percezione di volti sfruttando la tecnica di risonanza magnetica funzionale (fMRI). I risultati hanno confermato le ipotesi, ossia che vi è una dissociazione tale per cui la percezione di caratteristiche immutabili - quali l'identità - sia mediata dal giro fusiforme, e la percezione di aspetti mutevoli - come la direzione dello sguardo - sia, invece, mediata dal solco temporale superiore.

Si può quindi affermare che tali risultati supportano l'idea che se l'attenzione viene direzionata su aspetti mutevoli si osserverà una risposta amplificata da parte del solco temporale superiore; viceversa, direzionare l'attenzione verso l'identità del volto si assocerà ad un aumento dell'attività della FFA.

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

1.3.1. Evidenze

A seguito della pubblicazione del modello neurale di Haxby & Gobbini (Haxby, J.V., et al., 2000), la letteratura ha ampiamente investigato il ruolo delle aree comprese nell'approccio neurale e della loro dissociabilità. A fronte di tre principali linee di evidenze, gli autori Duchaine & Yovel, nel 2015 (Duchaine, B. & Yovel, G., 2015), hanno proposto un nuovo modello di inquadramento per lo studio dell'elaborazione dei volti.

Le evidenze che hanno condotto ad una revisione del lavoro trattato da Haxby & Gobbini (Haxby, J.V., et al., 2000) sono le seguenti:

- 1) Evidenze a supporto di vie multiple durante l'elaborazione dei volti
- 2) Evidenze a supporto del ruolo della FFA nell'elaborazione di caratteristiche mutevoli dei volti
- 3) Evidenze a supporto del ruolo di ulteriori aree localizzate anteriormente e deputate all'elaborazione dei volti

Per quanto concerne il primo gruppo di evidenze, è importante innanzitutto sottolineare come, nel modello neurale visto precedentemente, l'OFA (*Occipital Face Area*) sia stata considerata dagli autori come il punto di ingresso per l'elaborazione dei volti. Tuttavia, la letteratura evidenzia la presenza di punti di ingresso multipli al sistema di elaborazione delle facce. Nello specifico, un contributo fondamentale deriva dalla neuropsicologia, più specificatamente dal disturbo della prosopagnosia (Sorger, B., et al., 2007). Un paziente - noto come PS - in seguito a una lesione focale alle aree OFA di destra e FFA di sinistra, ha sviluppato il disturbo della prosopagnosia. Nonostante la presenza di lesioni a delle regioni essenziali per il riconoscimento dei volti, il paziente continuava a mostrare attivazioni alle aree OFA di sinistra e pSTS-FA di destra, portando evidenze a supporto del fatto che l'area FFA non sia l'unica regione deputata all'ingresso al sistema di elaborazione dei volti e suggerendo, quindi, che il riconoscimento facciale è un processo distribuito e complesso, basato sull'esistenza di *entry-points* multipli.

Relativamente al secondo filone di evidenze, ossia quelle inerenti ad un possibile ruolo dell'area FFA nell'elaborazione di aspetti mutevoli del volto, i contributi più importanti sono stati forniti da studi piuttosto recenti, che hanno evidenziato il ruolo dell'area FFA nell'elaborazione di aspetti dinamici del volto, relativi, soprattutto alle espressioni facciali (Calder, A.J., 2011, Bernstein & Yovel, 2015). È importante ricordare che, nel modello precedente, l'area presa in esame veniva considerata come una regione deputata unicamente al processamento di aspetti statici del volto, come, ad esempio, l'identità (Haxby, J.V., et al., 2000).

Questo aspetto ha ricevuto supporto da molteplici evidenze derivanti da studi neuropsicologici (Barton, J.J., et al. 2002; Wada, Y. & Yamamoto, T., 2001) e da studi di risonanza magnetica funzionale di adattamento (fMRI-A) (Gilaie-Dotan, S. & Malach, R., 2007, Rotshtein, P., et al., 2005).

Tuttavia, come riportato dagli studi che hanno indagato il legame tra il processing di caratteristiche mutevoli e l'attivazione dell'area FFA (Calder, A.J., 2011, Bernstein & Yovel 2015), la FFA si attiverebbe alla visione di espressioni facciali, e la sua risposta sembra essere modulata dall'intensità dell'espressione facciale osservata (Surguladze, S.A., et al., 2003).

In relazione a questo punto, la letteratura ha dimostrato che sia pSTS-FA che FFA potrebbero avere un ruolo nel riconoscimento delle espressioni facciali di carattere emotivo; ciò che differenzerebbe tali aree è il tipo di informazione che ciascuna di esse estrae dalle espressioni facciali percepite.

Infine, per quanto concerne il terzo e ultimo filone di evidenze, ossia quelle relative a un possibile ruolo di aree localizzate anteriormente nell'elaborazione dei volti, studi neuropsicologici e che hanno utilizzato la risonanza magnetica funzionale di adattamento (fMRI-A), hanno contribuito a supportare l'ipotesi del coinvolgimento di aree localizzate anteriormente in questo processo.

Ad esempio, in uno studio condotto su pazienti prosopagnosici (Avidan, G., et al., 2014), gli autori hanno osservato che le regioni del noto "*core system*" si attivano in maniera univoca sia nei controlli che nei pazienti; tuttavia, questo risultato suggerisce che le regioni del *core system* non siano le uniche a supportare il normale processo di riconoscimento dei volti. Gli autori, infatti, hanno osservato una riduzione dell'attività della corteccia temporale anteriore dell'emisfero destro riscontrabile solamente nei pazienti con prosopagnosia. Un ulteriore contributo è stato fornito da uno studio condotto sull'elaborazione di volti con espressione facciale emotiva, con l'obiettivo di confermare il ruolo selettivo del lobo temporale anteriore destro nell'elaborazione dei volti (Yang, H., et al, 2014). Nello specifico, gli autori, utilizzando la fMRI-A, hanno presentato, a un paziente con prosopagnosia e ad un gruppo di controllo, delle coppie di immagini di celebrità, modulando l'uguaglianza tra le due immagini (e.g. Natalie Portman-Natalie Portman vs Natalie Portman-Uma Thurman). I risultati hanno

evidenziato che il lobo temporale anteriore (ATL) mostrava un'attivazione simile nella condizione di volti uguali - anche se variava l'espressione facciale o l'illuminazione di essi -, mentre, nella seconda condizione, tale area mostrava una differenza di attivazione fra i due stimoli, suggerendo il ruolo dell'ATL nell'elaborazione di aspetti strutturali e invariati del volto legati all'identità. Inoltre, questo dato suggerisce che - anche in casi di lesioni ad aree specializzate nel riconoscimento dei volti, come OFA e FFA - l'ATL gioca un ruolo importante nel rappresentare l'identità e gli aspetti invariati del volto.

In aggiunta, in uno studio che ha indagato l'elaborazione delle espressioni facciali dinamiche (Pitcher, D., et al., 2011), gli autori hanno riscontrato delle attivazioni non solo a carico di pSTS, ma anche di altre aree, come: il solco temporale superiore anteriore e il giro frontale inferiore. Quest'ultima area, come si vedrà nel secondo capitolo, è di particolare importanza in quanto si ritiene che essa corrisponda alla sede dei neuroni specchio (Gallese, V., et al., 1996; Rizzolatti, G., et al., 1996; di Pellegrino, G., et al., 1992).

1.3.2. Il modello di Duchaine e Yovel

Alla luce di tale importante avanzamento nella ricerca, è risultato necessario dover modificare e aggiornare il modello neurale di Haxby & Gobbini.

Il nuovo modello revisionato da Duchaine & Yovel (Duchaine, B., Yovel, G., 2015) comprende le regioni considerate in precedenza dal modello neurale, ma include in esso anche le aree di cui si è parlato sopra: il lobo temporale anteriore (ATL-FA, ossia *anterior temporal lobe-face area*), la porzione anteriore del solco temporale superiore (aSTS-FA) e il giro frontale inferiore (IFG-FA). La completa raffigurazione del presente modello è presente nella figura 3.

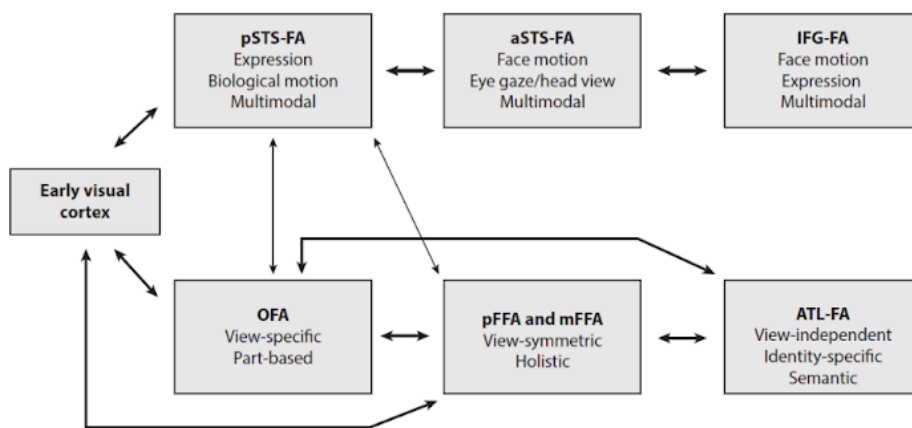


Figura 3. Rappresentazione schematica del modello di Duchaine & Yovel (Duchaine, B., Yovel, G., 2015)

Nel complesso, gli autori del modello prevedono l'esistenza di due vie separate coinvolte nel processamento dei volti, ossia: la *via ventrale* - coinvolta nella costruzione dell'identità dello stimolo percepito - e una *via dorsale*, coinvolta nella percezione della localizzazione dello stimolo nello spazio e, di conseguenza, delle azioni esercitabili su di esso.

La via ventrale comprende le aree localizzate posteriormente e considerate come specifiche per i volti, cioè: OFA, FFA e ATL-FA. Si può affermare che la via ventrale permetta l'elaborazione degli aspetti strutturali, ossia corrispondenti alla forma del volto. Inoltre, in ultima istanza, questa via combina la rappresentazione strutturale del volto appena incontrato con le rappresentazioni di volti familiari immagazzinate nell'ATL-FA.

La seconda via - ossia quella dorsale - è, invece, caratterizzata per la rappresentazione di informazioni mutevoli e dinamiche del volto; secondo gli autori, questo meccanismo avviene durante le interazioni sociali, che richiedono all'individuo di aggiornare costantemente le informazioni che ricava dai volti osservati.

1.4. Evidenze di una terza via specializzata negli aspetti dinamici della percezione sociale: il modello di Pitcher e Ungerleider

Recentemente, nel 2021, gli autori Pitcher e Ungerleider hanno proposto una revisione del modello precedente di Duchaine e Yovel (Pitcher, D. & Ungerleider, L.G., 2021). Tale modello si è basato sulla distinzione tra le due vie visive preposte all'elaborazione facciale, ossia la via dorsale e la via ventrale, che, come detto in precedenza, sono deputate rispettivamente all'elaborazione delle svariate azioni che si possono eseguire di un oggetto, e all'elaborazione dell'identità di esso.

Tuttavia, questo modello nasce dall'esigenza di introdurre il ruolo di una terza via che, in base alle evidenze in letteratura, sarebbe deputata al processamento degli aspetti dinamici della percezione sociale.

Gli studi esistenti hanno riportato la presenza di tale via sia negli umani che nei primati. Più specificatamente, negli umani, essa sembrerebbe cominciare dalla corteccia visiva primaria (V1) e proseguire fino alla porzione posteriore di STS con proiezioni tramite l'area temporo-mediale selettiva per il movimento (MT). Al contrario, nei primati essa comincia ugualmente dalla corteccia visiva primaria (V1), ma gli input vengono inviati alla porzione dorsale e caudale del solco temporale superiore.

Come anticipato in precedenza, tale via si attiva in modo selettivo alla presenza di volti e corpi in movimento e garantisce un'ampia serie di abilità socio-cognitive di alto livello in quanto basate sull'elaborazione di informazioni dinamiche e mutevoli. Tali abilità coinvolgono principalmente il riconoscimento delle espressioni facciali, la discriminazione della direzione dello sguardo, l'abilità di integrazione audio-visiva del parlato e il saper interpretare il comportamento altrui.

Un supporto all'esistenza di una terza via è stato fornito da un filone di ricerca inerente al bias attentivo verso il campo visivo controlaterale, anche noto come *controlateral visual field bias* (Hemond CC, et al., 2007; Pitcher, D., et al., 2020). Questo bias deriva dalla nozione che gli input visivi provenienti da entrambi i campi visivi vengono preferenzialmente elaborati nell'emisfero controlaterale. Gli studi condotti in questo ambito hanno cercato di verificare se tale bias fosse

ugualmente presente anche durante l'elaborazione di stimoli di più alto ordine - ossia i volti - e coinvolgesse le aree deputate alla loro elaborazione. I risultati hanno riportato che il bias controlaterale sembrerebbe essere presente soltanto nelle aree selettive ai volti comprese nella via ventrale; al contrario, pSTS non mostra alcuna attivazione a fronte di tale bias e, di conseguenza, nessuna sensibilità ad esso (Pitcher, D., et al., 2020).

Quest'ultimo risultato è di particolare rilevanza in quanto, secondo gli autori, esso permette di fare una distinzione netta tra le aree della via ventrale e pSTS. In particolare, secondo gli autori, la porzione posteriore del solco temporale superiore non mostrerebbe alcuna attivazione di fronte a tale bias poiché è deputata all'elaborazione di aspetti mutevoli e dinamici della cognizione sociale, ossia stimoli che necessitano di un'elaborazione approfondita in tutto il campo visivo.

In conclusione, gli autori del modello affermano che la terza via si sia sviluppata come meccanismo specializzato all'elaborazione di informazioni facciali di tutto il campo visivo al fine di facilitare l'interazione sociale con gli altri individui (Pitcher, D., & Ungerleider, L.G., 2021).

2. Capitolo 2 - La Simulazione Sensorimotoria e l'ipotesi del Feedback Facciale a confronto

2.1. La simulazione sensorimotoria

Il processo di riconoscimento di un'espressione facciale in un volto sembrerebbe essere mediato, oltre che dalle cortecce visive, anche da quelle somatosensoriali e motorie. Ciò conferma la stretta relazione presente tra la percezione, l'esperienza diretta e la simulazione sensorimotoria, che trova conferma anche a livello della contiguità anatomica tra le aree deputate a tali funzioni.

2.1.1. La scoperta dei neuroni specchio e l'*embodied cognition*: il punto di ingresso allo studio della simulazione sensorimotoria

Vi sono due meccanismi che hanno fornito un supporto all'avanzamento della ricerca nell'ambito della simulazione sensorimotoria, ossia la scoperta dei neuroni specchio e le teorie sulla cognizione incarnata (*embodied cognition*). Nello specifico, lo studio dei neuroni specchio ha permesso di introdurre allo studio del meccanismo di simulazione sensorimotoria, mentre le teorie sull'*embodied cognition* hanno fatto da cornice a tutte le teorie che postulano l'esistenza di processi di *embodiment*, tra le quali rientra anche la teoria della Simulazione Sensorimotoria.

Lo studio dei meccanismi di simulazione sensorimotoria è stato approfondito grazie alle scoperte nei campi dei neuroni specchio e dell'*embodied cognition*, che hanno fornito un quadro teorico per comprendere i processi alla base del riconoscimento degli stati emotivi altrui, inferiti dalle espressioni facciali, e della conseguente comprensione emotiva dell'altro.

Nello specifico, lo studio dei neuroni specchio è stato inizialmente proposto dagli autori Gallese, Rizzolatti e di Pellegrino che, tramite diverse ricerche sui primati, hanno dimostrato l'esistenza di un gruppo di neuroni sensibile sia all'esecuzione di un'azione di manipolazione di un oggetto, che all'osservazione della stessa azione svolta da un altro primato o da un essere umano (Gallese, V., et al., 1996; Rizzolatti, G., et al., 1996; di Pellegrino, G., et al., 1992). Tale gruppo di neuroni è stato

identificato nei macachi tramite la tecnica di registrazione di singolo neurone a livello della corteccia ventrale premotoria (anche nota come area F5), e, successivamente, anche a livello del lobulo parietale inferiore (IPL).

