



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Psicologia Generale
Dipartimento di Psicologia dello sviluppo e dei processi di
socializzazione**

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

Tesi di laurea

**Il contributo della simulazione sensorimotoria alla percezione consapevole di
espressioni facciali in un paradigma di rivalità binoculare**

**The contribution of sensorimotor simulation to conscious perception of facial
expression in a binocular rivalry paradigm**

Relatrice

Prof.ssa Paola Sessa

Correlatore

Dott. Thomas Quettier

Laureanda: Elena Moro

Matricola: 1138701

Anno Accademico 2021/2022

Indice

Abstract	3
Capitolo 1 - Introduzione	4
1.1 - Il riconoscimento dei volti e la simulazione sensorimotoria	4
1.2 - Lo studio della coscienza e la rivalità binoculare	11
1.3 - L'influenza del contenuto emotivo nella rivalità binoculare	19
1.4 - Ipotesi di ricerca	22
Capitolo 2 - Metodologia	25
2.1 - Partecipanti	25
2.2 - Materiale	26
2.3 - Procedura	28
2.4 - Data reduction	32
2.6 - Analisi dei dati	33
Capitolo 3 - Risultati	34
3.1 - <i>Initial percept e onset resolution time</i>	34
3.2 - <i>Cumulative time</i>	36
3.3 - Valutazione di valenza ed arousal	38
Capitolo 4 - Discussione	39
4.1 - Sintesi	39
4.2 - Discussione dei risultati	41
4.3 - Limiti e prospettive future	44
4.4 - Conclusioni	45
Bibliografia	46

Abstract

Riconoscere le emozioni è un aspetto fondamentale nei rapporti sociali. L'estrazione di informazioni dal volto è un processo che va oltre l'informazione visiva: i dati fino ad oggi raccolti nella letteratura delle neuroscienze evidenziano un ruolo chiave dell'informazione sensorimotoria. Wood e colleghi (2016b) hanno proposto un modello di simulazione sensorimotoria per spiegare questo complesso fenomeno, proponendo che i segnali sensorimotori possano fornire un feedback alle aree visive così da favorire il processamento delle espressioni facciali.

A completamento allo studio di Quettier et al. (2021), questo studio ha indagato il ruolo della mimica facciale nella percezione consapevole di espressioni emotive. È stato adottato un paradigma di rivalità binoculare, che prevede la presentazione di due differenti immagini a ciascuno dei due occhi: le aree visive del cervello si trovano in conflitto e la risoluzione dello stesso viene resa con l'alternarsi di immagini che competono per la dominanza nella consapevolezza. L'ipotesi, dunque, è che la manipolazione della mimica facciale possa influenzare le fasi di dominanza e soppressione della rivalità binoculare.

Nel gruppo sperimentale sono state incluse partecipanti di sesso femminile (N = 28) reclutate tramite annunci presso l'Università di Padova. Nell'esperimento, ognuna delle partecipanti è stata sottoposta a stimoli in rivalità binoculare con espressione felice e neutra in due condizioni sperimentali: in una era possibile usare liberamente la mimica facciale, nell'altra era necessario stringere un chopstick tra i denti, attivando così lo zigomatico (i.e., il muscolo associato all'espressione facciale di felicità). I risultati evidenziano l'importanza della mimica nell'elaborazione consapevole delle espressioni facciali: il contenuto consapevole relativo all'espressione felice, infatti, permane in fase di dominanza più a lungo quando la mimica è facilitata dalla manipolazione congruente. Questi dati supportano il ruolo della simulazione sensorimotoria nel processamento di espressioni facciali.

Capitolo 1 - Introduzione

1.1 - Il riconoscimento dei volti e la simulazione sensorimotoria

I volti sono degli stimoli per i quali l'essere umano ha sviluppato quella che viene definita *visual expertise*: in poche centinaia di millisecondi e in modo del tutto automatico è possibile estrarre significato dai volti (Wood, Rychlowska, Korb e Niedenthal, 2016b). Vengono rilevate variabili quali l'identità, il genere, l'età o l'emozione di un individuo semplicemente osservando il suo volto, come ad esempio nella Figura 1.

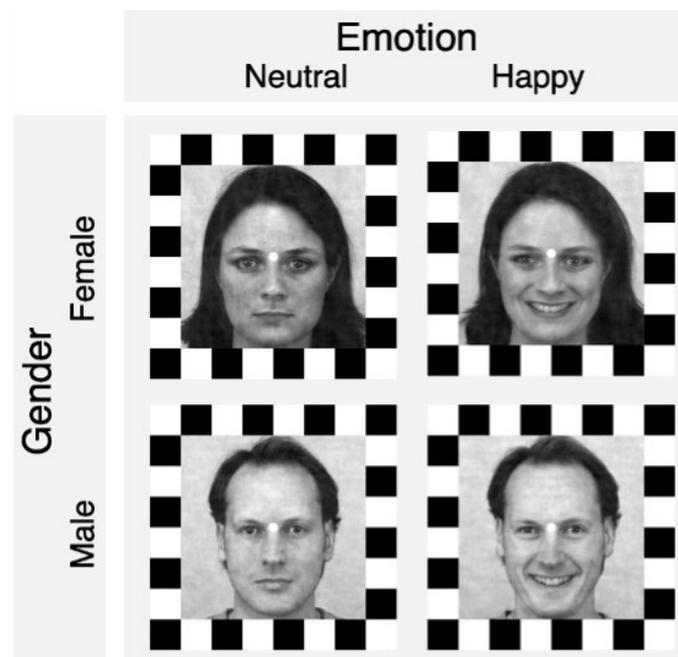


Figura 1. Volti di un uomo (AM10) e di una donna (AF01) tratti dal Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) di Lundqvist, Flykt e Öhman (1998). Estrarre le variabili “genere” (maschile o femminile) ed “emozione” (neutra o felice) per l’essere umano è un processo veloce ed automatico.

Nella letteratura neuroscientifica sono stati proposti vari modelli per spiegare questa singolare abilità umana: il modello neurale, ad esempio, propone l’esistenza di regioni multiple e bilaterali per la percezione dei volti (Haxby, Hoffman e Gobbini, 2000). Queste sono organizzate in una struttura gerarchica formata da un *core* e da un *extended system* (Figura 2), tra loro dissociabili sia anatomicamente che funzionalmente.

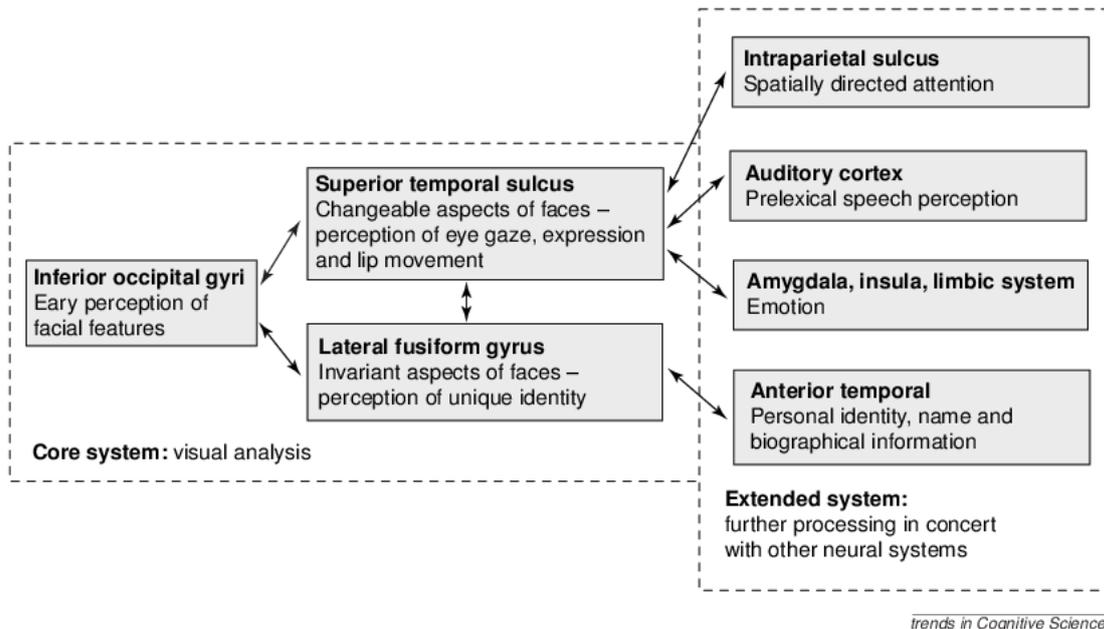


Figura 2. Il sistema neurale distribuito tratto da Haxby, Hoffman e Gobbini (2000) con il permesso di Elsevier e Copyright Clearance Center (CCC). A destra le regioni del core system e a sinistra le regioni dell'extended system. Il modello presenta una dissociazione sia funzionale che anatomica tra i sistemi deputati al riconoscimento del volto: il core system media l'analisi visiva del volto, rappresentando sia aspetti invarianti come l'identità che mutevoli come le espressioni facciali, mentre l'extended system media l'attività di altre funzioni cognitive (ad esempio le emozioni) al fine di estrarre significato dal volto e facilitarne il riconoscimento.

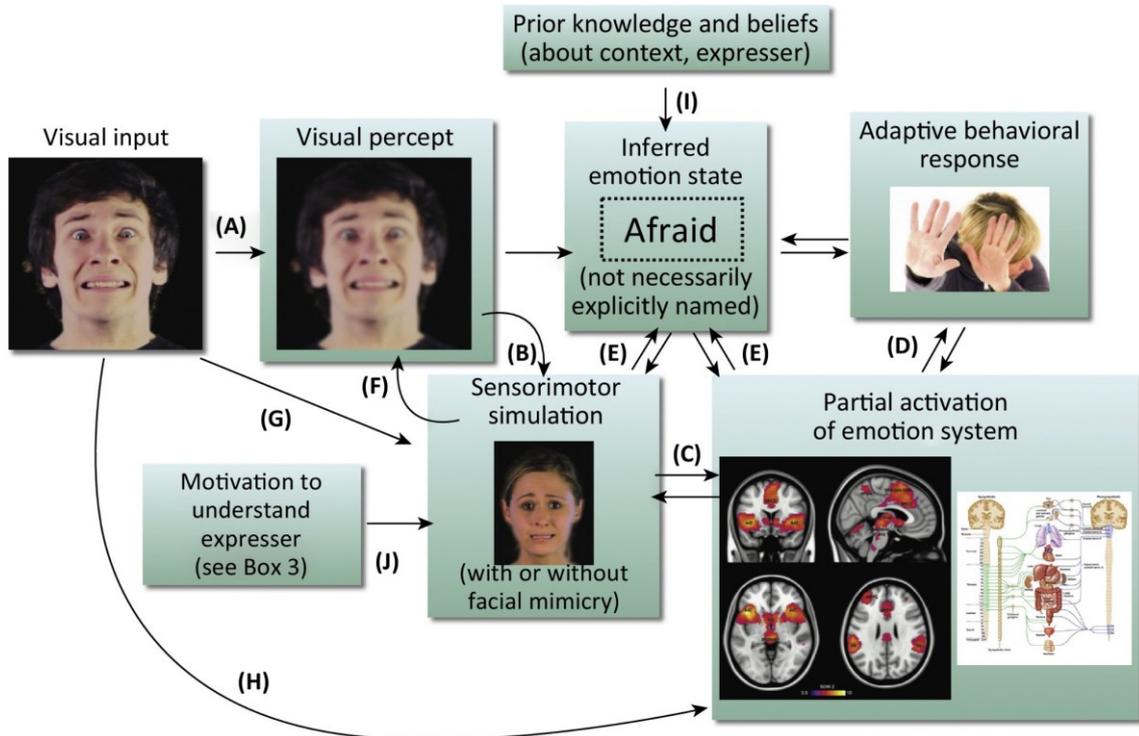
Estrarre informazioni dal volto è un processo complesso, specialmente per quanto riguarda il riconoscimento delle emozioni. Questo processo richiede particolare accuratezza ed efficienza e si configura come uno dei più importanti compiti percettivi che l'essere umano si ritrova ad affrontare quotidianamente (Wood, Lupyan, Sherrin e Niedenthal, 2016a). L'estrazione di informazioni dal volto, infatti, non si basa unicamente sull'informazione visiva: le ricerche fino ad ora condotte hanno evidenziato che per il riconoscimento dell'espressione facciale oltre all'informazione visiva viene sfruttata anche l'informazione sensorimotoria.