Successivamente, diverse ricerche hanno mostrato come sia necessario parlare di un sistema di neuroni specchio (MNS), anziché di singole popolazioni di tale classe di neuroni, in quanto vi sono delle aree che si attivano in maniera simultanea quando un individuo esegue o osserva delle azioni svolte con le mani o con la bocca. Questo sistema sembra comprendere diverse regioni, tra cui: il solco temporale superiore (STS), porzioni della corteccia ventrale premotoria (F5), la corteccia parietale - più precisamente il lobulo parietale inferiore - la corteccia frontale mediale (MFC) e la corteccia motoria primaria (M1).

Nell'essere umano, il sistema dei neuroni specchio comprenderebbe un vasto network che coinvolgerebbe diverse regioni, tra cui: la corteccia parietale posteriore - specialmente il lobulo parietale inferiore (IPL), la porzione ventrale della corteccia premotoria, e il giro frontale inferiore (IFG). Inoltre, tale circuito neurale includerebbe anche l'area motoria primaria (M1), le aree premotoria (pre-SMA) e motoria supplementare (SMA). Infine, diverse evidenze hanno riportato la presenza di neuroni specchio anche a livello di porzioni del solco temporale superiore (STS), anche se essi mostrano attivazione solamente durante l'elaborazione di informazioni sensoriali e non motorie.

Sebbene inizialmente la letteratura si sia focalizzata principalmente sull'attivazione del sistema dei neuroni specchio in relazione alla comprensione ed esecuzioni del movimento delle mani, ulteriori evidenze hanno cercato di ampliare lo studio di tale popolazione di neuroni, andando ad indagare, processi cognitivi più complessi, come l'empatia, l'apprendimento per imitazione o movimenti eseguiti da altri distretti corporei come, per esempio, i movimenti della bocca (Keysers, C. & Gazzola, V., 2006; Iacoboni, M., 2009; Oh, H., et al., 2019; Ferrari, P.F., et al., 2003). In questo ultimo caso, gli autori hanno evidenziato l'esistenza di neuroni specchio specifici per i movimenti di tale distretto corporeo; infatti, un numero consistente di neuroni motori della bocca si attivano

anche quando la scimmia osserva un individuo eseguire azioni con le labbra (Ferrari, P.F., et al., 2003). Nello specifico, tali attivazioni erano presenti, in maniera particolarmente significativa, in seguito alla visione di azioni digestive, e anche in seguito a movimenti veicolanti un significato comunicativo che, nel caso del seguente studio, coincideva con il *lip smacking*, un comportamento affiliativo tipicamente eseguito dai macachi, che segnala attrazione verso un particolare stimolo (Tramacere, A. & Ferrari, P.F., 2016).

Inoltre, sulla base delle molteplici evidenze sui primati, è possibile affermare che i sistemi di neuroni specchio localizzati nelle regioni fronto-parietali, insulari, delle corteccie del cingolo e l'amigdala, supportano i processi di empatia incarnata. Tale processo sembra essere associato allo sviluppo di meccanismi come il *facial mimicry* e la sincronizzazione comportamentale (Tramacere, A. & Ferrari, P.F., 2016).

Infine, gli studi su modello umano hanno sottolineato come i circuiti descritti sopra interagiscano con aree della corteccia prefrontale e temporo-parietale, regioni deputate a funzioni cognitive di più alto livello, come, ad esempio, l'empatia cognitiva e l'attribuzione di stati mentali (Iacoboni, M., et al., 2004; Saxe, R., 2009).

Un concetto chiave legato all'attività di questi neuroni è la simulazione sensorimotoria, ovvero la capacità di rappresentare internamente le azioni e le esperienze motorie degli altri come se fossero proprie. In altre parole, tale concetto si riferisce al processo mediante il quale il cervello simula internamente un'azione o una sensazione, anche in assenza della sua esecuzione fisica. In questo contesto, i neuroni specchio svolgono un ruolo centrale, in quanto permettono di costruire delle rappresentazioni interne delle azioni osservate e di generare, di conseguenza, una corrispondenza diretta tra la percezione di un movimento e i circuiti motori ad esso dedicati.

Inoltre, come anticipato precedentemente, la simulazione sensorimotoria si colloca all'interno della cornice teorica dell'*embodied cognition*, un insieme di formulazioni teoriche che affermano che il processo di riconoscimento e percezione di un'emozione avviene attraverso un insieme di informazioni - definite "incarnate" - che permettono all'individuo di riprodurre e simulare nel

proprio stato emotivo interno l'emozione osservata nell'altro (Niedenthal, P.M., 2007). Tali informazioni coinvolgono input di carattere percettivo, somatoviscerale e motorio.

In altre parole, tale teoria afferma che la percezione e il riconoscimento di uno stimolo emotivo - come, ad esempio, la percezione di un orso aggressivo - genera stati neurali, corporei e di percezione soggettiva dell'emozione veicolata da un determinato stimolo.

La creazione di tali stati interni fa sì che, il solo pensiero dello stimolo emotigeno (in questo caso, l'orso aggressivo), riattivi gli stati interni associati ad esso.

I due fenomeni citati precedentemente hanno permesso di gettare le basi e porre maggiore attenzione allo studio delle componenti dinamiche e mutevoli dei volti, tra cui le espressioni facciali. Tali contributi hanno permesso di ampliare la ricerca in questo contesto e hanno supportato lo sviluppo di due ipotesi che hanno fatto da sfondo allo studio dell'elaborazione ed interpretazione delle espressioni facciali e che verranno trattate di seguito.

2.1.1. La simulazione sensorimotoria e le sue tre componenti

Secondo alcuni autori, le abilità alla base del riconoscimento delle emozioni nelle espressioni facciali altrui si basano su un meccanismo noto come *simulazione sensorimotoria*, che permette agli individui di ricreare in sé stessi l'espressione facciale osservata negli altri, tramite meccanismi di riproduzione che avvengono prettamente a livello centrale, ma che coinvolgono anche meccanismi motori a livello facciale.

Si parla di simulazione sensorimotoria in quanto l'attività corticale motoria e somatosensoriale coincide - in gran parte - con l'attività prodotta durante la produzione della stessa espressione facciale, e ciò permetterebbe all'individuo di esperire a sua volta l'emozione veicolata dal volto tramite il meccanismo del *facial feedback* (Wood A., et al., 2016).

Tale capacità si fonda su un meccanismo noto come *esperienza facciale sensorimotoria*, ossia un processo di apprendimento nel riconoscimento delle espressioni facciali altrui che dipende in gran parte dalla possibilità di essere in grado di eseguirle ugualmente da parte dell'osservatore.

Molteplici evidenze hanno dimostrato che non solo la simulazione sensorimotoria è in grado di contribuire al riconoscimento delle espressioni facciali altrui, ma è anche in grado di modulare l'espressione emotiva interna degli individui. Relativamente a questo punto, vi sono diverse evidenze sperimentali in letteratura, tra cui alcuni studi che hanno dimostrato che la manipolazione del sorriso nei partecipanti - sia sani (Wiswede, D. et al., 2009), che con depressione lieve (Lin, W. et al., 2015) - riduca le risposte neurali in relazione agli errori (componente nota come ERP, *error related potential*). Inoltre, si è dimostrato che indurre la produzione di un sorriso nei partecipanti durante un compito stressante si associa ad una riduzione dell'attività cardiovascolare (Kraft, T.L., et al., 2012). Pertanto, alla luce delle evidenze riportate sopra, è possibile affermare come la simulazione dell'espressione facciale altrui sia in grado di attivare, nello stato interno dell'individuo, i circuiti emotivi associati a tali emozioni.

Sulla base di ciò, Wood e collaboratori hanno proposto un modello alla base dei meccanismi di simulazione e riconoscimento delle espressioni facciali altrui, riportato nella figura 4 (Wood, A., et al., 2016). Nello specifico, il presente modello sottolinea come, nel momento in cui un individuo osserva un volto con un'espressione emotiva (in questo caso di paura), tale percetto attiva - a livello neurale - le cortecce somatosensoriali selettive per i volti ed altre aree di controllo motorio. L'attivazione di tali aree determina anche l'attivazione di ulteriori regioni deputate al processing delle emozioni e ciò si associa ad una serie di cambiamenti nell'individuo di carattere psicologico, fisiologico e cognitivo.

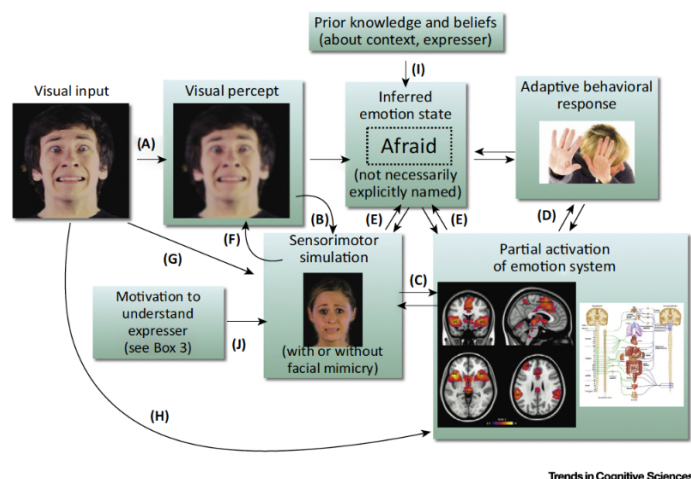


Figura 4. Rappresentazione schematica del modello descritto da Wood e collaboratori. Nello specifico: A) la persona osserva un volto spaventato; B) il percepito attiva le regioni delle cortecce somatosensoriali selettive per il volto e le regioni per il controllo motorio che conducono all'attivazione della mimica facciale; C) l'attività delle regioni somatosensoriali, motorie e premotorie genera l'attivazione delle regioni cerebrali coinvolte nell'elaborazione della paura: ciò conduce a cambiamenti osservabili di carattere cognitivo, comportamentale e fisiologico nell'individuo o D) alla simulazione di tali stati. E) Ciò permette all'individuo di riconoscere, in modo implicito o esplicito, l'emozione del volto osservato; G) La simulazione e H) la risposta emotiva ad un'espressione facciale non richiedono consapevolezza di tale stimolo. I) Inoltre, la conoscenza del significato di un'emozione contribuisce alle abilità di riconoscimento dello stato emotivo altrui, mentre, J) la motivazione individuale a comprendere le emozioni del volto osservato aumenta la probabilità che si verifichino i fenomeni di simulazione sensorimotoria e di mimica facciale.

Inoltre, secondo il modello, l'attivazione delle regioni deputate al processamento delle emozioni permetterebbe all'individuo di riconoscere velocemente l'emozione veicolata dal volto osservato inizialmente. È importante sottolineare come i meccanismi di simulazione e di modulazione della risposta emotiva avvengano solitamente al di fuori della consapevolezza individuale.

In una recente metanalisi (Japee, S., 2024), è stata proposta una descrizione dettagliata dei tre processi che sottostanno alla simulazione sensorimotoria (figura 5).

Tali processi coinvolgono:

- 1) l'abilità facciale di saper muovere i muscoli

Questa prima componente si rifà all'abilità di poter muovere i muscoli facciali e, di conseguenza, eseguire le diverse espressioni facciali.

2) la mimica facciale, o anche nota come *Facial Mimicry*

Il ruolo di questo meccanismo deriva dall'evidenza che vi è un'attivazione implicita - *covert* - dei muscoli facciali in seguito all'osservazione di una particolare espressione facciale (Dimberg, U., et al., 2000).

Questo meccanismo è presente a partire dalla nascita, ed è anche presente nei primati. Pertanto, se un neonato osserva il sorriso del suo *caregiver*, le informazioni visive veicolate dal sorriso verranno tradotte in atti motori nei muscoli facciali del neonato - ossia l'osservatore (Soussignan, R., et al., 2018). Più specificatamente, sembrerebbe che questa abilità sia presente a partire dai 5 mesi di vita. Come detto in precedenza, questo meccanismo emerge a partire dai primi mesi di vita e, con l'aumentare dell'esperienza nella percezione delle espressioni facciali, gli individui ne diventano veri e propri esperti. In uno studio (Dimberg, U. & Thunberg, M., 1998), gli autori, utilizzando la tecnica dell'elettromiografia (EMG), hanno indagato le reazioni facciali di partecipanti adulti alla visione di immagini di volti felici e tristi. La semplice osservazione di tali stimoli era sufficiente per generare dei movimenti rapidi a livello dei muscoli facciali dello zigomatico maggiore e del corrugatore del sopracciglio (*corrugator supercilii*), circa 300-400 msec dopo la presentazione dello stimolo.

3) il *Facial Feedback*

Nel 1885, William James e Carl Lange (James, W., 1884; Lange, C., 1885), indagarono l'associazione tra la sensazione propriocettiva derivata dall'esecuzione di una data espressione facciale all'emozione associata ad essa.

Secondo Coles (Coles, N.A., et al., 2019), l'ipotesi del feedback facciale farebbe sì che le emozioni esperite dagli individui siano influenzate dalle loro espressioni facciali. Ciò significa che il movimento facciale genera un feedback sensorimotorio che contribuirebbe alla sensazione di una determinata emozione. In altre parole, l'ipotesi presa in esame afferma che l'esperienza emotiva individuale è influenzata dal feedback ricevuto dal movimento dei propri muscoli facciali.

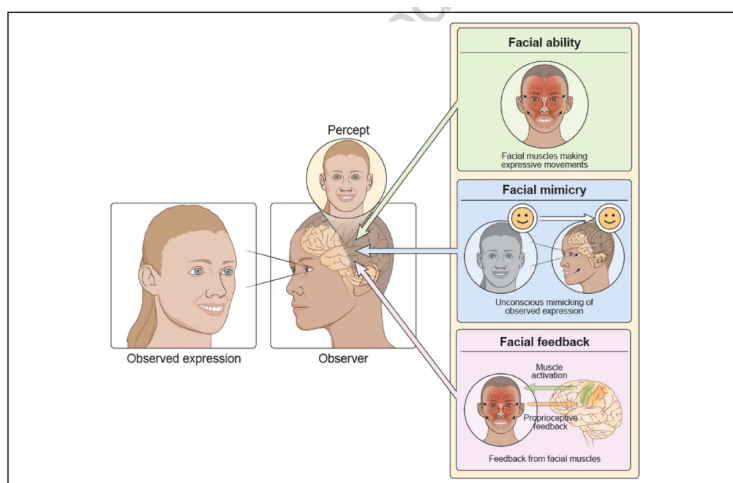


Figura 5. Rappresentazione dei tre processi sottostanti la simulazione sensorimotoria (Japee, S., 2024).

Come si vedrà più avanti, l'ipotesi del *facial feedback* è stata testata dallo studioso Strack e collaboratori (1988) tramite un paradigma che è stato ampiamente replicato. Esso si basa sulla manipolazione della mimica facciale per ottenere un sorriso o un'espressione di broncio: ciò viene eseguito chiedendo al partecipante di tenere una penna tra i denti - inducendo un sorriso - o tra le labbra - inducendo, in questo caso, un broncio.

In generale, si potrebbe affermare che, come detto in precedenza, l'esperienza sensorimotoria si basa sulle tre componenti analizzate e che queste ultime contribuiscano all'abilità di riconoscere le espressioni facciali altrui.

2.1.2. Evidenze sul ruolo della simulazione sulla percezione delle espressioni facciali in persone con blocco della mimica “naturale” e “artificiale”

L'esperienza sensorimotoria determina la capacità di ciascun individuo di percepire e riconoscere la vasta gamma di espressioni facciali realizzabili. Per questa ragione, si ritiene che tale abilità dipenda dalla modalità tramite cui tale esperienza viene collezionata.

A tale scopo, nel corso degli ultimi decenni, si sono sviluppati molteplici filoni di ricerca volti a studiare le implicazioni di tale meccanismo in persone con ridotta capacità nel riconoscere le espressioni facciali. Questa condizione può essere osservata sia in maniera naturale - ossia senza alcuna manipolazione sperimentale - in alcune popolazioni affette da paralisi facciali, sia tramite manipolazione artificiale e temporanea.

Entrambe le condizioni risultano particolarmente importanti in questo contesto in quanto forniscono un modello per investigare gli effetti dell'incapacità di esprimere le emozioni tramite il proprio volto nelle abilità di riconoscimento delle espressioni facciali.

Nel primo caso, la popolazione maggiormente studiata in questo contesto è la sindrome di Moebius (MBS), una condizione congenita caratterizzata dall'assenza o da un ridotto sviluppo del sesto e del settimo nervo cranico, noti rispettivamente come nervo abducente e nervo facciale, che determinano delle paralisi facciali e movimenti saccadici deficitari. La conseguenza di tale condizione si manifesta nell'incapacità di riprodurre le espressioni facciali, probabilmente dovuta all'assenza di un normale sviluppo dei programmi motori sufficienti per poter riprodurre una determinata espressione facciale. In un recente studio, Japee e colleghi (2023) hanno investigato il legame tra la simulazione sensorimotoria e la percezione di svariate espressioni facciali in persone MBS (Japee, S., et al., 2023). Gli autori hanno evidenziato come la paralisi facciale dei partecipanti MBS compromettesse la percezione dei movimenti e delle espressioni facciali, e non di altri movimenti corporei. In generale, il presente studio sottolinea come l'incapacità di muovere una parte del proprio corpo - in questo caso il volto - impatti negativamente la percezione delle informazioni motorie ed emotive altrui provenienti dal medesimo distretto corporeo.

Inoltre, in un altro studio elettroencefalografico (EEG), gli autori hanno testato l'ipotesi che individui con MBS presentassero una ridotta connettività funzionale tra le cortecce sensorimotorie e visive durante la presentazione di stimoli di volti con diverse espressioni facciali (Quettier, T., et al., 2023). Tale studio ha dimostrato una ridotta e atipica connettività funzionale tra le regioni prese in esame nei partecipanti MBS, soltanto in riferimento agli stimoli dei volti. In generale, i dati dello studio preso in esame supportano le teorie della simulazione sensorimotoria e l'evidenza che vi è una relazione tra le cortecce sensorimotorie e visive durante l'elaborazione delle espressioni facciali.

Un ulteriore contributo (Schiano Lomoriello, A., et al., 2020), ha dimostrato che persone con MBS presentavano dei deficit nel riconoscimento di diverse espressioni facciali emotive - nello specifico la tristezza, la paura e il disgusto. Inoltre, tale deficit si manifestava tramite una tendenza a confondere tali emozioni con la condizione di controllo (espressione neutra).

Contributi differenti sono stati forniti, invece, nei casi in cui si è indagato il medesimo meccanismo - ossia la perdita del movimento della mimica facciale - tramite manipolazioni artificiali e, di conseguenza, reversibili. Le manipolazioni più note in letteratura sono quelle ottenute, per esempio, tramite l'utilizzo del gel indurente per bloccare la mimica facciale (Wood, A., et al., 2016), o di parafreni (Rychlowska, M., et al., 2014). Per esempio, Wood e collaboratori hanno testato l'ipotesi che l'applicazione di un gel indurente - in grado di bloccare la mimica facciale - fosse in grado di alterare le abilità di discriminazione di stimoli raffiguranti volti. I risultati del presente studio hanno confermato le ipotesi formulate inizialmente, ossia che la manipolazione sperimentale peggiorasse selettivamente la performance nella discriminazione delle espressioni facciali dei partecipanti. Inoltre, tale evidenza suggerisce che l'elaborazione somatosensoriale dei volti potrebbe contribuire all'elaborazione visiva di tali stimoli e, di conseguenza, alla costruzione delle rappresentazioni facciali.

Nel complesso, le evidenze presentate forniscono un solido sostegno alle teorie della simulazione sensorimotoria, sottolineando il ruolo che i processi sensorimotori svolgono nelle abilità di percezione e discriminazione delle diverse emozioni.

Pertanto, si può affermare che, sulla base delle evidenze esaminate finora, i processi di simulazione sensorimotoria permettono all'individuo di accedere rapidamente alle conoscenze inerenti agli stati emotivi associati ad una specifica espressione facciale; ciò garantisce, durante l'elaborazione emotiva, di riattivare tali stati - depositati nei circuiti emotivi - e, di conseguenza, aggiornarli sulla base di nuove informazioni visive, tramite meccanismi di integrazione multi-modale (Wood, A., et al., 2016).

2.2. L'ipotesi del feedback facciale

L'ipotesi del feedback facciale si fonda sull'idea che l'esperienza emotiva individuale sia influenzata dal feedback ricevuto dai propri movimenti facciali. Nello specifico, i movimenti facciali prodotti vengono considerati come delle informazioni sensorimotorie che permettono all'individuo di percepire l'emozione veicolata da una determinata espressione facciale e servono come informazione che gli individui utilizzano per dare un senso al proprio stato emotivo.

Gli autori William James e Carl Lange diedero un forte contributo allo studio del fenomeno preso in esame, in quanto furono i primi ad indagare il legame tra l'esperienza corporea e lo stato emotivo interiore (James, W., 1884; Lange, C., 1885). Per gli autori, infatti, l'esperienza cosciente di una determinata emozione deriverebbe dalla percezione dei cambiamenti associati a tale emozione nel proprio stato corporeo.

Nonostante James e Lange diedero contribuiro fortemente allo studio dell'ipotesi del Feedback Facciale, la loro teoria non si è mai focalizzata sul ruolo del volto e delle informazioni facciali, bensì solamente sui cambiamenti sensoriali a livello del sistema nervoso autonomo.

Successivamente, Allport (Allport, F.H., 1922, 1924) contribuì alla formulazione della prima teoria formale del Feedback Facciale, la quale si basa sull'idea che i cambiamenti nel sistema nervoso autonomo siano in grado di produrre delle emozioni che riescono ad essere distinte solamente grazie al feedback facciale. Tuttavia, è importante sottolineare come la teoria di Allport venga considerata

come una concettualizzazione che ha meramente permesso di fare da ponte tra le formulazioni teoriche degli studiosi James & Lange e l'attuale visione del *Facial Feedback Hypothesis*.

Un contributo essenziale al presente fenomeno è stato fornito da Strack e collaboratori, i quali hanno sviluppato la prima manipolazione sperimentale per testare la *Facial Feedback Hypothesis*, ossia il paradigma della “penna in bocca” (*pen-in-mouth procedure*) (Strack, F., et al., 1988). Tale paradigma nasce dall'esigenza di comprendere se il fenomeno del *Facial Feedback Hypothesis* si associasse ad un aumento della consapevolezza della manipolazione facciale da parte del partecipante.

Nello specifico, gli autori hanno condotto due studi nei quali hanno investigato gli effetti che due diverse manipolazioni facciali avessero sui giudizi di divertimento di alcune vignette. Tali manipolazioni consistevano nel chiedere al partecipante di tenere una matita tra i denti o tra le labbra (figura 6); nel primo caso, la manipolazione si sarebbe dovuta associare ad un sorriso, mentre nel secondo si sarebbe dovuta associare ad un'espressione facciale di broncio. Inoltre, l'ipotesi principale di tali studi era che l'espressione indotta dalla matita tra i denti - ossia il sorriso - si associasse ad un aumento dei giudizi di divertimento di alcune vignette da parte dei partecipanti rispetto a coloro che si collocavano nella condizione di “matita tra le labbra”.



Figura 6. Le due condizioni incluse nel paradigma sperimentale di Strack, F., et al., 1988. La prima immagine a sinistra rappresenta la condizione di matita tra le labbra, associata ad un'espressione di broncio; la seconda immagine a destra, invece, rappresenta la condizione di matita tra i denti, associata ad un sorriso.

I risultati degli esperimenti condotti dal gruppo di ricerca di Strack e collaboratori hanno effettivamente riportato una differenza nella valutazione del grado di divertimento veicolato dagli stimoli presentati, indipendentemente dal livello di consapevolezza della manipolazione sperimentale.

Tuttavia, recentemente sono stati condotti degli studi volti a verificare l'affidabilità dei risultati riportati precedentemente, e, pertanto, l'esistenza dell'effetto *pen-in-mouth*. In generale, si può affermare che gli studi che hanno tentato di replicare il paradigma originale *pen-in-mouth* abbiano fallito nel tentativo di riprodurre gli stessi risultati evidenziati da Strack e collaboratori.

Nello specifico, lo studio che ha maggiormente contribuito ai tentativi di replica del paradigma *pen-in-mouth* è stato condotto da Wagenmakers e colleghi (Wagenmakers, E.-J., et al., 2016), i quali hanno replicato il paradigma di Strack in diciassette laboratori differenti, con l'obiettivo di verificare se la manipolazione del sorriso del partecipante avesse un effetto sulla sua effettiva percezione del divertimento. Il paradigma sperimentale proposto dagli autori ha cercato di riprodurre il più fedelmente possibile il primo studio condotto da Strack et al., apportando come unica variazione l'inserimento di una videocamera che registrava i partecipanti per l'intera durata dell'esperimento. La scelta di includere la video-registrazione è stata motivata dalla necessità di verificare che i partecipanti mantenessero la matita nelle posizioni corrette durante l'intera durata dell'esperimento.

In generale, nessuno degli esperimenti coinvolti nello studio ha riportato una modulazione del senso del divertimento in seguito alla manipolazione del sorriso, e, di conseguenza, non si è riportato alcun effetto *pen-in-mouth*.

Lo studio multi-laboratorio condotto da Wagenmakers e colleghi ha permesso un avanzamento nella ricerca nell'ambito del *Facial Feedback Hypothesis*; tuttavia, esso fornisce dei risultati contrastanti rispetto alle evidenze fornite dallo studio originale di Strack e collaboratori. Ciò ha fatto sì che si rendesse necessaria un'analisi per fornire un maggiore supporto al *Facial Feedback Hypothesis* e all'effetto *pen-in-mouth*. A causa di tale assenza di letteratura, Coles e colleghi (Coles, N.A., et al., 2019), in una metanalisi, hanno tentato di dimostrare gli effetti della manipolazione del feedback

facciale sull'esperienza emozionale e sui giudizi di carattere affettivo. Nello specifico, la presente metanalisi ha preso in considerazione 286 *effect-sizes* derivati da 138 studi che hanno indagato gli effetti della manipolazione del feedback facciale. Gli autori hanno sottolineato come il feedback facciale generi degli effetti che - seppur significativi - rimangono piccoli e, di conseguenza, insufficienti a influenzare in modo sostanziale l'esperienza sensoriale.

Pertanto, la metanalisi esaminata non è riuscita ad individuare i fattori in grado di spiegare il motivo per cui alcune evidenze sperimentali abbiano fallito nel replicare l'effetto *pen-in-mouth* (Wagenmakers, E.J., et al., 2016).

Per questa ragione, gli autori hanno fondato una collaborazione tra molteplici centri di ricerca - nota come la *Many Smiles Collaboration* - col fine di investigare le condizioni ed i fattori in grado di riprodurre in modo affidabile gli effetti del *Facial Feedback* (Coles, N.A., et al., 2022). Nello specifico, la presente ricerca si è focalizzata sull'indagare se la percezione della felicità in un individuo sia influenzata dall'espressione facciale associata a tale emozione o da un'espressione neutra.

Nello studio condotto, il paradigma consisteva di tre condizioni diverse, ossia: 1) *facial mimicry*, ossia una condizione in cui i partecipanti osservavano delle immagini di volti sorridenti e dovevano mimarne il sorriso, oppure mantenere un'espressione neutra; 2) *voluntary facial action*, in cui veniva chiesto ai partecipanti di muovere alcuni muscoli del proprio volto - come, ad esempio, gli angoli delle labbra - in modo tale da innalzare gli zigomi e, di conseguenza, generare un sorriso; 3) *pen-in-mouth*, in cui veniva replicato il paradigma di Strack e collaboratori, e in cui i partecipanti dovevano mantenere una matita tra i denti o tra le labbra.

Il presente studio ha dimostrato come gli effetti del *facial feedback*, se presenti, sono risultati molto piccoli. Nello specifico, la terza condizione sperimentale - ossia quella *pen-in-mouth* - ha generato degli effetti più piccoli rispetto alle altre due condizioni. Infatti, i partecipanti inclusi in questa condizione giudicavano con meno frequenza un sorriso come genuino; ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che tale manipolazione avrebbe generato un'espressione di felicità meno prototipica di quella

genuina e naturale e, di conseguenza, avrebbe attenuato gli effetti prodotti dal *facial feedback*. Gli autori, inoltre, suggeriscono che si potrebbe osservare un effetto maggiormente robusto del paradigma *pen-in-mouth* nel caso in cui la manipolazione attivasse maggiormente il muscolo *orbicularis oculis*, il quale è associato alla generazione di espressioni di felicità autentica, anche note come sorrisi di *Duchenne*.

Pertanto, tale risultato ha permesso di confermare l'esistenza del fenomeno del *Facial Feedback*, seppure esso risulti ancora molto piccolo. Inoltre, secondo gli autori, tale fenomeno non si collocherebbe più come fattore primario e più importante per la modulazione dell'esperienza sensoriale, ma potrebbe essere considerato come un fattore in grado di contribuirvi.

2.3. Differenze e somiglianze tra i due processi

In precedenza, si è tentato di fare luce sui meccanismi sottostanti entrambi i fenomeni coinvolti nell'elaborazione degli stimoli di carattere sociale, ossia la Simulazione sensorimotoria e la *Facial Feedback Hypothesis*.

I due meccanismi vengono frequentemente associati a fenomeni di cognizione incarnata ed al sistema dei neuroni specchio, e, di conseguenza, vengono spesso considerati come meccanismi utili all'elaborazione delle espressioni facciali altrui. Tuttavia, ad oggi, non vi sono evidenze in letteratura che abbiano tentato di disambiguare i due processi, approfondendo le loro somiglianze e differenze e cercando di comprenderne i ruoli ed i meccanismi d'azione. Finora la letteratura ha trattato entrambi gli aspetti come interscambiabili, in quanto essi sono stati applicati a due settori disciplinari diversi. Infatti, la *Facial Feedback Hypothesis* è stata principalmente studiata nell'ambito della psicologia sociale, in cui gli studi condotti si sono focalizzati maggiormente su un piano comportamentale, senza fornire, in ultima istanza, dei contributi sui correlati neurofisiologici del fenomeno. Al contrario, la simulazione sensorimotoria ha trovato maggiore applicazione in un ambito fisiologico, che ha permesso di svelare il dettagliato network neurale implicato in essa.

La differenza dell'ambito di applicazione dei due meccanismi ha fatto sì che, ad oggi, la letteratura non abbia ancora trattato le differenze e le somiglianze tra di essi e non si sia chiarito se si tratti di due processi analoghi. In ultima istanza, resta inesplorato se essi siano ugualmente importanti per l'elaborazione delle espressioni facciali e, se così fosse, che tipo di contributo essi apportino e quando esso avvenga.

Come visto in precedenza, la simulazione sensorimotoria è stata trattata da molteplici modelli, dei quali quello sviluppato da Wood e collaboratori è il più recente (Wood, A., et al., 2016).

Per quanto concerne, invece, la *Facial Feedback Hypothesis*, essa ha suscitato particolare interesse - come è stato evidenziato nel paragrafo precedente - alla fine degli anni '80 del secolo scorso, specialmente in seguito all'adozione del paradigma del *pen-in-mouth* (Strack, F., et al., 1988).

Ciononostante, come esplicitato in precedenza, la presenza di tale effetto non è stata confermata da tutti gli studi svolti in questo ambito; un contributo importante è stato, però, fornito da Coles e collaboratori, i quali - tramite uno studio multi-laboratorio con oltre 3000 partecipanti - hanno affermato che il fenomeno del *Facial Feedback* è esistente, nonostante esso sia molto piccolo.

Come detto precedentemente, la *Facial Feedback Hypothesis* è stata primariamente investigata da un punto di vista comportamentale, ignorando i correlati neurofisiologici di un simile processo. Tra i pochi studi presenti in letteratura che hanno cercato di far luce sugli aspetti neurofisiologici sottostanti tale ipotesi, vi è un filone di ricerca inerente all'utilizzo della tossina del botulino per ridurre reversibilmente la motilità facciale (Stark, S., et al., 2023; Kim, M.J., et al., 2014). Tali studi hanno indagato - tramite l'utilizzo della risonanza magnetica funzionale - l'attivazione dell'amigdala in seguito alla visione di volti veicolanti emozioni differenti. La manipolazione sperimentale - ossia l'utilizzo della tossina del botulino - è servita a comprendere se l'alterazione della mimica facciale provocasse una risposta di attivazione inferiore dell'amigdala in seguito alla percezione di tali stimoli. Tali studi hanno riportato una riduzione effettiva dell'attivazione dell'area presa in esame nella condizione di paralisi facciale e, di conseguenza, una difficoltà nel riconoscimento e nella discriminazione dei volti emotivi.

Sulla base della letteratura analizzata, è possibile delineare delle somiglianze e delle differenze tra i due fenomeni.