Un processo chiave risulta essere la simulazione sensorimotoria: il modello di Wood (2016b) è fondamentale per comprendere il contributo della simulazione al riconoscimento di espressioni facciali.

La simulazione sensorimotoria viene inserita in quella che è la prospettiva della cognizione incarnata (*embodied cognition*). Si tratta infatti di un modello che pone in relazione le funzioni cognitive superiori con il sistema sensorimotorio (Caruana e Borghi, 2013). In particolare si pone in opposizione all'approccio delle scienze cognitive classiche, paragonato con una metafora ad un "sandwich mentale". La mente, infatti, è stata a lungo considerata un sandwich con due estremità poco informative da tralasciare (i.e., il dominio sensoriale e quello motorio), così da includere solo la parte centrale, ovvero i processi cognitivi. La prospettiva cognitivista ha così giudicato le rappresentazioni mentali come processi indipendenti dall'esperienza sensorimotoria.

In opposizione a questa visione il modello di Wood rientra a pieno nella prospettiva della cognizione incarnata, assumendo che il riconoscimento di espressioni facciali sia fortemente legato ai processi di simulazione sensorimotoria.

Un riconoscimento accurato dell'espressione del volto secondo il modello di Wood si ha grazie alla possibilità di simulare l'espressione facciale percepita mediante l'attivazione dei sistemi neurali coinvolti nella corrispondente emozione (Figura 3). La simulazione spesso, ma non necessariamente, si riflette in un aumento di attività della mimica facciale del soggetto che riconosce le emozioni. Si va così a ricreare l'espressione facciale osservata, processo che riflette una sottostante simulazione al fine di supportare l'accuratezza nel riconoscimento. La mimica può essere misurata tramite la registrazione dell'attività elettromiografica (EMG), ma l'assenza di mimica facciale misurabile non va ad implicare in modo obbligatorio l'assenza di simulazione sensorimotoria (essendo un'attività corticale). Simulare l'espressione facciale percepita risulta così un processo essenziale per inferire l'emozione dell'altro (Wood et al., 2016b).



Trends in Cognitive Sciences

Figura 3. Il modello di Wood tratto da Wood, Rychlowska, Korb e Niedenthal (2016b) con il permesso di Elsevier e Copyright Clearance Center (CCC). Il volto e la relativa espressione facciale vengono tradotti in un visual percept (A), che produce simulazione sensorimotoria con o senza mimica facciale (B) e parziale attivazione neurale della corteccia sensorimotoria, motoria e premotoria (C). Questo determina una risposta comportamentale adattiva (D) e il riconoscimento dello stato emotivo dell'altro (E). La simulazione sensorimotoria può modulare la precisione del visual percept (F) e può verificarsi senza consapevolezza (G), così come l'attivazione del sistema delle emozioni (H). Conoscenze pregresse e credenze modulano lo stato emotivo inferito (I), mentre la motivazione a comprendere l'altro modula la simulazione sensorimotoria (J).

La mimica ha un ruolo chiave nel processamento delle espressioni facciali e le sue funzioni sono molteplici. Permette un riconoscimento più accurato (Künecke, Hildebrandt, Recio, Sommer, Wilhelm, 2014; Ipser e Cook, 2016), una miglior stima della valenza e dell'arousal (Hyniewska e Sato, 2015; Lobmaier e Fischer, 2015) e una migliore stima di autenticità dell'emozione (Rychlowska et al., 2014; Korb, With, Niedenthal, Kaiser e Grandjean, 2014). Come riporta Wood tutti questi vantaggi e benefici della mimica facciale hanno un ruolo chiave a livello evolutivo: da una parte facilitano l'azione in un gruppo sociale e dall'altra permettono di imparare quali

stimoli e/o comportamenti sono sicuri, minacciosi, accettabili o desiderabili (Wood, 2016b).

Se la mimica facciale viene bloccata, verrà ostacolata la possibilità di simulare e questo andrà ad impattare il riconoscimento delle emozioni. Lo stesso gruppo di ricerca di Wood ha condotto uno studio sperimentale in cui è stata bloccata la mimica facciale dei partecipanti: ha consentito così di chiarire il ruolo fondamentale del feedback sensorimotorio in un compito di fine discriminazione visiva di espressioni facciali. Manipolando la mimica facciale con l'utilizzo di una maschera per il viso costringitiva¹, è stato rilevato un impatto del blocco della mimica nell'accuratezza del compito di riconoscimento di espressioni facciali, senza incidere però nel riconoscimento di stimoli di controllo (stimoli non-volto). Questo risultato è importante perché dimostra che alterando i processi sensorimotori del volto c'è un impatto selettivo nel processamento visivo delle espressioni facciali. Il modello di Wood propone quindi che la simulazione sensorimotoria abbia un ruolo diretto nel modulare il percolato visivo (*visual percept*) relativo ad un volto con espressione facciale emotiva (Wood et al., 2016a).

Sono numerose le evidenze sperimentali a supporto del ruolo della mimica facciale con manipolazione tramite blocco o alterazione della stessa (Stel e van Knippenberg, 2008; Rychlowska et al., 2014; Lomoriello, Maffei, Brigadoi, Sessa, 2021). La maschera costringitiva precedentemente menzionata nello studio di Wood (2016a) è solo uno di tanti metodi disponibili per manipolare la mimica. Interessante è stato l'utilizzo di un paradenti² nello studio di Rychlowska et al. (2014). Questo dispositivo - una volta inserito - riduce i movimenti facciali, stringendo la bocca e le guance della persona che lo indossa. L'efficacia di questo metodo è stata testata dagli sperimentatori misurando l'attività EMG dei partecipanti quando lo indossavano: dalle analisi è emerso che il paradenti è uno strumento valido per inibire la mimica facciale. Un altro modo per

¹ La maschera per il viso costringitiva è uno strumento tipicamente utilizzato nell'ambito della cosmesi. Viene applicata sotto forma di gel su tutto il viso. In pochi minuti si solidifica dando una sensazione di costrizione al volto. Nell'esperimento di Wood et al. (2016a) è stata utilizzata al fine di alterare la mimica facciale dei partecipanti.

² Il paradenti viene utilizzato spesso nello sport - ad esempio nella boxe - per prevenire danni ai denti, alla mascella e alla bocca. È stato utilizzato per inibire i movimenti del volto dei partecipanti (senza richiedere la loro attenzione attiva) nello studio di Rychlowska et al. (2014).

manipolare la mimica facciale è mediante l'utilizzo di uno chopstick³ per attivare (Korb, Osimo, Suran, Goldstein e Rumiati, 2017) o inibire (Quettier, Gambarota, Tsuchiya e Sessa, 2021) il muscolo zigomatico (i.e., associato all'espressione facciale di felicità).

Il ruolo della mimica facciale è rilevabile anche nel riconoscimento di specifiche emozioni: il primo di due studi di Ponari e colleghi ha testato l'accuratezza del riconoscimento di sei diverse espressioni facciali bloccando i muscoli della parte superiore/inferiore del volto. Questo studio supporta il ruolo dell'attività sensorimotoria e della mimica facciale nel riconoscimento di espressioni emozionali congruenti. Gli autori hanno manipolato l'*upper* e la *lower face*⁴ dei partecipanti chiedendo loro di contrarre attivamente i muscoli della parte superiore (i.e., avvicinando due sticker rotondi nella parte più interna delle sopracciglia) o impedendo i movimenti della parte inferiore del volto (i.e., tenendo una penna tra i denti in orizzontale senza permettere alle labbra di toccarsi). Sulla base del tipo di manipolazione è stata rilevata una compromissione nell'accuratezza del compito. Sono stati riportati in particolare: un impatto della manipolazione della parte superiore del volto nel riconoscimento dell'espressione di rabbia, della manipolazione della parte inferiore nel riconoscimento di felicità e disgusto e un impatto di entrambe le manipolazioni nel riconoscimento di paura, senza però rilevare effetti nel riconoscimento di sorpresa e tristezza (Ponari, Conson, D'Amico, Grossi e Trojano, 2012).

La ricerca è stata estesa anche allo studio di condizioni cliniche come la paralisi facciale bilaterale (Keillor, Barret, Crucian, Kortenkamp e Heilman, 2002) e la sindrome di Moebius (De Stefani, Nicolini, Belluardo e Ferrari, 2019). Interessanti sono i dati ottenuti dallo studio di Keillor e colleghi (2002) su una paziente (F.P.) con paralisi facciale bilaterale. Nonostante la sua incapacità nel produrre espressioni facciali, F.P. riporta una esperienza emozionale nella norma, mantenendo la sua abilità nei compiti di rilevazione, discriminazione e *imagery* delle espressioni emotive rispetto al gruppo di controllo. Questi dati sostengono l'ipotesi che il feedback delle espressioni facciali emotive non sia necessario per l'esperienza emozionale e che possa non essere sufficiente

³ Con il termine chopstick si intende la bacchetta tradizionalmente usata come posata o utensile per il cibo (tipica di alcuni Paesi asiatici).

⁴ *Upper e lower face*, termini utilizzati da Ponari e colleghi (2012) per descrivere la parte alta (*upper*) e la parte bassa del volto (*lower*).

per comprendere l'esperienza stessa nella sua complessità. La Sindrome di Moebius, invece, è una rara sindrome neurologica data da un alterato sviluppo dei nervi cranici abducente (VI) e facciale (VII), che causa una paralisi facciale congenita (non progressiva) bilaterale o parziale. I soggetti con questa sindrome sono di conseguenza non capaci nel produrre espressioni facciali. Secondo la teoria della simulazione sensorimotoria un blocco della mimica facciale dovrebbe impattare il processo di riconoscimento dell'emozione nell'altro. Come riportano De Stefani e colleghi (2019) in infanzia si presentano delle difficoltà nell'interazione sociale che potrebbero impattare la qualità di vita nei bambini con sindrome di Moebius (i.e., esperienze di rifiuto e di ridotto network sociale associate a sensazione di rabbia e problemi esternalizzanti). Per quanto riguarda la popolazione adulta ci sono alcune limitazioni negli studi che devono essere considerate per indirizzare la ricerca futura, ma in generale il deficit di riconoscimento delle emozioni - anche se non compensato - non limita i pazienti ad avere una ricca vita affettiva.

Come evidenziato dallo studio di Ponari (2012), sono presenti evidenze comportamentali a supporto del ruolo della mimica facciale nel facilitare il riconoscimento di espressioni facciali congruenti. Tuttavia sono poche le evidenze sperimentali che vadano ad indagare se la mimica facciale assunta dall'osservatore può influenzare la percezione consapevole di espressioni facciali emotive: la presente ricerca - a completamento dello studio di Quettier (2021) - si prefigge l'obiettivo di dare un contributo a quest'ambito di indagine.

1.2 - Lo studio della coscienza e la rivalità binoculare

Per indagare il ruolo della mimica facciale nella percezione consapevole di espressioni emotive è importante conoscere il ruolo della coscienza. La percezione consapevole corrisponde all'esperienza che l'osservatore ha dello stimolo che sta osservando, intesa come una rappresentazione cosciente ed interna dello stesso.

Il termine “coscienza” ha molteplici significati. È necessario distinguere due componenti della coscienza che sono state ampiamente studiate in letteratura (Figura 4). Nella lingua inglese esistono due parole apposite per identificarle: *wakefulness* e *awareness*, rispettivamente traducibili come coscienza in termini di “stato” e di “contenuto” (Laureys, 2005; Tsuchiya e Adolphs, 2007).

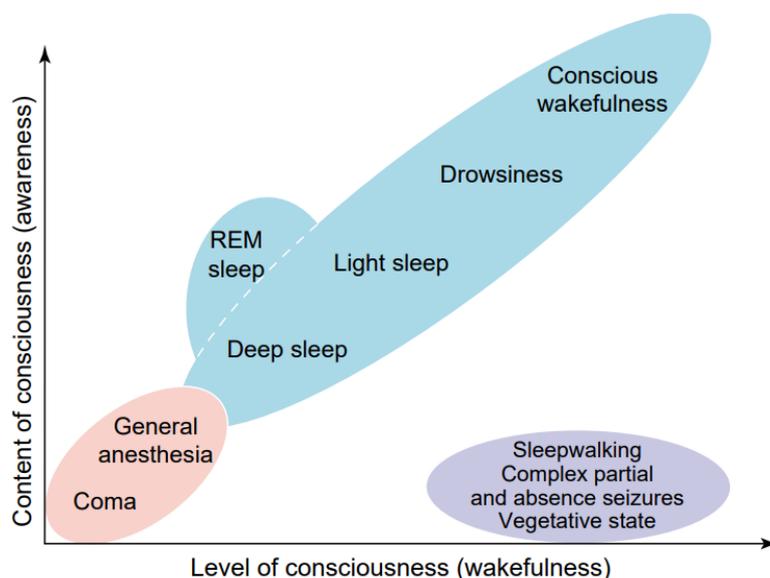


Figura 4. *Illustrazione semplificata delle due componenti della coscienza tratta da Laureys (2005) con il permesso di Elsevier e Copyright Clearance Center (CCC). Il livello (detto anche stato o veglia) e il contenuto di coscienza (consapevolezza dell'esperienza). In azzurro viene presentato il normale stato psicofisiologico di livello e contenuto (sonno profondo, sonno leggero, sonnolenza e veglia cosciente) tra loro positivamente correlati (con l'eccezione dell'attività nel sogno della fase REM). In rosa è indicato lo stato farmacologico (anestesia generale) o patologico di coma, che evidenzia l'assenza di contenuto di consapevolezza a causa dell'assenza di veglia. In viola vengono invece segnalate le condizioni di sonnambulismo, attacco epilettico parziale complesso, assenza e stato vegetativo che dimostrano dissociati stati di coscienza (pazienti che sembrano in stato di veglia ma che non sono consapevoli di sé e dell'ambiente circostante, mancando così di contenuto).*

Lo “stato” (*wakefulness*) si riferisce a quelli che sono i livelli di coscienza come la veglia, il sonno e il coma. Nella clinica, ad esempio, è ben nota la Glasgow Coma Scale (GCS), strumento nato per effettuare un assessment del livello di coscienza in seguito a trauma cranico e per monitorare i pazienti durante il decorso ospedaliero (Matis e Birbils, 2008). La coscienza in termini di “contenuto” (*awareness*), invece, si riferisce all’esperienza di accesso e/o processamento consapevole di specifiche informazioni. L’essere umano, infatti, è sottoposto ad un numero pressoché illimitato di stimoli e solo una piccola porzione degli stessi può essere elaborata consapevolmente (Dehaene e Changeux, 2011). Questa ricerca si focalizza sullo studio della coscienza intesa come “contenuto”.

Ci sono quindi dei processi consapevoli ed altri non consapevoli. I processi consapevoli - a differenza di quelli non consapevoli - sono processi che la persona può riportare e riferire. Esistono poi delle transizioni tra i due: un processo consapevole può diventare non consapevole e viceversa. Aru e Bachmann (2017) hanno proposto un modello interessante al fine di descrivere la possibile evoluzione temporale del contenuto consapevole. Chiedendosi come cambia e come si sviluppa la percezione cosciente, i due autori hanno proposto quello che è un modello del decorso temporale della coscienza (Figura 5).

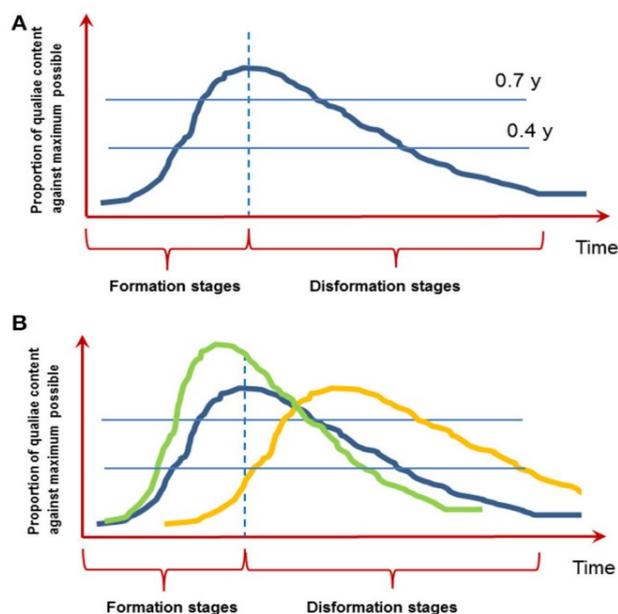


Figura 5. Illustrazione del decorso temporale della coscienza tratta da Aru e Bachmann (2017) con il permesso di Creative Commons Attribution License (CC BY). (a)

Microgenesi della percezione con gli stadi di formazione e dissoluzione. L'immagine è basata nella ricerca empirica di Bachmann (2000). È importante notare l'asimmetria tra lo stadio di formazione e dissoluzione. (b) Le funzioni nel tempo differiscono per due diversi tipi di esperienza cosciente: la percezione iconica immediata (linea blu) e la più lenta esperienza di memoria (linea gialla). Come potrebbe essere influenzata questa curva da fattori top-down come attenzione, conoscenza a priori o memoria di lavoro? Questi fattori conducono ad uno stadio di formazione più rapido e incrementano la chiarezza del contenuto consapevole (linea verde)? Le unità nell'asse delle ordinate sono arbitrarie e necessitano di ulteriore ricerca.

Il contenuto consapevole emergerebbe con un graduale processo di formazione. È importante quindi comprendere che l'esperienza consapevole è soggetta ad un cambiamento progressivo nel tempo e che il contenuto mentale non emerge in modo immediato ed improvviso. Si passerebbe da un'iniziale fase di transizione (i.e., dall'assenza di contenuto alla presenza dello stesso), fino a giungere ad una fase di crescita, in cui il contenuto acquista progressivamente sempre più qualità (ad esempio in termini di chiarezza e di contrasto). Esiste poi un processo di dissoluzione del contenuto consapevole. Allo stesso modo del processo di formazione si tratta di un processo graduale che, all'inverso, si caratterizza per la scomparsa del contenuto. Questo processo di dissoluzione sembra essere più lento del processo di formazione del contenuto. Gli autori puntualizzano che allo stato della letteratura attuale non è possibile conoscere l'esatto decorso temporale del contenuto consapevole. Non è inoltre possibile comprendere se tutte le transizioni da contenuto consapevole a contenuto non consapevole presentino stadi di graduale formazione e dissoluzione come presentati nel modello.

È possibile studiare sperimentalmente la coscienza con molteplici metodi. Nonostante i meccanismi della coscienza non siano ancora completamente compresi dalla scienza moderna, il modo più semplice per approcciarsi allo studio di questo grande ambito di indagine è far riferimento al sistema visivo (Crick e Koch, 1998). L'input visivo è altamente strutturato e allo stesso tempo semplice da controllare dal punto di vista sperimentale. In generale, poi, tutto il sistema visivo è stato ampiamente indagato non solo nell'essere umano ma anche negli animali e la ricerca può così servirsi di una numerosa mole di dati.

Da decenni le neuroscienze indagano i correlati neurali della coscienza (*neural correlate of consciousness*, NCC) e ad oggi esistono numerosi paradigmi sperimentali che permettono una manipolazione dell'esperienza consapevole (Lamme, 2006). Nella presente ricerca è stato utilizzato il paradigma di rivalità binoculare.

Il fenomeno della rivalità è stato riportato per la prima volta da Gianbattista della Porta nel 1593 quando notò che gli era impossibile leggere due libri simultaneamente usando in modo indipendente ciascun occhio: a sua sorpresa scoprì che poteva leggerne solo uno alla volta. Questa scoperta portò al primo documento ufficiale sulla rivalità binoculare, fenomeno percettivo che da allora e fino ad oggi è stato ampiamente indagato dalla ricerca (Maier, Panagiotaropoulos, Tsuchiya e Keliris, 2012).

Per comprendere la rivalità binoculare è possibile fare riferimento ad un fenomeno ben noto: le figure ambigue (Figura 6). Pur trattandosi di due meccanismi diversi, nella rivalità binoculare e nelle figure ambigue l'esperienza è molto simile. Le figure ambigue sono immagini che presentano due possibilità di interpretazione: il cervello si trova in conflitto e risolve questa divergenza alternando la loro interpretazione. Il percepito risultante non sarà statico, ma seguirà delle alternanze nel tempo tra le due figure. Questo fenomeno viene denominato bistabilità e la rivalità binoculare è un esempio di percezione bistabile (Blake & Logothetis, 2002).

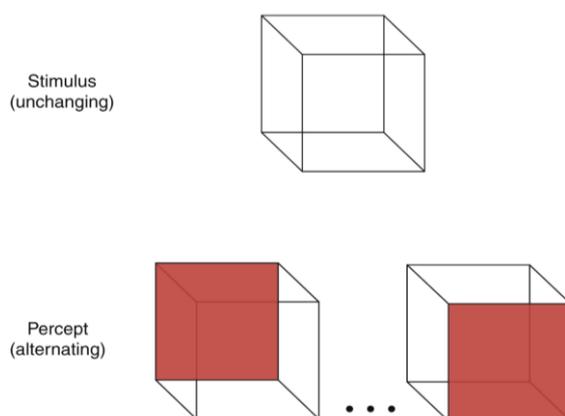


Figura 6. Un noto esempio di figura ambigua bidimensionale tratto da Clifford (2009) con il permesso di Elsevier e Copyright Clearance Center (CCC). Il cubo di Necker (in alto). È possibile sperimentare il fenomeno della bistabilità, percependo un susseguirsi di alternanze del lato principale in alto a sinistra oppure in basso a destra (in basso).