In prima istanza, entrambi i meccanismi sono supportati dall'azione dei neuroni specchio e dalle teorie di *embodied cognition* in quanto entrambi rientrano nell'ampia concettualizzazione delle teorie della cognizione incarnata. Sulla base di ciò, si potrebbe ipotizzare che essi sottostiano all'azione di network neurali piuttosto sovrapponibili, coinvolgenti le aree motorie, somatosensoriali, visive ed emotive. Infine, un ulteriore aspetto di sovrapposizione tra i due meccanismi concerne la modulazione dell'esperienza emotiva interna; infatti, sia la simulazione sensorimotoria che la *Facial Feedback Hypothesis* conducono ad un cambiamento dello stato emotivo dell'individuo.

Al contrario, per ciò che concerne le differenze tra i due meccanismi, si potrebbe ipotizzare che la *Facial Feedback Hypothesis* svolga un ruolo maggiormente focalizzato sulla regione del volto, mentre, al contrario, la simulazione sensorimotoria sia coinvolta - più ampiamente - in aspetti inerenti all'intero corpo e non soltanto al volto (Calvo-Merino, B., et al., 2005; Rizzolatti, G., et al., 1996). Questa ipotesi potrebbe portare a considerare la teoria della simulazione sensorimotoria come un processo di natura più ampia e generale, estendibile a un contesto più vasto rispetto al meccanismo della *Facial Feedback Hypothesis*.

2.4. La corteccia somatosensoriale e l'elaborazione delle espressioni facciali emotive

La corteccia somatosensoriale rappresenta un'area sensoriale-ricettiva deputata alla costruzione della rappresentazione di ogni singolo distretto corporeo e che presenta una vasta porzione dedicata all'elaborazione facciale (Penfield & Jasper, 1954; Huang & Sereno, 2007).

Al di là dei meccanismi di elaborazione visiva del volto osservato, gli individui sarebbero in grado di percepire il contenuto emotivo veicolato dall'espressione facciale osservata grazie a meccanismi di simulazione incarnata, che, come verrà descritto successivamente, sono supportati principalmente dalle regioni sensorimotorie (SCx).

L'attività sensorimotoria e somatosensoriale presente durante il meccanismo di elaborazione delle espressioni facciali viene considerata come un possibile indicatore dell'azione di processi di *embodiment* e di simulazione, in quanto permetterebbe la riattivazione di pattern somatici, motori e propriocettivi associati all'espressione emotigena osservata (Niedenthal, P.M., 2007; Goldman, A.I. & Sripada, C.S., 2005).

Sulla base di tale evidenza, diversi autori hanno indagato il ruolo ed i meccanismi d'azione della corteccia somatosensoriale (SCx) nel processamento delle espressioni facciali.

Un primo, fondamentale, contributo deriva da una ricerca condotta da Adolphs e collaboratori, i quali hanno indagato le regioni neurali coinvolte nel riconoscimento delle espressioni facciali emotigene (Adolphs, R., et al., 2000). Nello specifico, gli autori hanno somministrato diversi task di riconoscimento delle emozioni ad un vasto numero di partecipanti affetti da lesione focale, col fine di evidenziare le regioni coinvolte in tali processi ed il loro specifico ruolo. I risultati del presente studio hanno sottolineato come il processo di riconoscimento delle emozioni altrui, sulla base dell'espressione facciale percepita, coinvolga le regioni delle cortecce somatosensoriali dell'emisfero destro. Ciò è in linea con le ipotesi del meccanismo della simulazione sensorimotoria, secondo il quale il riconoscimento di un'emozione di un altro individuo si basa sulla generazione di rappresentazioni somatosensoriali in grado di riprodurre lo stato emotivo altrui rappresentato dalla propria espressione facciale.

Pertanto, secondo gli autori, le cortecce somatosensoriali dell'emisfero destro, assieme all'amigdala, supporterebbero le abilità di estrarre le informazioni di carattere emotivo veicolate da una determinata espressione facciale.

Tale risultato ha trovato particolare riscontro sia in uno studio di risonanza magnetica funzionale (fMRI), che in uno studio che ha adoperato la stimolazione magnetica transcranica (TMS).

Nel primo caso, gli autori hanno sottolineato come le regioni delle cortecce somatosensoriali, assieme alla corteccia prefrontale ventromediale, si associassero ad un aumento dell'attività durante

l'esecuzione di compiti di attribuzione di giudizi sugli stati emotivi di volti osservati (Winston, J.S., et al., 2003).

Nel caso della seconda evidenza riportata qui sopra, gli autori hanno cercato di comprendere e disambiguare i meccanismi sottostanti la percezione di due informazioni veicolate dall'osservazione dei volti, ossia la direzione dello sguardo ed il contenuto emotivo delle espressioni facciali (Pourtois, G., et al., 2004). In particolare, gli autori hanno ipotizzato che - applicando un singolo impulso di TMS in due aree dell'emisfero destro, ossia la corteccia somatosensoriale destra, o la corteccia temporo-laterale superiore - la stimolazione della regione somatosensoriale correlasse con un peggioramento della performance dei partecipanti nei compiti di riconoscimento di un'emozione; al contrario, la stimolazione a livello della corteccia temporo-laterale superiore si sarebbe dovuta associare ad un peggioramento significativo nel compito di percezione della direzione dello sguardo. In altre parole, gli autori del presente studio hanno ipotizzato l'esistenza di una doppia dissociazione tra le due regioni prese in esame. I partecipanti coinvolti nello studio prendevano parte a due compiti consecutivi di riconoscimento delle emozioni e di percezione della direzione dello sguardo osservando due volti di identità diversa ma appartenenti allo stesso genere. Durante la procedura sperimentale, un singolo impulso di TMS veniva eseguito in una delle due regioni descritte precedentemente circa 100-200 ms dopo la presentazione del secondo stimolo - ossia il secondo volto presentato.

I risultati del presente studio hanno evidenziato un'interazione significativa tra il compito e la stimolazione TMS, suggerendo, nello specifico, un effetto selettivo di interferenza - indotto dalla stimolazione TMS - sulla corteccia somatosensoriale durante l'esecuzione del compito di riconoscimento emotivo, e viceversa per quanto concerne la corteccia temporo-superiore e il task di percezione dello sguardo. Inoltre, è stato dimostrato come l'effetto di interferenza fosse specifico per il contenuto dello stimolo presentato. Infatti, esso si verificava - nel caso del task di percezione dello sguardo - con immagini di occhi in movimento e non statici, e, nel caso del task di discriminazione delle emozioni, solo con stimoli con espressioni facciali di paura.

In una certa misura, si può affermare che lo studio condotto da Pourtois e colleghi abbia fornito - per la prima volta - un'importante evidenza della doppia dissociazione nel normale processo di elaborazione e riconoscimento dei volti.

Infine, un ulteriore contributo è stato fornito da uno studio svolto da Pitcher e collaboratori, nel quale si è indagato il ruolo e l'attuale esistenza del meccanismo di simulazione sensorimotoria nel processo di riconoscimento dei volti (Pitcher, D., et al., 2008). Per tale ragione, gli autori hanno presentato ai partecipanti allo studio dei compiti di discriminazione dell'identità e dell'espressione facciale, mostrando immagini di volti raffiguranti sei emozioni differenti. La procedura sperimentale prevedeva che, mentre i partecipanti svolgevano i task, veniva loro somministrata la stimolazione magnetica transcranica ripetitiva (rTMS) a 10 Hz in due aree target dell'emisfero destro, ossia la regione Occipitale Face Area (OFA) e alcune aree specifiche per l'elaborazione facciale nella corteccia somatosensoriale (SC).

I risultati del presente studio hanno confermato l'esistenza di un meccanismo di cognizione incarnata nell'elaborazione delle espressioni facciali, in quanto la stimolazione in entrambe le aree target si è associata ad una riduzione dell'accuratezza nel compito di discriminazione delle espressioni facciali, mentre tale risultato non si è osservato per il compito inerente all'identità. Nello specifico, si è dimostrato che l'accuratezza nella prestazione ai compiti diminuiva significativamente in seguito alle stimolazioni eseguite a livello della corteccia somatosensoriale (SC) circa a 130-170 ms, indicando che tale regione mantenga un'attivazione maggiormente prolungata rispetto all'area rOFA (Occipital Face Area) - che sembrerebbe essere di 60-100 ms.

Pertanto, quest'ultima evidenza porta ulteriore supporto all'idea che il processo di riconoscimento delle espressioni facciali avvenga tramite processi incarnati e di simulazione sensorimotoria. In altre parole, il presente studio suggerisce come, a livello della corteccia somatosensoriale, il processo di simulazione di un'espressione facciale sia maggiormente sostenuto nel tempo rispetto ad altre aree deputate ad un'elaborazione di carattere più visivo, come l'area rOFA e che, di conseguenza, le

regioni visive e somatosensoriali contribuiscono al riconoscimento di un'espressione facciale emotigena in tempi differenti.

3. Capitolo 3 - Uno studio sul ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione selettiva delle espressioni facciali

3.1. Introduzione teorica

I processi di simulazione sensorimotoria e di ipotesi del feedback facciale possono essere considerati come due fenomeni in grado di spiegare dettagliatamente la modalità attraverso cui avviene l'elaborazione delle espressioni facciali. Tuttavia, come visto in precedenza, entrambe le ipotesi vengono frequentemente considerate come interscambiabili e risulta dunque difficile fare chiarezza sui meccanismi sottostanti i due processi.

Come visto nel capitolo precedente, vi sono molteplici evidenze a supporto del ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione delle espressioni facciali (Adolphs, R., et al., 2000; Winston, J.S, et al., 2003; Pourtois, G., et al., 2004; Pitcher, D., et al., 2008). Tuttavia, il ruolo giocato dalla corteccia somatosensoriale in relazione alla simulazione sensorimotoria rimane ancora parzialmente inesplorato.

Infatti, ciò che, ad oggi, non è ancora chiaro è se l'attivazione di quest'area sia legata all'espressione facciale osservata o, in maniera più aspecifica, al contenuto emotivo veicolato da quest'ultima. Risulta poco chiaro, infatti, se le attivazioni della SCx siano selettive per le espressioni facciali e gli atti motori ad esse associate - coerentemente con la teoria della simulazione sensorimotoria -, o se, al contrario, le attivazioni evidenziate dalla letteratura della SCx in risposta all'elaborazione delle espressioni facciali siano dovute al feedback facciale o da una generalizzata reattività emotiva. In quest'ultimo caso si potrebbe ipotizzare di osservare tali attivazioni anche di fronte alla visione di immagini a contenuto emotivo.

Un contributo essenziale allo studio che verrà successivamente trattato deriva da Sel e colleghi (Sel, A., et al., 2014). Tale ricerca nasce dall'esigenza di indagare se - nel processo di elaborazione delle espressioni facciali emotive - la corteccia somatosensoriale (SCx) abbia un ruolo indipendente e selettivo in tale meccanismo, o se invece dipenda dalla pura attività visiva. A tale scopo, il paradigma sperimentale, riportato nella figura 7, ha previsto l'adozione di una stimolazione tattile compiuta durante l'esecuzione di un compito di discriminazione di emozioni al fine di controllare l'attivazione della corteccia somatosensoriale.

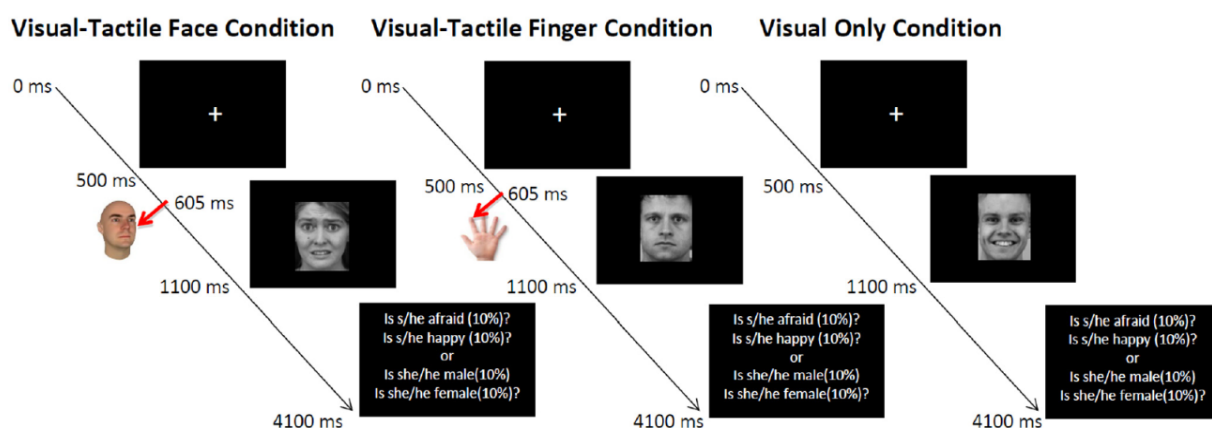


Figura 7. Paradigma sperimentale di Sel, A., et al., 2014.

In particolare, la stimolazione veniva realizzata 105 ms dopo la presentazione dello stimolo, ed essa poteva essere eseguita - a seconda della condizione sperimentale di congruenza o incongruenza con lo stimolo osservato - sulla guancia sinistra del volto, oppure sul dito sinistro del partecipante. Come evidenziato in precedenza, la decisione di includere una stimolazione di alcuni distretti corporei del partecipante si rifà all'idea di isolare l'attività della SCx durante l'esecuzione del compito sperimentale. Tale condizione si è ottenuta tramite un metodo di sottrazione di componenti ERP, ossia sottraendo l'attività evocata nel sistema visivo (VEP) dall'attività evocata nella SCx durante la stimolazione tattile (SEP, *somatosensory evoked potentials*). L'utilizzo della seguente metodica ha permesso di isolare l'attività evocata puramente somatosensoriale, e quindi di escludere i potenziali evocati dall'attività visiva che, nel caso del

nostro studio, vengono evocati dal compito di osservazione degli stimoli. Di conseguenza, questo metodo ci permette di trattare ed interpretare con sicurezza i SEP come segnali provenienti esclusivamente dalla corteccia somatosensoriale (*VEP-free*).

I risultati del seguente studio hanno evidenziato, in generale, un ruolo significativo della SCx durante la discriminazione di espressioni facciali emotive, ed esso sembrerebbe essere specificatamente localizzato a livello delle cortecce somatosensoriali primarie, secondarie ed associative dell'emisfero destro. Inoltre, gli autori hanno sottolineato come - a differenza di ciò che accade nell'elaborazione delle espressioni facciali neutre - la SCx mostra un'attivazione molto precoce - dell'ordine dei 40-80 ms dopo la presentazione dello stimolo - in seguito alla percezione di un volto con espressione emotigena.

Nel complesso, la ricerca condotta da Sel e colleghi ha fornito supporto all'idea che la corteccia somatosensoriale sia coinvolta in modo indipendente nel processamento degli stimoli emotivi senza subire l'influenza dell'elaborazione visiva.

Un ulteriore importante contributo che funge da base allo studio della presente tesi è quello condotto dal gruppo di ricerca di Fanghella (Fanghella, M., et al., 2022). Gli autori hanno cercato di investigare la dinamica sottostante l'attivazione della corteccia somatosensoriale durante l'elaborazione di stimoli emotivi, al di là delle attivazioni di carattere visivo, in pazienti con disturbo dello spettro autistico (ASD) e in un gruppo di controllo.

Nello specifico, gli autori hanno studiato il segnale elettroencefalografico (EEG) durante l'esecuzione di un compito di discriminazione di emozioni di volti e un ulteriore compito di controllo - ossia di discriminazione del sesso. In aggiunta, nel 50% dei trials veniva eseguita una stimolazione a livello dell'indice sinistro 105 ms dopo la presentazione di ciascuno stimolo, al fine di evocare l'attività somatosensoriale (figura 8A). Come visto nello studio precedente (Sel, A., et al., 2018), anche in questo studio i potenziali evocati sensorimotori (SEP) indotti dalla stimolazione sono stati sottratti dai potenziali evocati visivi (VEP), al fine di isolare l'attività della regione presa in esame durante il compito sperimentale (figura 8B).