Si parla di “percezione stabile” (o “fusione binoculare”) quando il cervello, che ogni giorno è sottoposto ad un continuo flusso di informazioni, combina immagini da ciascun occhio in un’unica scena coerente. Quando, però, l’input a ciascun occhio è un’immagine molto diversa, il cervello non crea un mix delle due in un unico percetto visivo ma risolve il conflitto in modo strategico: nasce in questo modo il fenomeno della rivalità binoculare (Figura 7). Si susseguono così dei cambiamenti in serie dinamiche di contenuti diversi: vi è un’immagine dominante (i.e., contenuto che il soggetto consapevolmente riporta) e una soppressa (i.e., contenuto processato dalle aree visive ma non consapevole). A seguito di un intervallo di tempo variabile ci sarà un’alternanza nella dominanza e questo processo continuerà finché il conflitto sensoriale sarà presente (Maier et al., 2012). Questo processo coinvolge dunque moltissime operazioni, dal rilevare l’incompatibilità di due input alla promozione di dominanza e soppressione, alternando infine la dominanza nel tempo: ciascuna di queste attività sarà coinvolta inevitabilmente in differenti processi neurali (Blake e Logothetis, 2002).

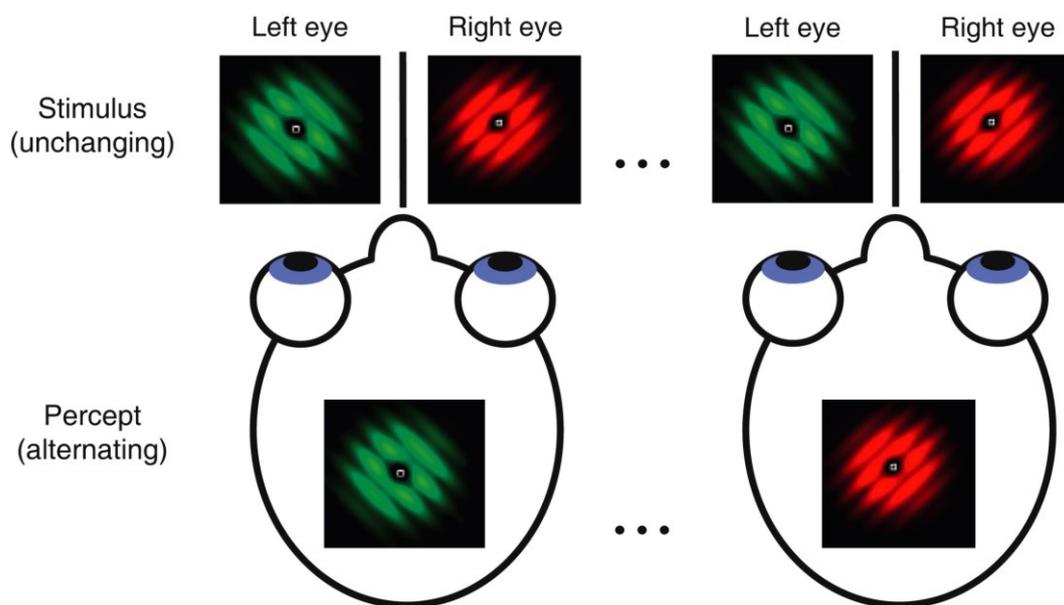


Figura 7. Rappresentazione schematica di un paradigma sperimentale di rivalità binoculare tratta da Clifford (2009) con il permesso di Elsevier e Copyright Clearance Center (CCC). Due stimoli differenti vengono presentati a ciascun occhio (sinistra), entrambi competono per la dominanza e si alterneranno fino al termine della rivalità (destra).

La comprensione del fenomeno di rivalità binoculare diviene così di interesse fondamentale per conoscere a fondo non solo i processi visivi e la visione binoculare, ma anche per studiare il contenuto della consapevolezza e la sua organizzazione (Maier et al., 2012).

La rivalità binoculare risulta essere molto complessa a livello neurale ed è un fenomeno che non può essere spiegato come singolo processo. È stato proposto un *hybrid model* (Tong, Meng e Blake, 2006) che considera la rivalità come un insieme di processi che coinvolgono molteplici livelli nel sistema visivo. Si tratta di un'interazione tra circuiti inibitori a basso livello ed eccitatori ad alto livello che fungono da basi neurali della consapevolezza visiva. I circuiti inibitori a basso livello permetterebbero l'esordio iniziale della rivalità binoculare. La soppressione sarebbe presente sin da questi primi siti neurali e continuerebbe a verificarsi anche nei siti corticali di più alto livello. Le influenze eccitatorie ad alto livello, invece, andrebbero a promuovere il raggruppamento percettivo e l'attenzione selettiva così da estendere la dominanza dello stimolo nel tempo.

Uno studio interessante sui correlati neurali della rivalità binoculare è stato condotto con risonanza magnetica funzionale (*functional magnetic resonance imaging*, fMRI) dal gruppo di ricerca di Tong (Tong, Nakayama, Vaughan e Kanwisher, 1998), dimostrando che i processi cerebrali sono coerenti con il contenuto consapevole. Registrando l'attività cerebrale di soggetti che visionano due stimoli - un volto ed una casa - posti in rivalità binoculare, è stato rilevato un incremento di segnale BOLD (*blood oxygen level dependent*) nell'area fusiforme (*fusiform face area*, FFA) e nell'area paraippocampale (*parahippocampal area*, PPA) in modo del tutto coerente al percolato dominante (Figura 8). Sia FFA che PPA sono due regioni cerebrali legate ad un'elaborazione preferenziale di una certa categoria di stimoli: FFA per i volti e PPA per immagini di spazi interni o esterni. Nel paradigma di rivalità binoculare si rileva così che quando il volto è il percolato dominante incrementa l'attività nella FFA e decresce nella PPA, mentre quando accade che ad essere dominante è il percolato della casa il pattern si inverte ed aumenta l'attività nella PPA con una parallela decrescita in FFA.

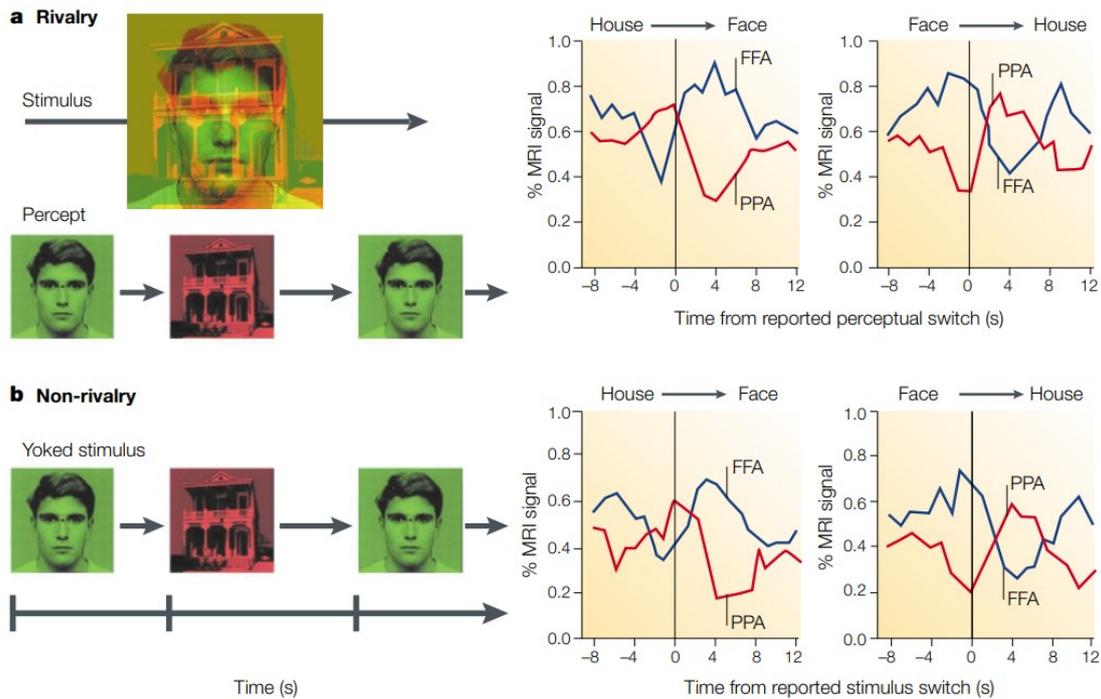


Figura 8. Dati di neuroimmagine della rivalità binoculare tratti da Blake e Logothetis (2002) con il permesso di Springer Nature e Copyright Clearance Center (CCC). Figura con riferimento allo studio fMRI di Tong, Nakayama, Vaughan e Kanwisher, (1998). Il report soggettivo del percepito dominante è corente all'attività fMRI registrata dallo scanner nell'area fusiforme e paraippocampale (a). Nella condizione non-rivalry è presente il medesimo pattern di attivazione (b).

Per studiare la rivalità binoculare in un paradigma sperimentale viene solitamente richiesto ai partecipanti di riportare il contenuto che accede alla consapevolezza e, da questo, vengono estratte alcune misure (Quettier et al., 2021). Le componenti studiate sono: *initial percept*, *onset resolution time*, *cumulative time*. Si veda la Figura 9 per un esempio di un paradigma di rivalità binoculare e le relative misure analizzate.

- L'*initial percept* (IP) è il primo stimolo in rivalità durante un trial che diviene il percepito consapevole e, quindi, dominante.
- La misura di *onset resolution time* (ORT), invece, è il tempo che intercorre dalla presentazione dello stimolo alla rilevazione dell'IP. Indica il tempo impiegato dal sistema nervoso per la risoluzione dell'ambiguità. Si tratta di una stima del tempo necessario per accedere al primo contenuto consapevole.

- Il *cumulative time* (CT) è la misura che indica il tempo totale di dominanza di ogni percolato visivo rispetto agli altri. In altre parole il CT è una misura che riguarda la stabilità di uno stimolo come contenuto della consapevolezza.

Le prime due misure di IP e ORT permettono di studiare l'accesso al contenuto consapevole. Indicano il percolato "vincente" (IP) nella fase iniziale di ambiguità non ancora risolta (ORT). Permettono di ottenere informazioni riguardo la frequenza (IP) e il tempo (ORT) del primo stimolo che accede a consapevolezza. La misura di CT, invece, permette di studiare la stabilità del contenuto consapevole una volta risolta l'iniziale competizione tra gli stimoli in rivalità.

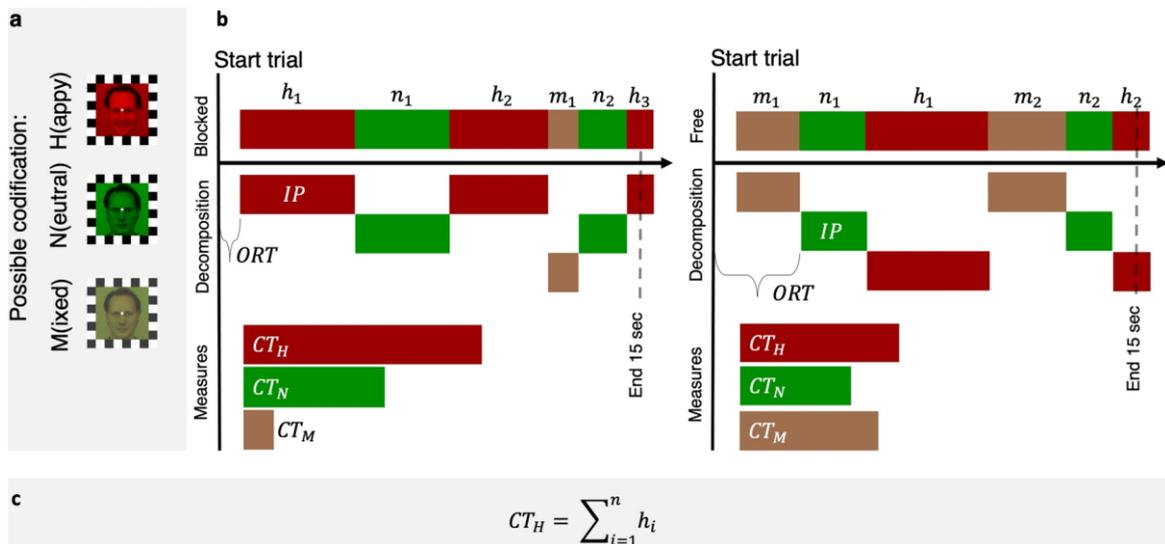


Figura 9. Esempio di un paradigma di rivalità binoculare tratto da Quettier, Gambarota, Tsuchiya e Sessa (2021) con il permesso di Springer Nature e Copyright Clearance Center (CCC). Possibile codifica del percolato in rivalità: “happy”, “neutral” o “mixed” (a). Misure di rivalità binoculare estratte da due trial (b): initial percept (IP), onset resolution time (ORT) e cumulative time (CT). Formula per il calcolo del cumulative time (c).

1.3 - L'influenza del contenuto emotivo nella rivalità binoculare

La percezione consapevole di stimoli a contenuto emotivo è stata ampiamente indagata in letteratura mediante il paradigma di rivalità binoculare (Alpers e Gerdes, 2007; Yoon, Hong, Joormann e Kang, 2009; Korb et al., 2017; Quettier et al., 2021). Esistono moltissimi fattori che vanno ad influenzare le fasi di dominanza e soppressione di uno stimolo posto in rivalità: ne sono un esempio l'attenzione, il contesto e la manipolazione della "forza" di uno stimolo incrementando il contrasto, il movimento e la frequenza spaziale. Diviene così ambito di grande interesse poter studiare anche un fattore come l'influenza emotiva e il suo impatto nella dominanza del percepito (Bannerman, Milders, De Gelder e Sahraie, 2008).

Alpers e Gerdes in tre esperimenti hanno dimostrato che le espressioni facciali emotive predominano su quelle neutre: vengono viste più frequentemente come primo percepito e vengono percepite per intervalli temporali più lunghi (Alpers e Gerdes, 2007).

Dati successivi confermano l'effetto di dominanza dell'emozione in rivalità binoculare, aggiungendo che esiste anche un "bias di positività" tale per cui le espressioni facciali positive predominano su quelle negative (Yoon et al., 2009).

Bannerman e colleghi hanno poi fornito ulteriore supporto ai risultati di Alpers e Gerdes, dimostrando che in un paradigma di rivalità binoculare l'influenza del contenuto emotivo si presenta anche in compiti in cui il processamento delle emozioni è implicito e non rilevante ai fini del compito da svolgere: è sufficiente, infatti, presentare l'espressione facciale nel *background* (Figura 10) per modulare la dominanza dello stimolo al quale la stessa viene accoppiata. In particolare griglie presentate con volti con espressione emotiva (sia di paura che di felicità) dominano su griglie presentate con volti con espressione neutra. Questo va a confermare l'ipotesi che le espressioni facciali vengano processate anche quando sono al di fuori del focus attentivo (Bannerman et al., 2008). Questi dati evidenziano un processamento preferenziale per espressioni facciali emotive e vanno nella medesima direzione di risultati ottenuti con altri paradigmi sperimentali. Con il *dot-probe paradigm*, ad esempio, i tempi di reazione a puntini che appaiono immediatamente dopo la presentazione - e nella stessa posizione - di volti emotivi sono più brevi dei tempi di reazione che appaiono nella posizione di volti neutri (Mogg e Bradley, 2002).

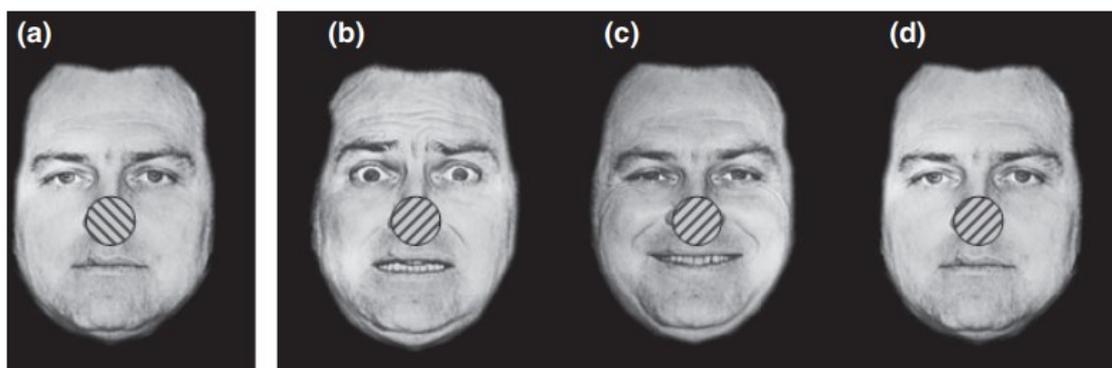


Figura 10. Stimoli presentati nel primo di tre esperimenti in rivalità binoculare tratti da Bannerman, Milders, De Gelder e Sahraie (2008) con il permesso di John Wiley and Sons e Copyright Clearance Center (CCC). Una griglia con un volto neutro nel background veniva presentata ad un occhio (a) e al tempo stesso nell'altro occhio veniva presentata una griglia con orientamento opposto, manipolando il background in tre condizioni: volto con espressione di paura (b), felice (c), oppure neutro (d).

Un caso particolare di rivalità binoculare, il b-CFS (*breaking continuous flash suppression*), è stato studiato da Korb e colleghi (2017) in tre diversi esperimenti e i risultati raggiunti dal gruppo sono di grande interesse. Il paradigma CFS viene realizzato presentando dei flash di luce ad un occhio, così che la consapevolezza dell'immagine presentata all'altro occhio possa essere soppressa per un breve intervallo di tempo. Nel breaking-CFS la variabile dipendente è il tempo di risposta (TR) dall'inizio del trial fino a quando lo stimolo soppresso "rompe" la fase di soppressione e diviene un percetto consapevole, determinando così la risposta del soggetto (ad esempio premere un tasto). Così come nel paradigma di rivalità binoculare molti fattori influenzano il contenuto consapevole: stimoli altamente salienti, ad esempio, rompono prima la soppressione di stimoli non salienti (i.e., TR più brevi).

Il b-CFS ha permesso al gruppo di ricerca di Korb di indagare come l'informazione propriocettiva influenzi la consapevolezza visiva. L'ipotesi iniziale sostenuta dagli autori prevedeva che presentando volti con espressione facciale congruente alla mimica facciale assunta dal soggetto, si registrassero TR più brevi rispetto alla presentazione volti incongruenti (così da accedere più velocemente alla consapevolezza e rompere prima la fase di soppressione). È stato invece dimostrato che l'accesso alla consapevolezza di volti emotivi non è modulato dalla mimica facciale: i

dati non evidenziano una più breve fase di soppressione per i volti congruenti alla mimica assunta dai partecipanti e nemmeno una più lunga fase di soppressione per le espressioni facciali incongruenti. Nello studio della simulazione sensorimotoria questo dato diviene di fondamentale importanza: dalle conclusioni degli autori la mimica non rappresenta un vantaggio per permettere ad un'espressione facciale di accedere rapidamente a consapevolezza.

1.4 - Ipotesi di ricerca

A completamento dello studio di Quettier et al. (2021) è stato adottato un paradigma di rivalità binoculare per comprendere se la percezione consapevole di espressioni emotive può essere influenzata dalla mimica facciale. Partendo dal modello di simulazione sensorimotoria (Wood et al., 2016b), abbiamo ipotizzato che la manipolazione della mimica facciale possa andare ad influenzare le fasi di dominanza e soppressione della rivalità binoculare. La mimica facciale, infatti, potrebbe influenzare l'iniziale risoluzione dell'ambiguità (*initial percept* e *onset resolution time*) e/o stabilizzare la rappresentazione una volta che la stessa diviene di accesso alla consapevolezza (*cumulative time*).

Sono state così previste due condizioni di mimica facciale: mimica facilitata e mimica libera (Figura 12). Nella prima condizione è stato utilizzato uno chopstick stretto tra i denti in posizione orizzontale. Questa manipolazione permette di attivare lo zigomatico, muscolo associato all'espressione facciale di felicità (Korb et al., 2017, Quettier et al., 2021). La seconda condizione, invece, non ha previsto alcuna manipolazione, lasciando la mimica libera. Le due condizioni sono state controbilanciate in un disegno *within-subjects*.

Le misure considerate per comprendere se il segnale sensorimotorio è coinvolto nella fase iniziale di processamento delle espressioni facciali sono state l'*initial percept* (IP) e l'*onset resolution time* (ORT). Queste misure permettono di determinare la frequenza e il tempo del primo percetto visivo riportato. La mimica facilitata andrebbe a favorire volti con espressione felice rispetto alla condizione di mimica libera, permettendo così la risoluzione dell'ambiguità degli stimoli in rivalità binoculare.

La misura considerata invece per comprendere se il segnale sensorimotorio può influenzare una fase più tardiva del processamento delle espressioni facciali è il *cumulative time* (CT). Questa misura consente di studiare il tempo totale di dominanza di ogni percetto visivo. La mimica facilitata permetterebbe la stabilizzazione del contenuto nella consapevolezza. L'ipotesi sperimentale è che manipolando la mimica con lo chopstick (i.e., assumendo l'espressione congruente a quella di felicità), si vada a rilevare

un incremento del CT relativo ad espressioni facciali felici rispetto alla condizione di mimica libera.

In particolare abbiamo ipotizzato che manipolare la mimica facciale rendendola congruente all'espressione di felicità (i.e., mediante l'utilizzo dello chopstick) possa influenzare il segnale sensorimotorio:

- 1) favorendo le espressioni facciali di felicità (mimica facciale congruente);
- 2) interferendo con le espressioni facciali neutre (mimica facciale non congruente).

Sulla base della letteratura precedente abbiamo ipotizzato la replica di due effetti rilevabili nei paradigmi di rivalità binoculare. In primis l'effetto di dominanza dell'emozione, tale per cui i volti con espressione emotiva predominano sui volti neutri a prescindere dalla mimica (Alpers e Gerdes, 2007). Il secondo effetto, dimostrato con il b-CFS (paradigma simile a quello di rivalità binoculare), suggerisce che la mimica facciale non influenzi l'accesso a coscienza di espressioni facciali emotive (Korb et al., 2017) ma che, piuttosto, abbia un effetto tardivo.

Abbiamo così indagato se nella risoluzione dell'ambiguità esiste un effetto di dominanza delle emozioni (come proposto da Alpers) analizzando le misure di *IP* e *ORT*. Abbiamo indagato se, in seguito, esiste un effetto più tardivo di stabilizzazione del contenuto analizzando la misura del *CT*.