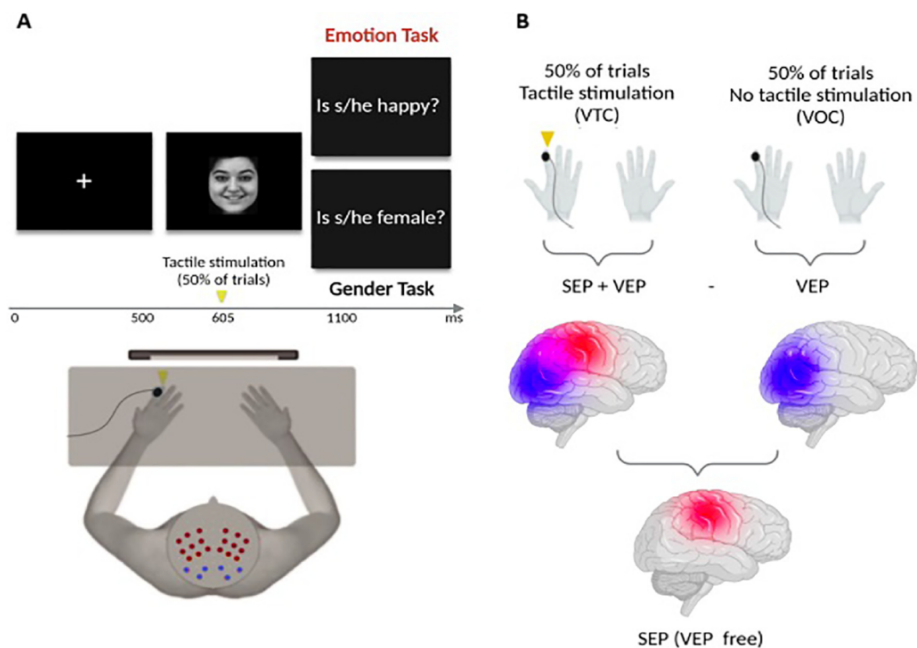


Figura 8. A) rappresentazione del paradigma sperimentale dello studio di Fanghella, M., et al., 2022; B) Rappresentazione schematica del metodo di sottrazione applicato alle componenti SEP e VEP.

Le ipotesi dello studio preso in esame hanno supposto che i due gruppi sperimentali mostrassero delle differenze nella modulazione dei SEPs generati nel task di discriminazione emotiva, ma non in quello di controllo. I risultati riportati hanno confermato tale ipotesi, sottolineando come la componente P100 SEP mostrasse una maggiore ampiezza nel compito sperimentale soltanto nel gruppo di controllo; al contrario, il gruppo di pazienti ASD ha mostrato una riduzione dell'ampiezza di tale componente, suggerendo una riduzione dei meccanismi di simulazione delle espressioni facciali emotive nella popolazione presa in esame. In aggiunta, le differenze tra i due gruppi evidenziate precedentemente non si sono riscontrate nelle risposte visive (VEPs), suggerendo un ruolo selettivo - e ridotto - del sistema somatosensoriale nell'elaborazione atipica delle emozioni da parte di persone con ASD e che non dipende da meccanismi di elaborazione visiva.

3.2. Simulazione sensorimotoria o reazione emotiva? Uno studio elettroencefalografico

3.2.1. Domande di ricerca e ipotesi dello studio

Come evidenziato dagli studi di Sel, Fanghella e Pitcher (Sel, A., et al., 2018; Fanghella, M., et al., 2022; Pitcher, D., et al., 2008), la corteccia somatosensoriale può essere considerata come una regione che viene coinvolta nell'elaborazione delle espressioni facciali emotive.

Tuttavia, la letteratura attuale presenta una carenza di approfondimenti sul ruolo di quest'area e sulle possibili differenze nell'elaborazione di stimoli di volti o immagini a carattere emotivo.

Comprendere i meccanismi alla base dell'elaborazione di queste due categorie di stimoli è cruciale, poiché ci permette di chiarire se la corteccia somatosensoriale operi selettivamente nell'elaborazione delle espressioni facciali attraverso un meccanismo simulativo, o se, al contrario, rifletta una reazione emotiva più generale al contenuto dello stimolo osservato.

Al fine di colmare tale lacuna, lo studio condotto nel presente lavoro di tesi ha provato a rispondere alla seguente domanda:

- . L'attivazione osservata nella corteccia somatosensoriale durante l'elaborazione delle espressioni facciali dipende dall'espressione facciale in sé o deriva dal contenuto emotivo veicolato dall'espressione osservata?

Sulla base della domanda di ricerca proposta, sono state formulate diverse ipotesi riguardanti i potenziali scenari dello studio:

- Il SEP evocato dagli stimoli con espressioni facciali di disgusto è sistematicamente più ampio di quello evocato dagli stimoli di immagini disgustose. Questo risultato suggerirebbe e supporterebbe l'ipotesi inerente al ruolo selettivo della corteccia somatosensoriale nel processamento delle espressioni facciali e sarebbe, di conseguenza, in linea con il meccanismo della simulazione sensorimotoria;
- I SEP evocati dalle espressioni facciali e dalle immagini disgustose sono ugualmente ampi. Questo risultato suggerirebbe che la corteccia somatosensoriale si attiverebbe in

maniera indistinta tra le due categorie di stimoli; ciò potrebbe essere spiegato come una generale risposta al contenuto emotigeno veicolato dagli stimoli percepiti;

- I SEP evocati dalle immagini sono maggiormente ampi dei SEP evocati dai volti.

Quest'ultimo scenario potrebbe essere legato al livello di arousal, nei termini di una maggiore ampiezza in relazione alle immagini disgustose.

Per cercare di fornire una risposta alle domande di ricerca menzionate qui sopra, il presente lavoro di tesi si è posto l'obiettivo di verificare se la osservazione di immagini di espressioni facciali di carattere emotivo (nello specifico, di espressioni di disgusto) rispetto ad immagini disgustose attivasse in maniera selettiva la corteccia somatosensoriale (SCx).

3.3. Metodologia

La procedura sperimentale della presente ricerca ha previsto la registrazione dell'attività elettroencefalografica (EEG) durante un compito di osservazione di stimoli che potevano essere volti veicolanti espressioni facciali di disgusto, o immagini disgustose, come, ad esempio, cibo, muffa ecc.

La scelta di includere stimoli veicolanti l'emozione del disgusto è dovuta dal fatto che è un'emozione facilmente evocabile sia da immagini che da espressioni facciali.

In maniera analoga agli studi condotti da Sel et al., (2014) e Fanghella, et al., (2022), il presente studio ha previsto l'utilizzo di uno stimolatore tattile sulla guancia sinistra del partecipante per studiare i potenziali evocati sensorimotori (SEP), al fine di isolare l'attività neurale della corteccia somatosensoriale destra.

3.3.1. Partecipanti

I soggetti partecipanti al presente esperimento sono stati 38 soggetti ($M = 23,815$; $SD = 1,70$), di cui 4 sono stati scartati a causa di eccessivo rumore del segnale raccolto. Pertanto, la

dimensione del campione finale incluso è di 34 soggetti ($M = 23,79$; $SD = 1,77$), dei quali 24 partecipanti di sesso femminile, 9 di sesso maschile ed un partecipante *non-binary*.

I partecipanti sono stati reclutati tramite conoscenze personali e annunci nelle bacheche universitarie. Tutti i partecipanti erano soggetti di madre lingua italiana, ed i criteri di esclusione alla partecipazione dello studio sono stati i seguenti:

- diagnosi di malattie neurologiche o psichiatriche
- assunzione di farmaci psicoattivi
- essere mancini

Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico dell'Università di Padova. Ciascun partecipante ha percepito un compenso di €10 al termine dell'esperimento.

3.3.2. Procedura sperimentale

Il giorno precedente alla sessione sperimentale, ciascun partecipante ha compilato un questionario volto a validare gli stimoli che sarebbero stati successivamente mostrati durante la registrazione EEG. Il questionario, della durata di 20 minuti, prevede la presentazione di alcune domande riferite allo stimolo osservato. Nello specifico, come raffigurato nella figura 9, sono presenti due domande di giudizio dell'immagine a cui rispondere tramite una scala Likert a 9 punti, ed un'ultima domanda in cui viene chiesto quale emozione si associa maggiormente all'immagine osservata.



Di fronte a questa immagine, provi ... (1 = rilassamento, 5 = neutralità, 9 = attivazione)

1 2 3 4 5 6 7 8 9

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Quale emozione/concetto si adatta di più a questa immagine:

disgusto

neutralità

felicità

altro

Giudichi questa immagine come ... (1 = molto negativa, 5 = neutra, 9 = molto positiva)

1 2 3 4 5 6 7 8 9

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Figura 9. Esempio di un trial del questionario compilato dai partecipanti il giorno precedente alla sessione sperimentale.

Prima di ogni sessione sperimentale, i partecipanti hanno letto, compilato e firmato il consenso informato, hanno fornito i loro dati personali per la retribuzione per la partecipazione all'esperimento e hanno compilato tre questionari, ossia: l'IRI (*Interpersonal Reactivity Index*), (Davis, M.H., 1980), il TAS-20 (*Toronto Alexithymia Scale*), (Taylor, G.J., et al., 1992), e, infine, l'EHl (*Edinburgh Handedness Inventory*), (Oldfield, R.C., 1971).

Il primo questionario permette di valutare il livello di empatia di ciascun individuo e si compone di quattro sottoscale che valutano degli aspetti distinti del costrutto. Essi sono:

1. *Perspective Taking*, ossia la tendenza spontanea a “mettersi nei panni degli altri”
2. *Fantasy*, ossia la tendenza a farsi trasportare emotivamente dalle emozioni e azioni di personaggi di libri, film e giochi
3. *Empathic Concern*, ossia la tendenza all'orientamento verso l'altro, osservabile tramite sentimenti di compassione e dispiacere per le sfortune altrui
4. *Personal Distress*, ossia la tendenza provare sentimenti di ansia e disagio in contesti interpersonali

Il secondo questionario, invece, misura l'alessitimia, ossia la difficoltà nel riconoscere e descrivere le emozioni proprie e altrui. Anche questo strumento si compone di tre sottoscale, ossia:

1. DIF (*Difficulty Identifying Feelings*), relativa alla difficoltà a riconoscere e distinguere tra le proprie emozioni e le proprie sensazioni corporee.
2. DDF (*Difficulty Describing Feelings*), relativa alla difficoltà nel descrivere verbalmente le emozioni altrui.
3. EOT (*Externally-Oriented Thinking*), relativa alla tendenza a concentrarsi maggiormente sugli eventi concreti piuttosto che sui sentimenti interiori

Infine, il terzo e ultimo questionario somministrato durante la prima fase dell'esperimento è stato il EHI (*Edinburgh Handedness Inventory*), strumento utilizzato per misurare la preferenza manuale. Al termine della compilazione, ogni partecipante è stato fatto accomodare in una stanza isolata per la registrazione del segnale elettroencefalografico, nella quale gli è stata fatta indossare la cuffia EEG collegata a 64 elettrodi attivi e applicato lo stimolatore per la stimolazione sulla guancia sinistra. All'interno della stanza è presente un monitor ed una tastiera sui quali svolgere l'esperimento posizionato di fronte al partecipante.

Prima di cominciare, ciascun partecipante è stato sottoposto ad una fase di prova per familiarizzare con la procedura sperimentale.

Gli stimoli, selezionati da Google immagini o creati ad hoc per l'esperimento, consistono di 20 volti disgustati, 20 immagini disgustose, e 3 *catch trials*, ossia stimoli di felicità e neutri - sia per i volti che per le immagini - con lo scopo di mantenere l'attenzione del partecipante. Ognuno di essi viene presentato 200 volte per ciascuna condizione. Inoltre, è stata disposta anche una condizione di *blank screen*, volta ad ottenere una baseline per il calcolo del SEP. Gli stimoli sono presentati in modo randomizzato ma in blocchi di 20, alternando volti e immagini.

Come evidenziato dalla figura 10, nel paradigma sperimentale veniva presentato un *blank screen* con una croce di fissazione posta al centro dello schermo per 800 ms, seguita dalla presentazione dello stimolo target per 800 ms e, infine, seguita da un ulteriore *blank screen* con croce di fissazione

al centro dello schermo per altri 800 ms. Inoltre, nel 10% dei trials, viene presentata una domanda volta ad indagare la valenza dello stimolo a cui il partecipante deve rispondere premendo due tasti e la cui durata di presentazione è di 3000 ms.

Experimental outline:

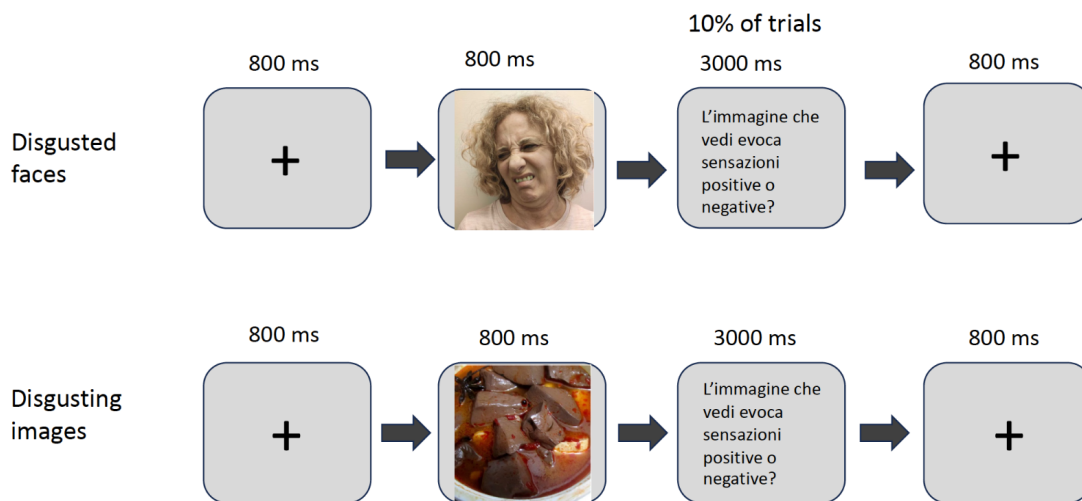


Figura 10. *Paradigma sperimentale del nostro studio*

Inoltre, come dimostrato dalle figure 11 e 12, le condizioni sperimentali del presente studio sono quattro e sono:

1. *early trials visual tactile*, in cui viene eseguita la stimolazione tattile 105 ms dopo la presentazione dello stimolo - in linea con i paradigmi degli studi presentati precedentemente (Sel, A., 2018; Fanghella, M., et al., 2022)
2. *late trials visual tactile*, in cui viene eseguita la stimolazione 245 ms dopo la presentazione dello stimolo
3. stimolazione tattile con il *blank screen*
4. *visual only condition (VOC)*, in cui non viene eseguita alcuna stimolazione tattile

La ragione per cui è stata aggiunta un'ulteriore finestra temporale di somministrazione della stimolazione - ossia quella somministrata a 245 ms - è di carattere esplorativo, poiché l'attivazione della corteccia somatosensoriale delle immagini potrebbe avvenire più tardivamente rispetto all'elaborazione delle espressioni facciali disgustate.