Evidenze presenti in letteratura hanno guidato la scelta di includere unicamente partecipanti di sesso femminile. Gli effetti della manipolazione della mimica facciale risultano infatti essere molto più marcati per le donne rispetto agli uomini (Stel e van Knippenberg, 2008). Dati sperimentali, ad esempio, evidenziano che le donne sono più espressive degli uomini alla visione di filmati emotivi (Kring e Gordon, 1998). Presentano inoltre maggiore accuratezza in un compito di riconoscimento di sottili cambiamenti di intensità di espressioni facciali, pur non differenziandosi dagli uomini alla visione di volti altamente espressivi (Hoffman, Kessler, Eppel, Rukavina e Traue, 2010). Differenze di genere, infine, sono state riscontrate con l'applicazione della *repetitive transcranial magnetic stimulation* (rTMS) alla corteccia motoria primaria destra (M1) e alla corteccia somatosensoriale destra (S1) in un compito di visione di filmati emozionali, evidenziando

per le donne un ritardo nella detezione di volti con sorriso nella condizione di inibizione della mimica facciale (Korb et al., 2015). Tutti questi dati supportano l'ipotesi che il feedback facciale possa essere più importante per le donne che per gli uomini nei compiti di processamento e riconoscimento delle emozioni (Stel e van Knippenberg, 2008). La presente ricerca, dunque, ha previsto il reclutamento di sole donne al fine di massimizzare gli effetti della manipolazione della mimica facciale.

Capitolo 2 - Metodologia

2.1 - Partecipanti

28 partecipanti di sesso femminile sono state reclutate per questo esperimento tramite annunci esposti all'Università di Padova. I criteri di inclusione hanno previsto alcuni requisiti: essere di sesso femminile, età uguale o inferiore ai 35 anni, visione normale o corretta tramite lenti. La cecità ai colori (discromatopsia) è stata valutata mediante l'utilizzo delle Tavole di Ishihara (Shinobu, 1918).

Tutte le partecipanti hanno espresso il loro consenso informato in accordo alla Dichiarazione di Helsinki. L'insieme delle procedure sperimentali è stato approvato dal comitato etico locale per la ricerca (Comitato Etico della Ricerca Psicologica Area 17 dell'Università di Padova) e le stesse procedure sono state eseguite rispettando le linee guida previste. L'esperimento ha previsto un compenso monetario per la partecipazione.

2.2 - Materiale

Gli stimoli presentati nell'esperimento sono stati selezionati dal noto database *Karolinska Directed Emotional Faces* (KDEF) (Lundqvist, Flykt e Öhman, 1998). Sono stati scelti in particolare il volto di un uomo (AM10) e di una donna (AF01) (Figura 11), ognuno dei quali poteva presentare due espressioni facciali: un'espressione neutra oppure un'espressione felice. Al fine di adattare gli stimoli al paradigma di rivalità binoculare, gli stimoli originari sono stati modificati mediante un'apposita procedura che ha previsto il ritaglio delle immagini con il Software GIMP (version 2.8.10) centrando il volto a metà del riquadro e la successiva sovrapposizione delle due espressioni dello stesso soggetto (neutra e felice). Infine è stata applicata un'analisi e un *matching* degli stimoli risultanti utilizzando Fiji (Schindelin et al., 2012) e MATLAB (versione R2019). Oltre all'utilizzo degli stimoli in rivalità, lo studio ha previsto anche l'utilizzo di immagini monoculari (Figura 11, in alto). Gli stimoli sono stati presentati utilizzando un software E-Prime 2.0 (versione 2.0.10.242; Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) in un monitor LG flatron F700B (Luminosità: 85; Contrasto: 90) ad 80 Hz.

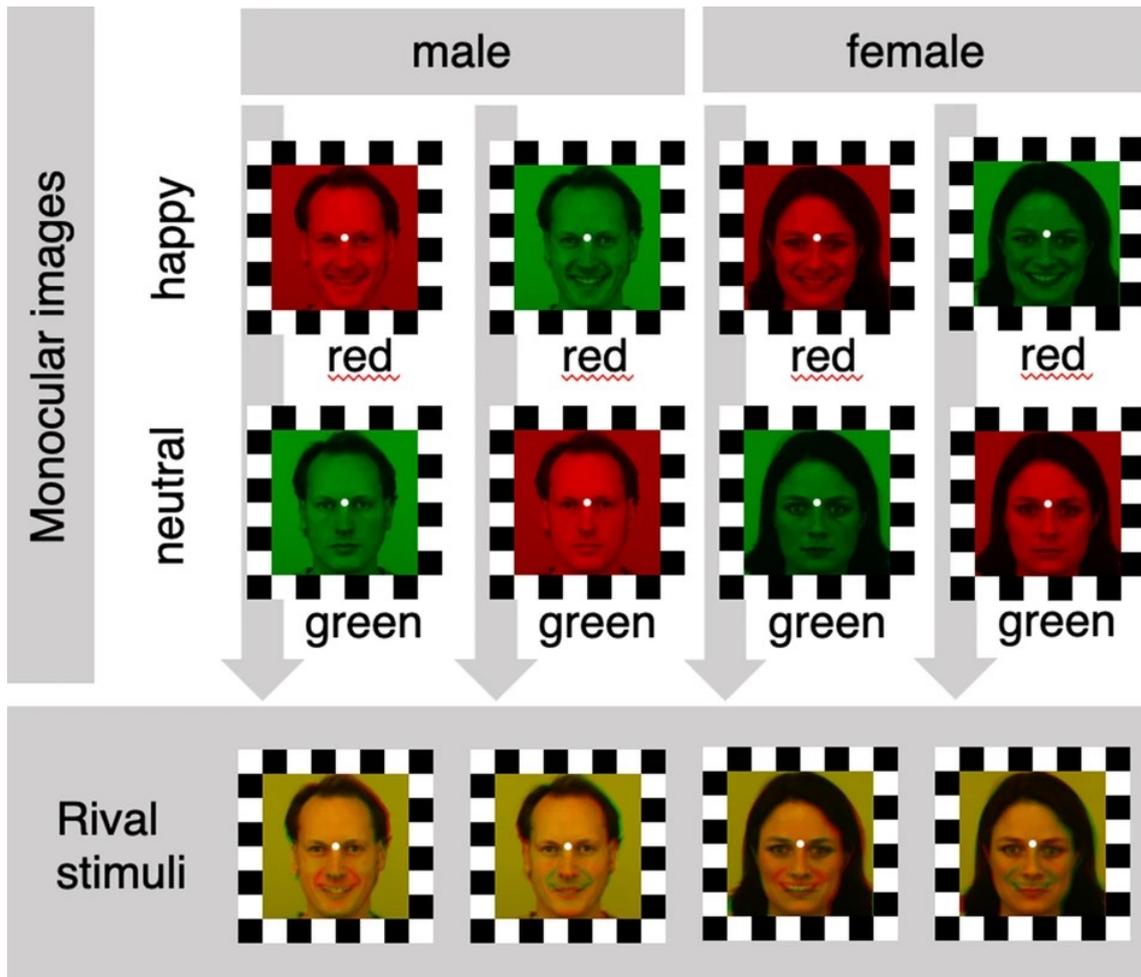


Figura 11. Immagini monoculari (in alto) e stimoli in rivalità (in basso) tratti da Quettier, Gambarota, Tsuchiya e Sessa (2021) con il permesso di Springer Nature e Copyright Clearance Center (CCC). Le frecce indicano gli stimoli in rivalità risultanti.

2.3 - Procedura

Il setting ha previsto una postazione con una poltrona posta di fronte al pc dove le partecipanti potevano comodamente sedere. Al fine di mantenere stabile la posizione del capo per tutta la durata dell'esperimento si è fatto uso di una mentoniera, posizionata a 70 cm dal monitor. Per visionare gli stimoli in rivalità binoculare sono state fissate alla mentoniera un paio di lenti con filtri anaglifici (rossa e verde).

All'arrivo in laboratorio le partecipanti hanno compilato i moduli per il consenso informato e la retribuzione. È stata poi adattata la postazione alla partecipante, regolando in altezza sia la poltrona che la mentoniera di fronte al monitor. È stato condotto successivamente il test per la dominanza oculare con la procedura definita *Hole-in-the-card test*, noto anche come metodo Dolman (Li et al., 2010). Le partecipanti venivano istruite a tenere con entrambe le mani un riquadro e a centrare con lo sguardo un target posto a 3 metri di distanza. Successivamente veniva richiesto di fare lo stesso con un solo occhio aperto: l'occhio che riusciva a centrare perfettamente il target era l'occhio dominante. Tale passaggio ha permesso di regolare il colore delle lenti degli occhiali anaglifici ai due occhi, in modo tale da posizionare la lente rossa con l'occhio non dominante.

Nel momento successivo sono state fornite le istruzioni e la spiegazione delle varie tappe dell'esperimento. Ad una prima fase di training seguivano due sessioni. Le due sessioni differivano solo per la manipolazione della mimica facciale (Figura 12). In una le partecipanti dovevano eseguire il compito con la mimica libera (condizione di mimica libera), nell'altra invece dovevano tenere tra i denti uno chopstick in posizione orizzontale (condizione di mimica facilitata). Questa condizione attiva lo zigomatico, il muscolo coinvolto nel sorriso (Korb et al., 2017). L'ordine delle due condizioni è stato controbilanciato tra le partecipanti.

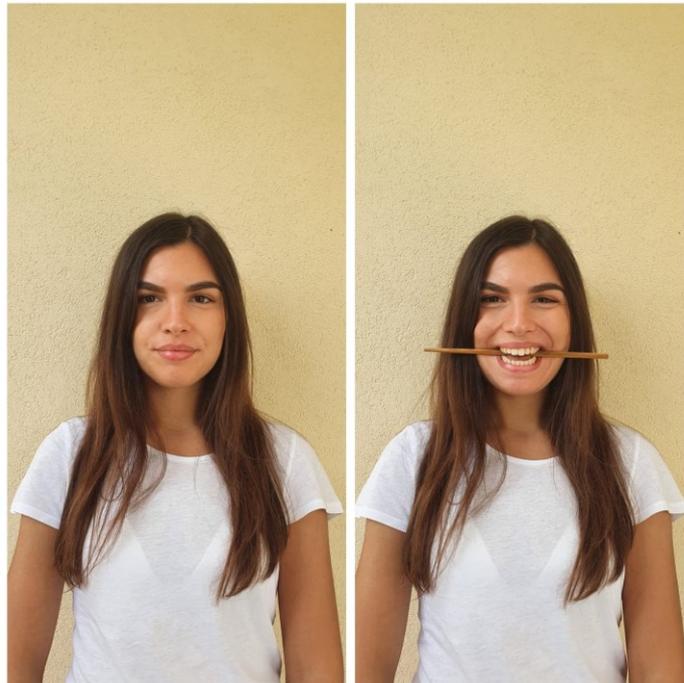


Figura 12. *Condizione di mimica libera (sinistra) e condizione di mimica facilitata (destra).*

In fase di training - suddivisa in tre parti - le partecipanti venivano familiarizzate agli stimoli ed istruite all'esecuzione del task. Veniva spiegato loro che durante l'esperimento avrebbero visto il volto di un uomo e di una donna, ognuno dei quali avrebbe avuto due espressioni facciali: neutra o felice. In una prima fase venivano presentati gli stimoli monoculari e il compito era semplicemente di riportare verbalmente l'espressione del volto. Nella seconda fase, invece, venivano mostrati gli stimoli in rivalità e veniva spiegato che l'espressione del volto poteva cambiare (ad esempio che poteva passare dal viso neutro a felice o viceversa). Anche in questo caso le partecipanti dovevano riportare verbalmente ciò che vedevano, ma nella prima prova avrebbero dovuto farlo utilizzando lo chopstick. Veniva precisato che per tutta la durata dell'esperimento era necessario porre attenzione al punto di fissazione (il punto bianco al centro di ogni stimolo) così da minimizzare l'esplorazione del volto. Nella terza fase del training venivano introdotte al vero e proprio task: data la difficoltà di comunicare verbalmente ciò che vedevano con lo chopstick tra i denti, avrebbero effettuato il compito mediante l'ausilio della tastiera. Il task sperimentale consisteva semplicemente nel

riportare in tempo reale l'espressione facciale percepita, suddivisibile in tre categorie: "felice", "neutra" e "mista". I tasti per la codifica erano "B", "N" ed "M" (adiacenti nella tastiera, da sinistra a destra). I tasti "B" ed "M" corrispondevano alla codifica dell'espressione "felice" e "neutra" (controbilanciata tra blocchi di prove e precisata con istruzioni presentate prima dell'inizio di ogni blocco), mentre "N" avrebbe rappresentato la codifica dell'espressione "mista", valida quindi per tutto ciò che non rientrava nelle due categorie precedenti. Venivano dunque eseguite quattro brevi prove: due senza chopstick e due con lo chopstick e così terminava la fase di training.

Le due sessioni sperimentali erano entrambe suddivise in 4 momenti: due blocchi iniziali di 4 minuti totali separati da una breve pausa e seguiti da una valutazione finale. Quattro stimoli in rivalità binoculare venivano presentati in ordine casuale ad ogni blocco (per un totale di otto trial a blocco). Ogni trial aveva una durata di 20 secondi: 2 secondi di punto di fissazione, 15 secondi di presentazione dello stimolo e 3 secondi di *black screen* (Figura 13).

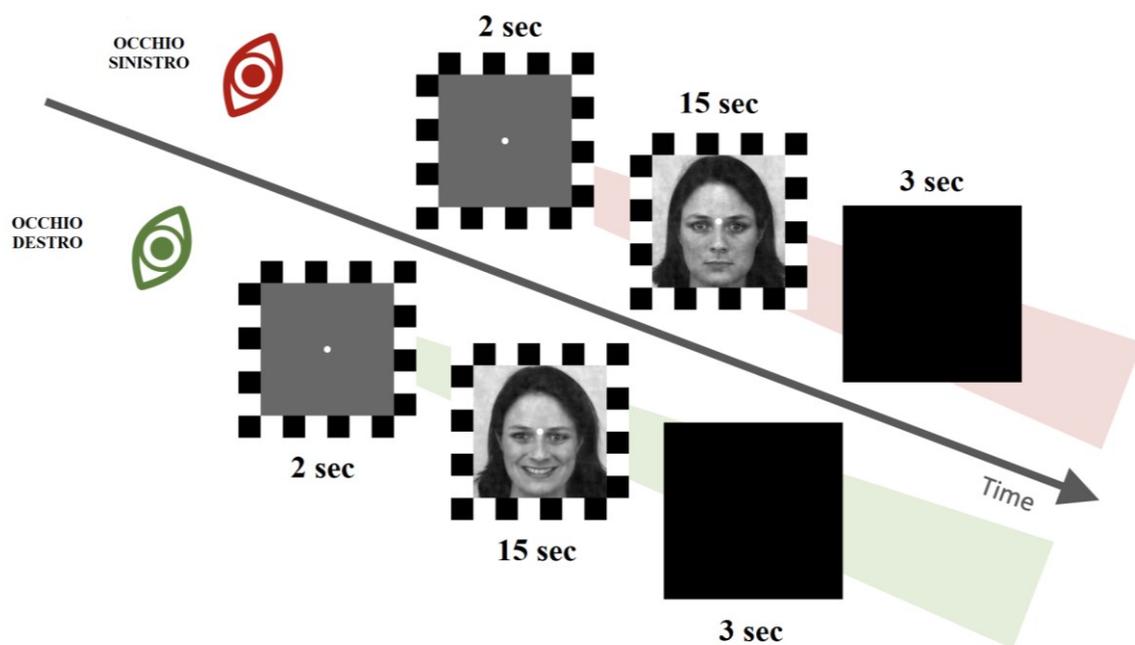


Figura 13. Esempio di un trial sperimentale.

Alla fine di ognuno dei due blocchi sperimentali veniva effettuata una valutazione della valenza e dell'arousal delle immagini monoculari. Per la valutazione della valenza

veniva utilizzata una scala -3/+3 (-3 corrispondente a “molto negativo”, +3 corrispondente a “molto positivo”). Per la valutazione dell’arousal veniva utilizzata una scala +1/+7 (1 corrispondente a “poco intenso”, 7 corrispondente a “molto intenso”).

Al termine dell’esperimento veniva dato un veloce feedback alle partecipanti riguardo la procedura sperimentale e le ipotesi di ricerca.

2.4 - Data reduction

Per ogni trial abbiamo estratto l'*initial percept* (IP). Si tratta del primo percepito riportato all'interno dello stesso trial (i.e., volto con espressione felice o neutra). Questo ha permesso di analizzare se la frequenza dell'IP cambia in funzione dell'espressione del volto e/o in funzione della manipolazione della mimica facciale.

Abbiamo poi estratto la misura di *onset resolution time* (ORT). Si tratta del tempo che ogni soggetto impiega per codificare l'IP. Le analisi sono state condotte con la trasformazione logaritmica della misura di ORT.

Infine abbiamo estratto il *cumulative time* (CT). Si tratta della misura della dominanza totale di ogni percepito per ogni trial, codificata separatamente per le espressioni facciali felici, neutre e miste.

2.6 - Analisi dei dati

Le analisi della varianza (ANOVA) e le analisi post hoc sono state condotte per individuare le differenze nella manipolazione della mimica (facilitata e libera) e dell'IP (felice, neutro) per la misura di ORT. Tutte le analisi post hoc sono state corrette per confronti multipli con metodo di Bonferroni.

Le analisi della varianza (ANOVA) e le analisi post hoc sono state condotte anche per individuare differenze nella mimica (facilitata e libera) e l'espressione facciale percepita (felice, neutra, mista) per la misura di CT. Tutte le analisi post hoc sono state corrette per confronti multipli con metodo di Bonferroni.

Per stimare la probabilità dell'IP in funzione della manipolazione della mimica facciale abbiamo applicato un modello di regressione lineare con effetti misti con l'IP (felice o neutro) spiegato per la condizione di mimica (facilitata o libera). I soggetti sono stati inseriti con un effetto random variando l'intercetta. L'effetto della mimica è stato valutato come rapporto di probabilità tra condizione facilitata e libera.

È stato condotto inoltre un assessment delle differenze nella valutazione di valenza e arousal in analisi separate di varianza (ANOVA) e in analisi post hoc.

Capitolo 3 - Risultati

3.1 - *Initial percept e onset resolution time*

Le due misure di *initial percept* (IP) e *onset resolution time* (ORT) hanno permesso di testare gli effetti precoci della facilitazione della mimica facciale ed in particolare la risoluzione dell'ambiguità. Per entrambe le misure abbiamo utilizzato un modello statistico che ha incluso i seguenti fattori: mimica (libera e facilitata) e primo contenuto chiaramente riportabile (i.e., IP; felice o neutro).

Considerando la misura di IP abbiamo rilevato che le espressioni felici sono state riportate più frequentemente in entrambe le condizioni di mimica facciale (facilitata: 302 trial; libera: 281 trial) rispetto alle espressioni neutre (facilitata: 143 trial; libera: 160 trial).

Abbiamo poi analizzato la misura di ORT. In riferimento alla distribuzione di IP precedentemente trattata una partecipante è stata rimossa dalle analisi (i.e., nel paradigma di rivalità non ha sperimentato le possibili alternanze dello stimolo). Abbiamo riscontrato un effetto significativo della prima espressione facciale chiaramente riportata (IP) indipendentemente dalla mimica facciale assunta, $F(1, 26) = 42.13$, $p < .001$ (Figura 14). Non vi è invece nessun effetto statisticamente significativo della mimica, $F(1, 26) = 0.05$, $p = .831$. Nessun effetto nemmeno per l'interazione tra mimica e IP, $F(1, 26) = 0.05$, $p = .816$. L'effetto legato all'espressione facciale chiaramente riportata come primo percolato visivo è confermato nelle analisi post-hoc.

I risultati relativi alle misure di IP e ORT non sembrano supportare l'ipotesi di un ruolo della mimica facciale nei primi stadi della risoluzione dell'ambiguità in un paradigma di rivalità binoculare. Lo zigomatico non ha un ruolo di facilitatore nella risoluzione dell'ambiguità. Questi risultati sono in linea con dati precedenti (Korb et al., 2017). È da notare che volti emotivi - rispetto a volti con espressione neutra - hanno un vantaggio (sia in termini di frequenza di IP che nella metrica di ORT) indipendentemente dalla condizione di mimica facciale.

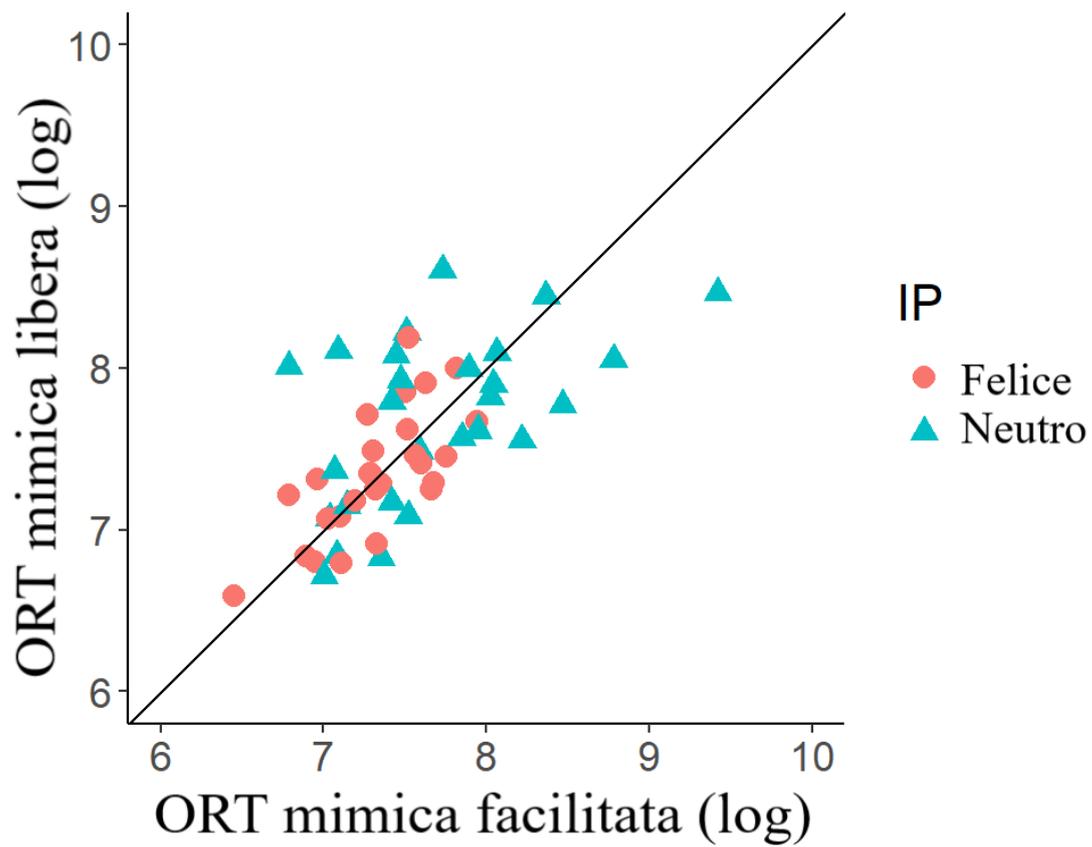


Figura 14. I punti nel grafico rappresentano l'onset resolution time (ORT) di ogni partecipante per uno specifico initial percept (IP). Negli assi x e y è stata proiettata la condizione di mimica facciale. La linea nera rappresenta l'equidistanza tra gli assi. La misura di ORT è espressa in log(millisecondi).