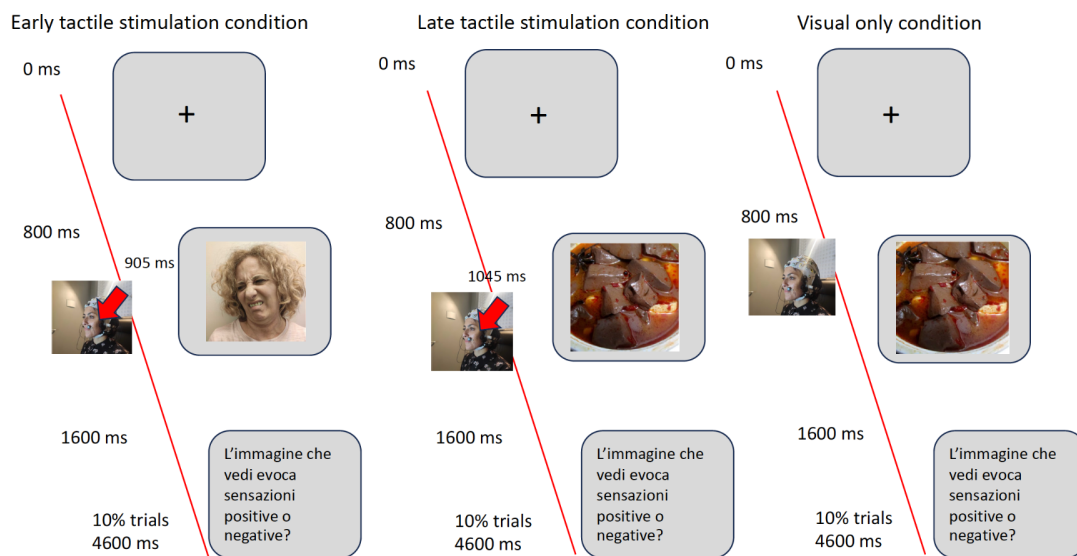


Figura 11. Rappresentazione delle condizioni sperimentali

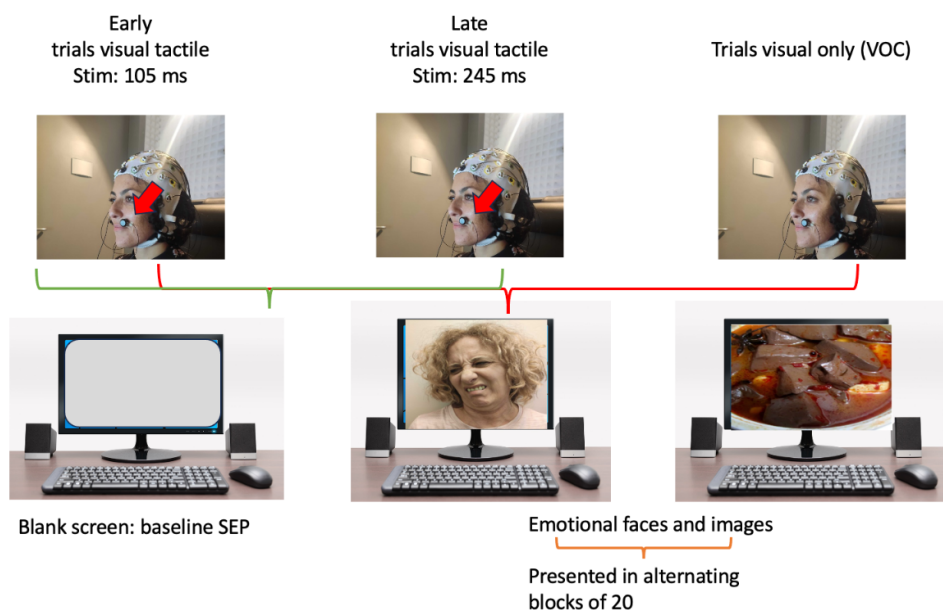


Figura 12.. Rappresentazione schematica del metodo. Nella parte alta dell'immagine sono indicate le tre condizioni di stimolazione tattile, mentre nella parte inferiore vi sono le tre condizioni degli stimoli visivi.

Il calcolo della risposta della corteccia somatosensoriale è stato effettuato tramite un metodo di sottrazione delle componenti evocate dalle condizioni di stimolazione tattile e visiva e da quelle evocate puramente dalla visione dello stimolo (figura 13). Pertanto, alle epoche che prevedevano la combinazione sia della componente SEP (*somatosensory evoked potentials*) che della componente VEP (*visual evoked potentials*) - sono state sottratte quelle ottenute durante i trials puramente visivi - che prevedevano solo la condizione VEP. Tramite questo processo è stato possibile isolare l'attività somatosensoriale durante l'elaborazione degli stimoli presentati.

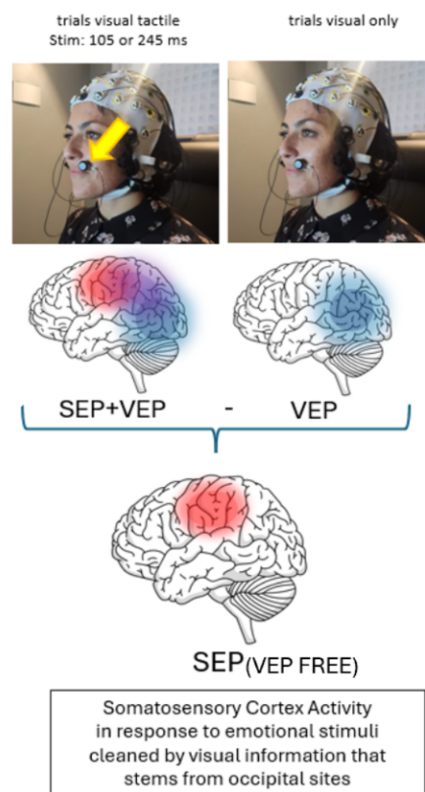


Figura 13. Rappresentazione schematica del metodo sottrattivo per il calcolo dei potenziali evocati sensorimotori escludendo dal tracciato i potenziali puramente visivi.

3.3.3. Pre-processing segnale EEG

Il segnale elettroencefalografico è stato misurato durante il compito sperimentale tramite un sistema di 64 elettrodi attivi posizionati sullo scalpo con riferimento al sistema 10/20 esteso e collocando un Acti-Cap elastico in riferimento al lobo dell'orecchio sinistro del partecipante. La frequenza di campionamento selezionata è stata di 1000 Hz e l'impedenza è stata mantenuta al di sotto di 10 kOhm. I dati continui sono stati sottocampionati a 256 Hz, e si è utilizzato un filtro passa-alto a 0.1 Hz ed uno 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 allo stimolo tattile. Inoltre, si è effettuata l'analisi delle componenti indipendenti (ICA) a partire dai dati segmentati col fine di rimuovere le componenti artefattuali.

3.4. Analisi dei dati e Risultati

3.4.1. Identificazione della finestra di interesse

Le analisi condotte nello studio si sono basate su un approccio *data-driven* impiegando un t-test su 0 per osservare quando la condizione di stimolazione tattile pura fosse significativamente diversa da zero. Attraverso questo approccio è stato possibile analizzare l'attività dell'intero scalpo e identificare le finestre temporali e gli elettrodi che sono risultati significativamente diversi da zero. Nel nostro caso, gli elettrodi di interesse erano quelli relativi alle porzioni centrali dello scalpo, in quanto corrispondenti alla localizzazione anatomica della SCx. L'analisi dei dati ha evidenziato che la finestra temporale in cui si osservava un'attivazione specifica della SCx era quella inclusa tra i 280 e i 360 ms dopo l'inizio della stimolazione tattile. Questa finestra temporale è diventata quindi il focus per le analisi successive.

3.4.2. Risultati

Una prima analisi per investigare le eventuali differenze dell'ampiezza dei SEPs nell'elaborazione dei volti rispetto alle immagini è stata condotta tramite un modello lineare a effetti misti. La condizione sperimentale, l'emisfero e la finestra temporale sono stati inclusi come effetti

fissi, mentre l'ID dei partecipanti è stato inserito come effetto casuale. Questo approccio è appropriato per gli studi *within-subjects*, in quanto permette di esaminare gli effetti dell'utilizzo della stessa variabile sullo stesso soggetto sperimentale. In questo contesto, si è studiata la differenza di ampiezza dei SEP evocati da entrambe le tipologie di stimolo nelle condizioni di stimolazione tattile precoce e tardiva, ossia a 105 e 245 ms dopo la presentazione dello stimolo. Un effetto significativo di interazione [$F(1, 231) = 5.366, p = 0.021$] è stato riscontrato tra condizione, emisfero e finestra temporale.

Sono stati poi condotti test t post-hoc con contrasti multipli per valutare differenze significative nell'ampiezza dei SEP tra le categorie di stimolo (volto vs. immagine), le finestre temporali di stimolazione (105 ms e 245 ms) ed emisfero (destro e sinistro). Dalle analisi sono emersi due risultati significativi, riportati in Figura 14. Nello specifico, un primo test t post-hoc ha rivelato una differenza significativa nell'ampiezza dei SEP tra stimoli volto e immagine all'interno della finestra di stimolazione precoce (105 ms), lateralizzata nell'emisfero destro [$t(231) = -2.170, p = 0.031$]. Inoltre, una differenza significativa è stata rilevata nell'ampiezza dei SEP per gli stimoli volto tra le due finestre temporali di stimolazione (105 ms e 245 ms), anch'essa lateralizzata nell'emisfero destro [$t(231) = -2.173, p = 0.030$].

Come mostrato sempre nella figura 14, le analisi hanno riportato una riduzione dell'ampiezza dei SEP degli stimoli volto nella finestra di stimolazione precoce (i.e., 105 ms) rispetto ai SEP degli stimoli immagine, lateralizzata nell'emisfero destro.

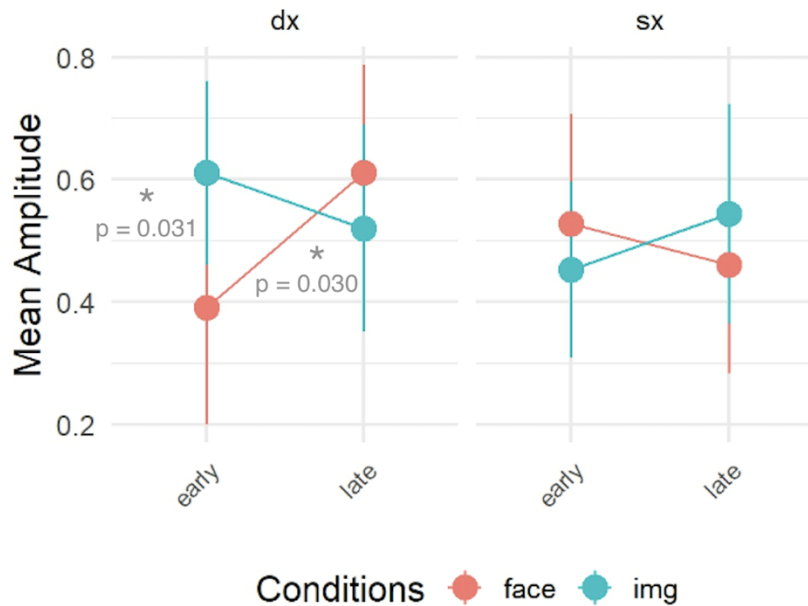


Figura 14. In questo plot è mostrata la media dell'ampiezza calcolata per le diverse condizioni, suddivisa per emisfero e finestra temporale di stimolazione. I punti rappresentano le medie, con le barre di errore che indicano l'intervallo di confidenza al 95% (calcolato come $\text{media} \pm 1.96 \times \text{errore standard}$). Il modello lineare a effetti misti ha evidenziato un effetto di interazione significativo tra le tre variabili ($F(1, 231) = 5.366, p = 0.021$). Le analisi post-hoc a contrasti multipli con t-test hanno evidenziato una differenza significativa nell'elaborazione dei volti e delle immagini nella finestra di stimolazione precoce ($t(231) = -2.170, p = 0.031$), e un'ulteriore differenza significativa nell'elaborazione degli stimoli volto tra le due finestre di stimolazione – i.e., 105 ms e 245 ms – e lateralizzata nell'emisfero destro ($t(231) = -2.173, p = 0.030$).

In aggiunta, si è voluto indagare se la differenza nei SEP tra le due categorie di stimoli potesse derivare dalla differenza del livello di *arousal* di ciascun soggetto sperimentale. Ciò è stato indagato tramite una correlazione di Pearson tra l'ampiezza dei SEP evocati dalla visione di ciascun stimolo e tra i punteggi individuali del livello di *arousal*. Come evidenziato dalla figura 15, l'analisi di correlazione tra ampiezza del segnale e punteggi di *arousal* si è rilevata non significativa ($R = -0.13, p = 0.473$), e, di conseguenza, si può affermare che il livello di *arousal* non possa essere considerato come un fattore in grado di spiegare la differenza di elaborazione tra le due categorie di stimoli dimostrata nell'evidenza precedente.

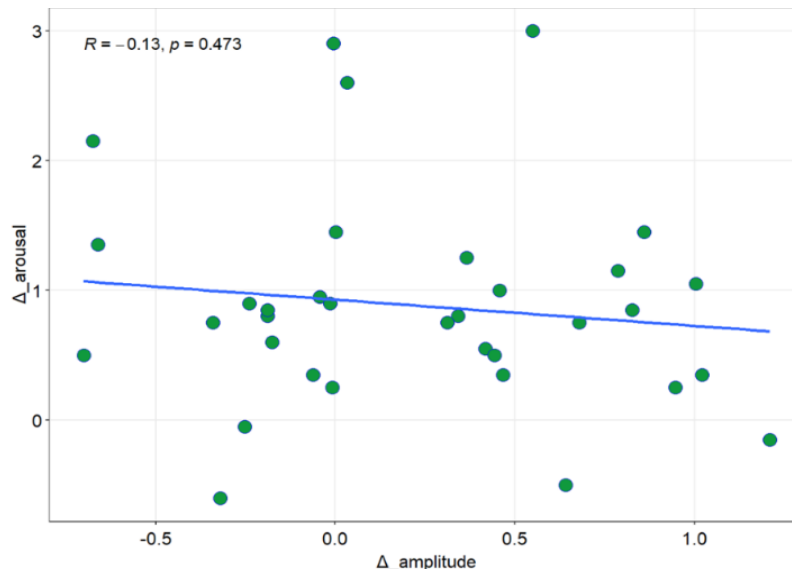


Figura 15. Rappresentazione della correlazione non significativa tra l'ampiezza del segnale e punteggi di arousal ($R = -0.13, p = 0.473$).

Tali risultati forniscono un supporto all'idea che vi è una modulazione significativa per i volti soltanto nella finestra di stimolazione precoce. Tuttavia, per poter interpretare con certezza tale evidenza è stato necessario confrontare l'ampiezza dei SEP relativi agli stimoli dei volti con i SEP evocati puramente dalla stimolazione tattile - ovvero quelli associati alla condizione di *blank screen*.

Anche in questo caso, si è adottato un modello lineare a effetti misti, e si sono inclusi la condizione sperimentale e l'emisfero come effetti fissi, mentre l'ID dei soggetti partecipanti è stato introdotto come effetto casuale. Inoltre, la finestra temporale non è stata inclusa tra gli effetti fissi in quanto questa analisi si è focalizzata unicamente sulla finestra temporale precoce – i.e., 105 ms.

Il modello lineare a effetti misti ha riportato una interazione significativa tra emisfero e condizione dei volti [$F(1,99) = 4.6880, p = 0.032$].

Successivamente, sono state condotte delle analisi post-hoc a contrasti multipli tra i livelli delle singole variabili. Nello specifico, come evidenziato dalla figura 16, l'analisi post-hoc con t-test a contrasti multipli ha riscontrato una significatività tra i SEP relativi alla sola stimolazione tattile ed i SEP relativi ai volti, lateralizzata a destra [$t(99) = -3.049, p = 0.029$].

Nessun effetto di interazione è stato invece riscontrato tra SEP relativi alle immagini e i SEP relativi alla sola stimolazione tattile [$F(1, 99) = 0.278, p = 0.598$].

La differenza significativa riscontrata tra i SEP relativi alla pura stimolazione tattile ed i SEP relativi ai volti conferma l'evidenza precedente inerente alla diminuzione di ampiezza dei segnali evocati dagli stimoli dei volti, come evidenziato dalle figure 16, 17 e 18.

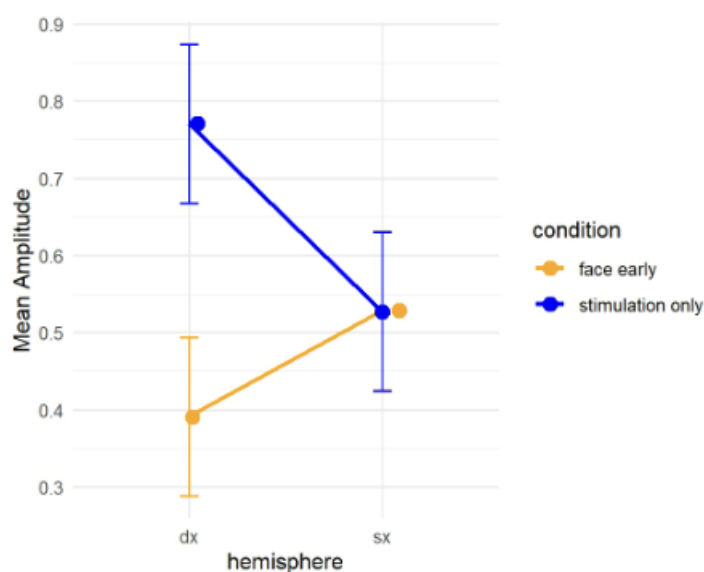


Figura 16. In questo plot viene mostrata la media dell'ampiezza dei SEP calcolata per le condizioni di blank screen (stimulation only) e di stimolo del volto nella finestra di stimolazione precoce (face early), ossia la condizione di stimoli dei volti con stimolazione precoce, suddivisa per emisfero. I punti rappresentano le medie. È evidente una modulazione significativa solo per i volti lateralizzata a destra ($t(99) = -3.049, p = 0.029$).

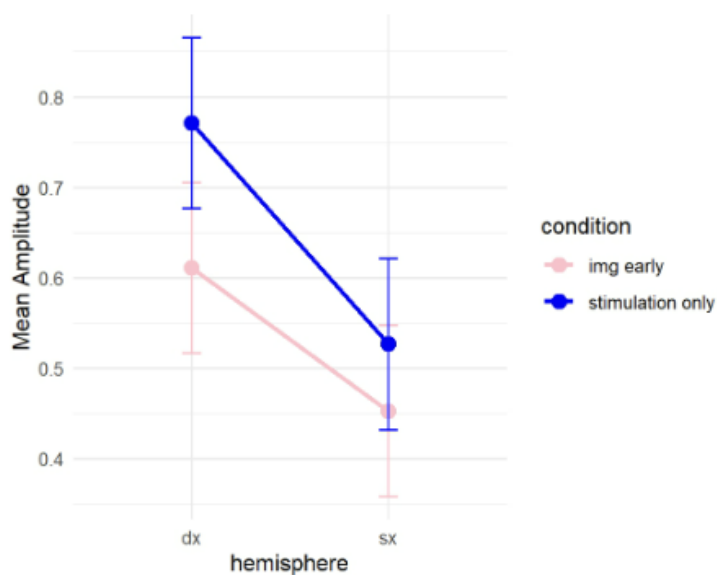


Figura 17. In questo plot viene mostrata la media dell'ampiezza dei SEP calcolata per le condizioni di blank screen (stimulation only) e di stimolo dell'immagine nella finestra di stimolazione precoce (image early), ossia la condizione di stimoli di immagini con stimolazione precoce, suddivisa per emisfero. I punti rappresentano le medie. In questo caso, non è evidente alcuna interazione significativa tra le due variabili ($F = 0.2787$, $p = 0.5987$).

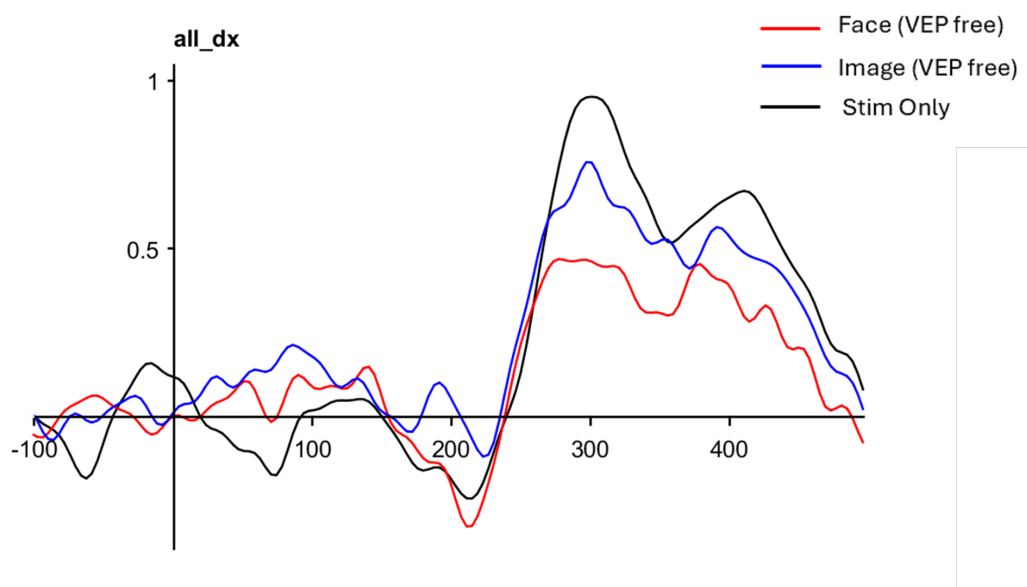


Figura 18. Plot delle forme d'onda delle tre condizioni di stimolazione - volti, immagini e blank screen - nella finestra temporale precoce (105 ms) di stimolazione tattile.

4. Capitolo 4 - Discussione, limiti e prospettive future

4.1. Discussione

Il presente studio si è posto l'obiettivo di indagare il ruolo esercitato dalla corteccia somatosensoriale nel processo di elaborazione delle espressioni facciali emotive.

Nel corso dei precedenti capitoli si sono trattati i differenti modelli implicati nella percezione e nel riconoscimento dei volti, e, in particolare, si è approfondita l'ipotesi della simulazione sensorimotoria. Tale meccanismo, infatti, permetterebbe agli individui di riconoscere le emozioni veicolate dalle espressioni facciali altrui, attraverso la riproduzione in sé stessi dei pattern sensoriali, motori e propriocettivi che ne sottostanno la produzione. Nello specifico, in questa sede, si è studiato il ruolo della corteccia somatosensoriale, poiché studi recenti sembrano supportare l'idea che tale regione abbia un ruolo di cruciale importanza in questo processo. Ciò che non era ancora stato indagato, tuttavia, era se la corteccia somatosensoriale venisse attivata selettivamente in risposta a questa categoria di stimoli, come sosterebbero i presupposti teorici della simulazione sensorimotoria, o se fosse implicata piuttosto un meccanismo di reattività emotiva aspecifica, generata dal semplice contenuto emotivo.

Pertanto, si sono testate tre ipotesi diverse, relative ai possibili scenari differenti in relazione al ruolo di tale area. Nello specifico, oltre allo scenario di un suo possibile ruolo selettivo nell'elaborazione dei volti emotivi - e quindi in linea con la simulazione sensorimotoria - si è anche ipotizzato il suo opposto, ossia che la SCx elabori selettivamente gli stimoli di immagini a carattere emotivo. Infine, l'ultima ipotesi del presente studio è che l'attività di tale regione sia pressoché simile tra le due categorie di stimoli, suggerendo un ruolo della corteccia somatosensoriale in una risposta di reattività emotiva generalizzata al contenuto degli stimoli, piuttosto che una risposta di simulativa. Come visto in precedenza, il paradigma sperimentale ha previsto la presenza non solo di espressioni facciali, ma anche di immagini disgustose.

Per testare le nostre ipotesi, si è deciso di indagare l'attività somatosensoriale tramite l'adozione di uno stimolatore tattile al fine di studiare i SEP, ossia i potenziali evocati sensorimotori. La decisione di svolgere questo tipo di analisi al posto di un'analisi della tempofrequenza deriva dal fatto che l'analisi dei SEP permette di misurare direttamente l'attività neurale della SCx e, di conseguenza, esplorare le dinamiche relative all'attività somatosensoriale durante il processo di elaborazione e discriminazione di volti emotivi. Inoltre, tale analisi garantisce una maggiore precisione temporale relativamente ai processi di interesse. Al contrario, la misura della tempofrequenza non restituisce una misurazione diretta dell'attività somatosensoriale e non garantisce la medesima risoluzione temporale.

I risultati dello studio hanno evidenziato una differenza significativa nell'elaborazione delle due categorie di stimoli nell'emisfero destro, confermando le evidenze presenti in letteratura sulla specializzazione di tale emisfero nell'elaborazione dei volti, ed evidenziando la presenza di un effetto dovuto alla manipolazione effettuata sul volto del partecipante. Inoltre, tale differenza significativa è stata selettivamente osservata nella finestra di stimolazione precoce, ossia a 105 ms; in aggiunta, si è riscontrata una differenza significativa anche nell'elaborazione dei volti nelle due condizioni di stimolazione, ossia quella precoce e quella tardiva. Questi risultati forniscono supporto alle già presenti evidenze in letteratura sull'esistenza di un effetto di modulazione precoce della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione delle espressioni facciali emotive. Inoltre, confermano la nostra prima ipotesi, ossia che tale modulazione esiste, ed è selettiva per i volti solamente nella finestra di stimolazione precoce.

Infine, le presenti evidenze sono state confrontate con i SEP evocati dalla condizione di *blank screen*, che ci ha permesso di misurare l'ampiezza pura dei SEP. Tale confronto ha dimostrato che vi è una differenza statisticamente significativa solo tra i SEP di baseline e solo i SEP evocati dalle espressioni facciali. Infatti, l'ampiezza dei SEP evocati da tali stimoli è risultata minore rispetto all'ampiezza dei SEP di baseline; tale riduzione dell'ampiezza del segnale in risposta agli stimoli dei volti potrebbe essere dovuta al fatto che solo questa categoria di stimoli coinvolgerebbe la

corteccia somatosensoriale e, di conseguenza, l'elaborazione delle espressioni facciali sarebbe in grado di interferire maggiormente con la sua attività rispetto all'elaborazione della semplice stimolazione tattile. Inoltre, i nostri risultati non riportano una riduzione simile anche per gli stimoli delle immagini, e, di conseguenza, possiamo affermare che tale meccanismo sembrerebbe essere specifico per le espressioni facciali.

4.2. Limiti e Prospettive Future

È essenziale dover considerare i limiti del presente studio, in modo da poter ragionare ed interpretare con la dovuta accuratezza i risultati emersi.

In primo luogo, dobbiamo tenere presente il campione coinvolto nell'esperimento che, sebbene risulti piuttosto ampio rispetto ad altri studi che hanno adoperato l'elettroencefalogramma, la *sample size* è comunque piuttosto ridotta. Inoltre, il nostro studio non comprende una condizione di controllo di stimoli neutri - che ci avrebbe permesso di isolare con maggiore precisione la differenza tra le componenti generata dalla presenza del contenuto emotivo; tuttavia, è bene sottolineare come la decisione di non includere tale condizione sia stata dettata da motivi di natura pratica: il paradigma sperimentale era piuttosto lungo e, di conseguenza, aggiungere un'altra condizione avrebbe comportato un'ingente richiesta di tempo e un eccessivo sovraccarico attentivo da parte dei partecipanti.

Oltre alle evidenze emerse dal nostro studio e ai relativi limiti, durante il lavoro al seguente progetto di tesi sono emersi alcuni aspetti che potrebbero irrobustire il nostro paradigma sperimentale.

Innanzitutto, sarebbe interessante valutare più accuratamente i punteggi di empatia e le due sottocomponenti del costrutto, ossia quella cognitiva e quella affettiva. In questo contesto, risulterebbe necessaria l'adozione della scala del QCAE (*Questionnaire of Cognitive and Affective Empathy*) (Reniers, R. L. E. P., et al., 2010) al posto della scala IRI che, sebbene sia più dispendiosa da compilare in termini di tempo, rimane uno strumento più recente e, soprattutto, sensibile nel distinguere le due componenti dell'empatia. Sarebbe interessante, infatti, osservare se vi è una

correlazione tra i punteggi riportati nelle due componenti dell'empatia e l'ampiezza dei segnali SEP in risposta agli stimoli di volti emotivi.

Un ulteriore punto che meriterebbe un maggiore approfondimento è quello relativo all'adozione di un'ulteriore tecnica di misurazione, ossia l'elettromiogramma (EMG), col fine di studiare le attivazioni della mimica facciale in risposta ai nostri stimoli sperimentali e osservare se vi è una correlazione tra tali attivazioni e l'ampiezza dei SEP, e se tale ampiezza è modulata dallo stimolo del volto o dell'immagine.

Infine, sarebbe interessante includere una scala per la misurazione del disgusto, ossia la QADP (*The Questionnaire for the Assessment of Disgust Proneness*) (Schienle, A., et al., 2002), col fine di individuare due gruppi di partecipanti, in cui uno sarebbe caratterizzato da una bassa predisposizione al disgusto e l'altro da alta predisposizione, col fine di verificare se la modulazione osservata in questo studio sia differente in persone con alta o bassa predisposizione a tale emozione.

5. Conclusioni

Il presente studio ha contribuito in modo significativo alla comprensione del ruolo della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione di stimoli emotivi e delle espressioni facciali, confermando un effetto di modulazione selettivo della SCx nell'elaborazione delle espressioni facciali emotive e offrendo così un supporto importante all'esistenza di un meccanismo di simulazione sensorimotoria. Nello specifico, i risultati emersi dal nostro studio confermano la prima ipotesi, ma solamente da un punto di vista concettuale, in quanto la direzione della modulazione dei SEP per i volti non è coerente con le nostre aspettative - si osserva, infatti, una diminuzione dell'ampiezza del potenziale anziché un aumento in risposta alle espressioni facciali.

Questa evidenza suggerisce che la corteccia somatosensoriale sia coinvolta nell'elaborazione delle espressioni facciali più che in quella di stimoli a contenuto emotivo, in linea con i presupposti della simulazione sensorimotoria.

In altre parole, i risultati vanno maggiormente nella direzione di un ruolo specifico della corteccia somatosensoriale nell'elaborazione delle espressioni facciali emotive, piuttosto che in direzione della nostra seconda ipotesi, ossia che la SCx sia maggiormente implicata in un fenomeno di generalizzata reattività emotiva.

In conclusione, il presente studio conduce ad una nuova ed inedita direzione nella ricerca sull'elaborazione delle espressioni facciali, suggerendo l'esistenza di un meccanismo le cui modalità di funzionamento non sono ancora state prese in esame e che, alla luce di ciò che abbiamo trovato, necessiteranno di maggiori approfondimenti futuri.

6. Bibliografia

Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G., & Damasio, A. (2000). A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by threedimensional lesion mapping. *The Journal of Neuroscience*, 20(7), 2683–2690. <https://doi.org/123123123>

Adolphs, R., and Birmingham, E., 'Neural Substrates of Social Perception', in Andrew J. Calder, and others (eds), *Oxford Handbook of Face Perception*, Oxford Library of Psychology (2011; online edn, Oxford Academic, 21 Nov. 2012), <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199559053.013.0029>, accessed 12 Sept. 2024.

Allport, F. H. (1922). A physiological-genetic theory of feeling and emotion. *Psychological Review*, 29, 132–139. <http://dx.doi.org/10.1037/h0075652>

Allport, F. H. (1924). Feeling and emotion. In F. H. Allport (Ed.), *Social psychology* (pp. 84–98). Boston, MA: Houghton Mifflin Company.

Amo Usanos C, Boquete L, de Santiago L, Barea Navarro R, Cavaliere C. Induced Gamma-Band Activity during Actual and Imaginary Movements: EEG Analysis. *Sensors* (Basel). 2020 Mar 11;20(6):1545. doi: 10.3390/s20061545. PMID: 32168747; PMCID: PMC7146111.

Avidan G, Tanzer M, Hadj-Bouziane F, Liu N, Ungerleider LG, Behrmann M. Selective dissociation between core and extended regions of the face processing network in congenital prosopagnosia. *Cereb Cortex*. 2014 Jun;24(6):1565-78. doi: 10.1093/cercor/bht007. Epub 2013 Jan 31. PMID: 23377287; PMCID: PMC4064011.

B. Calvo-Merino, D.E. Glaser, J. Grèzes, R.E. Passingham, P. Haggard, Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers, *Cerebral Cortex*, Volume 15, Issue 8, August 2005, Pages 1243–1249, <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi007>

Barton JJ, Press DZ, Keenan JP, O'Connor M. Lesions of the fusiform face area impair perception of facial configuration in prosopagnosia. *Neurology*. 2002 Jan 8;58(1):71-8. doi: 10.1212/wnl.58.1.71. PMID: 11781408.

Bentin S, Allison T, Puce A, Perez E, McCarthy G. Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *J Cogn Neurosci*. 1996 Nov;8(6):551-565. doi: 10.1162/jocn.1996.8.6.551. PMID: 20740065; PMCID: PMC2927138.

Bernstein M, Yovel G. 2015. Two neural pathways of face processing: a critical evaluation of current models. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 55:536–46

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77, 305–327.

Calder AJ. 2011. Does facial identity and facial expression recognition involve separate visual routes? See Calder et al. 2011, pp. 427–48

Chao, L.L. et al. (1999) Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing objects. *Nat. Neurosci.* 2, 913–919

Chapman HA, Anderson AK. Understanding disgust. *Ann N Y Acad Sci*. 2012 Mar;1251:62-76. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.06369.x. Epub 2012 Jan 18. PMID: 22256964.

Coles NA, Larsen JT, Lench HC. A meta-analysis of the facial feedback literature: Effects of facial feedback on emotional experience are small and variable. *Psychol Bull.* 2019 Jun;145(6):610-651. doi: 10.1037/bul0000194. Epub 2019 Apr 11. PMID: 30973236.

Coles NA, March DS, Marmolejo-Ramos F, Larsen JT, Arinze NC, Ndukaihe ILG, Willis ML, Foroni F, Reggev N, Mokady A, Forscher PS, Hunter JF, Kaminski G, Yüvrük E, Kapucu A, Nagy T, Hajdu N, Tejada J, Freitag RMK, Zambrano D, Som B, Aczel B, Barzykowski K, Adamus S, Filip K, Yamada Y, Ikeda A, Eaves DL, Levitan CA, Leiweke S, Parzuchowski M, Butcher N, Pfuhl G, Basnight-Brown DM, Hinojosa JA, Montoro PR, Javela D LG, Vezirian K, IJzerman H, Trujillo N, Pressman SD, Gygax PM, Özdoğru AA, Ruiz-Fernandez S, Ellsworth PC, Gaertner L, Strack F, Marozzi M, Liuzza MT. A multi-lab test of the facial feedback hypothesis by the Many Smiles Collaboration. *Nat Hum Behav.* 2022 Dec;6(12):1731-1742. doi: 10.1038/s41562-022-01458-9. Epub 2022 Oct 20. PMID: 36266452.

Damasio AR, Damasio H, Van Hoesen GW: Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanisms. *Neurology.* 1982; **32**(4): 331–41

Davis, M. H. (1980). *Interpersonal Reactivity Index (IRI)* [Database record]. APA PsycTests.

de Haan, M., Nelson, C.A., Recognition of the mother's face by six-month-old infants: a neurobehavioral study. *Child Dev.* 1997 Apr;68(2):187-210. PMID: 9179998.

di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res.* 1992;91(1):176-80. doi: 10.1007/BF00230027. PMID: 1301372.

Dimberg, U., & Thunberg, M. (1998). Rapid facial reactions to emotion facial expressions.

Scandinavian Journal of Psychology, 39(1), 39–46. <https://doi.org/10.1111/1467-9450.00054>

Dimberg, U., Thunberg, M., & Elmehed, K. (2000). Unconscious facial reactions to emotional

facial expressions. *Psychological Science*, 11(1), 86–89. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00221>

Duchaine B, Yovel G. A Revised Neural Framework for Face Processing. *Annu Rev Vis Sci*. 2015

Nov 24;1:393-416. doi: 10.1146/annurev-vision-082114-035518. PMID: 28532371.

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).

Ferrari P.F., Gallese V., Rizzolatti G. & Fogassi L. 2003. Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex.

Eur. J. Neurosci., 17: 1703-1714.

Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain*.

1996 Apr;119 (Pt 2):593-609. doi: 10.1093/brain/119.2.593. PMID: 8800951.

Gallese, V., & Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in*

Cognitive Sciences, 15 (11), 512-519

Gilaie-Dotan, S., & Malach, R. (2007). Sub-exemplar shape tuning in human face-related areas.

Cerebral Cortex, 17(2), 325–338. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj150>

Goldman AI, Sripada CS. Simulationist models of face-based emotion recognition. *Cognition*. 2005 Jan;94(3):193-213. doi: 10.1016/j.cognition.2004.01.005. PMID: 15617671.

Graeme J. Taylor, Michael Bagby, James D.A. Parker; The Revised Toronto Alexithymia Scale: Some Reliability, Validity, and Normative Data. *Psychother Psychosom* 31 December 1992; 57 (1-2): 34–41. <https://doi.org/10.1159/000288571>

Hasselmo, M. E., Rolls, E. T., & Baylis, G. C. (1989). The role of expression and identity in the face-selective responses of neurons in the temporal visual cortex of the monkey. *Behavioural Brain Research*, 32, 203–218.

Haxby JV, Hoffman EA, Gobbini MI. The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn Sci*. 2000 Jun;4(6):223-233. doi: 10.1016/s1364-6613(00)01482-0. PMID: 10827445.

Hemond CC, Kanwisher NG, Op de Beeck HP (2007) A Preference for Contralateral Stimuli in Human Object- and Face-Selective Cortex. *PLoS ONE* 2(6): e574.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000574>

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), 80–84.
<https://doi.org/10.1038/71152>

Hoffman, E., Haxby, J. Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nat Neurosci* 3, 80–84 (2000). <https://doi.org/10.1038/71152>

Huang RS, Sereno MI (2007) Dodecapus: an MR-compatible system for somatosensory stimulation. *Neuroimage* 34:1060 –1073.

Iacoboni M. Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annu Rev Psychol.* 2009;60:653-70. doi: 10.1146/annurev.psych.60.110707.163604. PMID: 18793090.

Iacoboni M., Lieberman M.D., Knowlton B.J., Molnar-Szakacs I., Moritz M., Throop C.J. & Fiske A.P. 2004. Watching social interactions produces dorsomedial prefrontal and medial parietal BOLD fMRI signal increases compared to a resting baseline. *NeuroImage*, 21: 1167-1173

James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9, 188-205. <https://doi.org/10.1093/mind/osIX.34.188>

Japee S, Jordan J, Licht J, Lokey S; Moebius Syndrome Research Consortium; Chen G, Snow J, Jabs EW, Webb BD, Engle EC, Manoli I, Baker C, Ungerleider LG. Inability to move one's face dampens facial expression perception. *Cortex.* 2023 Dec;169:35-49. doi:10.1016/j.cortex.2023.08.014. Epub 2023 Sep 30. PMID: 37852041; PMCID: PMC10836030.

Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci.* 1997 Jun 1;17(11):4302-11. doi: 10.1523/JNEUROSCI.17-11-04302.1997. PMID: 9151747; PMCID: PMC6573547.

Keysers C, Gazzola V. Towards a unifying neural theory of social cognition. *Prog Brain Res.* 2006;156:379-401. doi: 10.1016/S0079-6123(06)56021-2. PMID: 17015092.

Kilts CD, Egan G, Gideon DA, Ely TD, Hoffman JM. Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions. *Neuroimage*. 2003 Jan;18(1):156-68. doi: 10.1006/nimg.2002.1323. PMID: 12507452.

Kim MJ, Neta M, Davis FC, Ruberry EJ, Dinescu D, Heatherton TF, Stotland MA, Whalen PJ. Botulinum toxin-induced facial muscle paralysis affects amygdala responses to the perception of emotional expressions: preliminary findings from an A-B-A design. *Biol Mood Anxiety Disord*. 2014 Oct 31;4:11. doi: 10.1186/2045-5380-4-11. PMID: 25694806; PMCID: PMC4332022.

Kovács P, Knakker B, Hermann P, Kovács G, Vidnyánszky Z. Face inversion reveals holistic processing of peripheral faces. *Cortex*. 2017 Dec;97:81-95. doi: 10.1016/j.cortex.2017.09.020. Epub 2017 Oct 6. PMID: 29096198.

Kraft TL, Pressman SD. Grin and bear it: the influence of manipulated facial expression on the stress response. *Psychol Sci*. 2012;23(11):1372-8. doi: 10.1177/0956797612445312. Epub 2012 Sep 24. PMID: 23012270.

Lange, C. G. (1885). *Om sindsbevaegelser; et psyko-fysiologiskstudie*. Lund.

Lin, W. et al. (2015) Is it helpful for individuals with minor depression to keep smiling? An event-related potentials analysis. *Soc. Behav. Pers.* 43, 383–396

Meadows JC: The anatomical basis of prosopagnosia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1974; **37**(5): 489–501

Naumann, S., Senfleben, U., Santhosh, M. *et al.* Neurophysiological correlates of holistic face processing in adolescents with and without autism spectrum disorder. *J Neurodevelop Disord* 10, 27 (2018). <https://doi.org/10.1186/s11689-018-9244-y>

Niedenthal PM. Embodying emotion. *Science*. 2007 May 18;316(5827):1002-5. doi: 10.1126/science.1136930. PMID: 17510358.

Oh H, Braun AR, Reggia JA, Gentili RJ. Fronto-parietal mirror neuron system modeling: Visuospatial transformations support imitation learning independently of imitator perspective. *Hum Mov Sci*. 2019 Jun;65:S0167-9457(17)30942-9. doi: 10.1016/j.humov.2018.05.013. Epub 2018 Sep 12. PMID: 30219273.

Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 1971 Mar;9(1):97-113. doi: 10.1016/0028-3932(71)90067-4. PMID: 5146491.

Oram, M. and Perrett, D. (1996) Integration of form and motion in the anterior superior temporal polysensory area (STPa) of the Macaque monkey. *J. Neurophys.* 76, 109–129

Penfield W, Jasper H (1954) *Epilepsy and the functional anatomy of the human brain*. Boston: Little, Brown.

Perrett, D. et al. (1985) Visual analysis of body movements by neurones in the temporal cortex of the macaque monkey: a preliminary report. *Behav. Brain Res.* 16, 153–170

Perrett, D.I., Rolls, E.T. & Caan, W. Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Exp Brain Res* 47, 329–342 (1982). <https://doi.org/10.1007/BF00239352>

Perrett, D. I; Harris, M. H; Mistlin, A. J; Hietanen, J. K; Benson, P. J; Bevan, R., et al. (1990).

Social Signals Analyzed at the Single Cell Level: Someone is Looking at Me, Something

Moved!. *International Journal of Comparative Psychology*, 4(1).

<http://dx.doi.org/10.46867/C4X88P> Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/90z9x4wm>

Pitcher D, Dilks DD, Saxe RR, Triantafyllou C, Kanwisher N. 2011. Differential selectivity for dynamic versus static information in face selective cortical regions. *NeuroImage* 56:2356–63

Pitcher D, Garrido L, Walsh V, Duchaine BC. Transcranial magnetic stimulation disrupts the perception and embodiment of facial expressions. *J Neurosci*. 2008 Sep 3;28(36):8929-33. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1450-08.2008. PMID: 18768686; PMCID: PMC6670866.

Pitcher D, Ungerleider LG. Evidence for a Third Visual Pathway Specialized for Social Perception. *Trends Cogn Sci*. 2021 Feb;25(2):100-110. doi: 10.1016/j.tics.2020.11.006. Epub 2020 Dec 14. PMID: 33334693; PMCID: PMC7811363.

Pitcher D, Pilkington A, Rauth L, Baker C, Kravitz DJ, Ungerleider LG. The Human Posterior Superior Temporal Sulcus Samples Visual Space Differently From Other Face-Selective Regions. *Cereb Cortex*. 2020 Mar 21;30(2):778-785. doi: 10.1093/cercor/bhz125. PMID: 31264693; PMCID: PMC7306171.

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).

Puce A., Allison T., Bentin, S., Gore J.C., McCarthy G. Temporal Cortex Activation in Humans Viewing Eye and Mouth Movements *Journal of Neuroscience* 15 March 1998, 18 (6) 2188-2199; **DOI:** 10.1523/JNEUROSCI.18-06-02188.1998

Quettier T, Maffei A, Gambarota F, Ferrari PF and Sessa P (2023) Testing EEG functional connectivity between sensorimotor and face processing visual regions in individuals with congenital facial palsy. *Front. Syst. Neurosci.* 17:1123221. doi: 10.3389/fnsys.2023.1123221

Reniers, R. L. E. P., Corcoran, R., Drake, R., Shryane, N. M., & Völlm, B. A. (2010). The QCAE: A Questionnaire of Cognitive and Affective Empathy. *Journal of Personality Assessment*, 93(1), 84–95. <https://doi.org/10.1080/00223891.2010.528484>

Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res.* 1996 Mar;3(2):131-41. doi: 10.1016/0926-6410(95)00038-0. PMID: 8713554.

Rotshtein P, Henson RN, Treves A, Driver J, Dolan RJ. Morphing Marilyn into Maggie dissociates physical and identity face representations in the brain. *Nat Neurosci.* 2005 Jan;8(1):107-13. doi: 10.1038/nm1370. Epub 2004 Dec 12. PMID: 15592463.

Rychlowska M, Cañadas E, Wood A, Krumhuber EG, Fischer A, Niedenthal PM (2014) Blocking Mimicry Makes True and False Smiles Look the Same. *PLoS ONE* 9(3): e90876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090876>

Saxe R. Uniquely human social cognition. *Curr Opin Neurobiol.* 2006 Apr;16(2):235-9. doi: 10.1016/j.conb.2006.03.001. Epub 2006 Mar 20. PMID: 16546372.

Schiano Lomoriello, A., Caperna, G., De Stefani, E., Ferrari, P. F., & Sessa, P. (2020, October 8).

The intensity of emotion: Altered motor simulation impairs processing of facial expressions in congenital facial palsy. <https://doi.org/10.31234/osf.io/fze8c>

Schultz J, Pilz KS. 2009. Natural facial motion enhances cortical responses to faces. *Exp Brain Res*. 194:465–75.

Schienze, A & Walter, Bertram & Stark, Rudolf & Vaitl, D. (2002). A questionnaire for the assessment of disgust sensitivity. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*. 31. 110-120. 10.1021//1616-3443.31.2.110.

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).

Shruti Japee; On the Role of Sensorimotor Experience in Facial Expression Perception. *J Cogn Neurosci* 2024; doi: https://doi.org/10.1162/jocn_a_02148

Sorger B, Goebel R, SchiltzC, Rossion B. 2007. Understanding the functional neuroanatomy of prosopagnosia. *NeuroImage* 35:836–52

Soussignan, R., Dollion, N., Schaal, B., Durand, K., Reissland, N., & Baudouin, J. Y. (2017).

Mimicking emotions: how 3–12-month-old infants use the facial expressions and eyes of a model. *Cognition and Emotion*, 32(4), 827–842. <https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1359015>

Stark S, Stark C, Wong B, Brin MF. Modulation of amygdala activity for emotional faces due to botulinum toxin type A injections that prevent frowning. *Sci Rep*. 2023 Feb 27;13(1):3333. doi: 10.1038/s41598-023-29280-x. PMID: 36849797; PMCID: PMC9971043.

Strack, F., Martin, L. L., & Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: A nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(5), 768–777. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.5.768>

Surguladze SA, Brammer MJ, Young AW, Andrew C, Travis MJ, et al. 2003. A preferential increase in the extrastriate response to signals of danger. *NeuroImage* 19:1317–28

Tanaka JW, Farah MJ. Parts and wholes in face recognition. *Q J Exp Psychol A*. 1993 May;46(2):225-45. doi: 10.1080/14640749308401045. PMID: 8316637.

Tramacere, Antonella & Ferrari, Pier Francesco (2016). Faces in the mirror, from the neuroscience of mimicry to the emergence of mentalizing. *Journal of Anthropological Studies* 94:1-14.

Wada Y, Yamamoto T. Selective impairment of facial recognition due to a haematoma restricted to the right fusiform and lateral occipital region. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2001 Aug;71(2):254-7. doi: 10.1136/jnnp.71.2.254. PMID: 11459906; PMCID: PMC1737516.

Wagenmakers, E.-J., Beek, T., Dijkhoff, L., Gronau, Q. F., Acosta, A., Adams, R. B., Jr., . . .

Zwaan, R. A. (2016). Registered replication report: Strack, Martin, & Stepper (1988). *Perspectives on Psychological Science*, 11, 917–928. <http://dx.doi.org/10.1177/1745691616674458>

Winston JS, O'Doherty J, Dolan RJ. Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *Neuroimage*. 2003 Sep;20(1):84-97. doi: 10.1016/s1053-8119(03)00303-3. PMID: 14527572.

Wiswede, D. et al. (2009) Embodied emotion modulates neural signature of performance monitoring. *PLoS ONE* 4, 1–6

Wood, A., Lupyan, G., Sherrin, S. *et al.* Altering sensorimotor feedback disrupts visual discrimination of facial expressions. *Psychon Bull Rev* **23**, 1150–1156 (2016).
<https://doi.org/10.3758/s13423-015-0974-5>

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)

Wright P, He G, Shapira NA, Goodman WK, Liu Y. Disgust and the insula: fMRI responses to pictures of mutilation and contamination. *Neuroreport*. 2004 Oct 25;15(15):2347-51. doi: 10.1097/00001756-200410250-00009. PMID: 15640753.

Yang H, Susilo T, Duchaine B. The Anterior Temporal Face Area Contains Invariant Representations of Face Identity That Can Persist Despite the Loss of Right FFA and OFA. *Cereb Cortex*. 2016 Mar;26(3):1096-1107. doi: 10.1093/cercor/bhu289. Epub 2014 Dec 19. PMID: 25527821.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1), 141–145. <https://doi.org/10.1037/h0027474>

Young AW, Hellawell D, Hay DC. Configurational information in face perception. *Perception*. 1987;16(6):747-59. doi: 10.1068/p160747. PMID: 3454432.