3.2 - *Cumulative time*

Abbiamo analizzato la metrica del *cumulative time* (CT) per testare gli effetti tardivi della facilitazione della mimica facciale. Abbiamo previsto l'utilizzo di un modello statistico basato sui seguenti fattori: mimica (libera e facilitata) e contenuto riportato dell'espressione facciale osservata (felice, neutra o mista).

Una differenza significativa è stata osservata per il contenuto riportato indipendentemente dalla condizione di mimica facciale, $F(1.85, 49.87) = 51.95, p < .001$. Il CT per volti con espressione felice è maggiore rispetto al CT per volti con espressione neutra, $t(27) = 7.19, p < .001$. Allo stesso modo il CT per volti con espressione felice è maggiore rispetto al CT per volti con espressione mista, $t(27) = 8.84, p < .001$. Questi risultati sono in linea con le conclusioni di ricerche precedenti (Alpers e Gerdes, 2007; Yoon et al., 2009). Non sono state rilevate differenze significative per la sola mimica facciale, $F(1, 27) = 1.47, p = .236$. Vi è poi una significativa interazione tra la manipolazione della mimica facciale e il contenuto riportato, $F(1.82, 49.19) = 3.83, p = .032$. Questo risultato è in accordo con le nostre ipotesi iniziali: il CT per il contenuto riportato presenta un trend opposto in funzione della manipolazione della mimica facciale. In particolare la nostra ipotesi prevedeva che il CT per volti con espressione felice aumentasse nella condizione di mimica facilitata (mimica facilitata: $M = 7.16$ s, $SD = 4.74$ s; mimica libera: $M = 6.84$ s, $SD = 4.87$ s) e che, viceversa, il CT per volti con espressione neutra diminuisse con mimica facilitata (mimica facilitata: $M = 3.66$ s, $SD = 3.81$ s; mimica libera: $M = 3.84$ s, $SD = 3.92$ s). Si veda la Figura 15.

Al fine di confermare le nostre conclusioni riportiamo le analisi post-hoc. L'effetto di interazione osservato è statisticamente legato ad una modulazione del CT per volti con espressione felice in funzione della manipolazione della mimica facciale. In particolare è stato registrato un CT maggiore nella condizione di mimica facilitata per volti con espressione felice rispetto alla condizione di mimica libera, $t(27) = 3.35, p = .002$. Per quanto riguarda i confronti tra contenuto riportato neutro e misto nella condizione di mimica libera rispetto a quella facilitata i dati non sono significativi (neutro: $t(27) = -0.60, p = .555$; misto: $t(27) = -1.60, p = .122$).

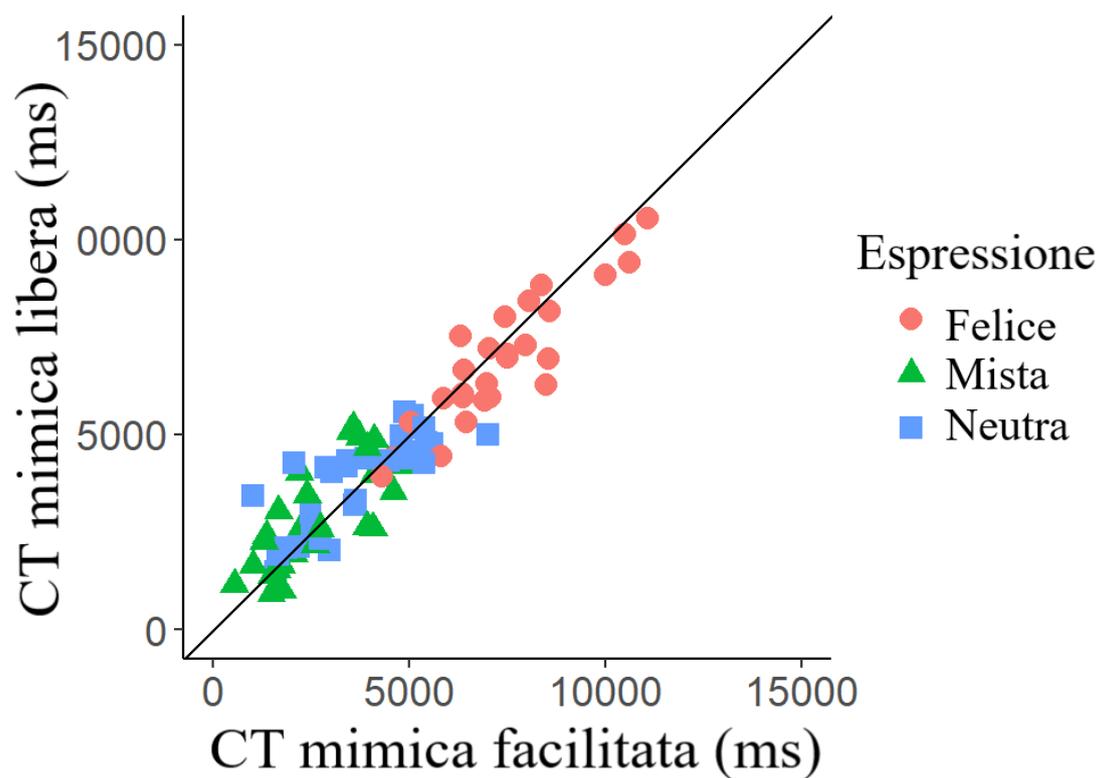


Figura 15. I punti nel grafico rappresentano il cumulative time (CT) di ogni partecipante per una specifica espressione. Negli assi x e y è stata proiettata la condizione di mimica facciale. La linea nera rappresenta l'equidistanza tra gli assi. La misura di CT è espressa in millisecondi (ms).

3.3 - Valutazione di valenza ed arousal

Al termine di ognuna delle due sessioni è stata condotta una valutazione di valenza ed arousal delle immagini monocolori dei volti presentati nei trial. Non è stato rilevato alcun effetto della sessione (i.e., i due blocchi) in termini di manipolazione della mimica facciale (valenza: $F(1, 27) = 2.28, p = 0.143$; arousal: $F(1, 27) = 0.053, p = 0.819$).

I punteggi della valenza degli stimoli sono differenti dalle ipotesi iniziali, $F(1, 27) = 526.69, p < .001$. I volti con espressione facciale neutra sono stati valutati sotto lo zero ($M = -1.07$; $SD = 0.83$; range = -3/+3), risultando così più negativi dei volti con espressione felice ($M = 2.48$; $SD = 0.49$; range = -3/+3). Le espressioni facciali felici sono state valutate più positivamente di quelle neutre, $t(27) = 22.95, p < .001$.

I punteggi dell'arousal allo stesso modo sono differenti dalle ipotesi iniziali, $F(1, 27) = 96.34, p < .001$. Sono stati valutati più bassi i punteggi per le espressioni neutre ($M = 2.43$; $SD = 1.16$; range = 1-7) che per le espressioni felici ($M = 5.27, SD = 1.2$; range = 1-7). I volti con espressione facciale neutra hanno ricevuto punteggi di arousal significativamente più bassi delle espressioni felici, $t(27) = 9.81, p < .001$.

Capitolo 4 - Discussione

4.1 - Sintesi

Il presente lavoro di ricerca ha indagato il ruolo funzionale della mimica facciale e della simulazione sensorimotoria nella percezione consapevole di espressioni facciali. In riferimento al modello di simulazione sensorimotoria proposto da Wood (Wood et al., 2016b), abbiamo ipotizzato che l'estrazione di informazioni dal volto non sia unicamente legata all'informazione visiva ma anche all'informazione sensorimotoria e che siano entrambe in grado di modificare l'esperienza consapevole. A questo scopo abbiamo utilizzato un paradigma di rivalità binoculare. Abbiamo indagato l'interazione tra i sistemi visivo e sensorimotorio analizzando se la stessa può modulare l'iniziale risoluzione dell'ambiguità e/o stabilizzare la rappresentazione consapevole in uno stadio successivo (i.e., una volta che l'ambiguità è stata risolta).

Per testare l'ipotesi sperimentale abbiamo sottoposto 28 partecipanti ad un task sperimentale con stimoli in rivalità binoculare. Abbiamo presentato i volti di un uomo e di una donna con espressione facciale felice e neutra chiedendo semplicemente di codificare l'espressione rilevata mediante l'utilizzo della tastiera. L'esperimento ha previsto due condizioni cruciali in cui variava la manipolazione della mimica. In una condizione le partecipanti eseguivano il compito con la mimica libera (condizione di mimica libera), mentre nell'altra tenevano tra i denti uno chopstick in posizione orizzontale per attivare il muscolo zigomatico (condizione di mimica facilitata).

Abbiamo in primis cercato di comprendere se il segnale sensorimotorio è coinvolto in una fase precoce di processamento delle espressioni facciali. La facilitazione della mimica in questo caso favorirebbe la risoluzione dell'ambiguità degli stimoli posti in rivalità. Più nello specifico andrebbe a favorire i volti con espressione felice rispetto alla condizione di mimica libera. Le misure di outcome considerate sono state l'*initial percept* (IP) e l'*onset resolution time* (ORT).

Per quanto riguarda l'IP abbiamo rilevato che - sia nella condizione di mimica libera che facilitata - le espressioni facciali felici vengono riportate più frequentemente

rispetto alle espressioni neutre. Le analisi della misura di ORT hanno invece evidenziato un effetto significativo della prima espressione facciale chiaramente riportata (IP) indipendente dalla mimica facciale assunta. Volti con espressione facciale di felicità hanno un vantaggio sia in termini di frequenza di IP (i.e., vengono rilevati più spesso come primi percetti) che nella metrica di ORT (i.e., vengono rilevati prima dei volti con espressione neutra). Questo vantaggio però non dipende dalla condizione di mimica. I risultati delle misure di IP e ORT non sembrano infatti supportare l'ipotesi di un ruolo della mimica facciale nei primi stadi di risoluzione dell'ambiguità.

Successivamente abbiamo indagato la possibilità che il segnale sensorimotorio possa influenzare una fase più tardiva del processamento delle espressioni facciali. La facilitazione della mimica favorirebbe così la stabilizzazione del contenuto nella consapevolezza. L'ipotesi è che la manipolazione congruente all'espressione di felicità vada ad incrementare il *cumulative time* (CT) relativo ad espressioni facciali felici rispetto alla condizione di mimica libera.

Abbiamo rilevato: 1) una differenza significativa per il contenuto riportato indipendente dalla condizione di mimica facciale (i.e., il CT per volti con espressione felice è maggiore del CT per volti con espressione sia neutra che mista); 2) una significativa interazione - in accordo con le nostre ipotesi iniziali - tra la manipolazione della mimica facciale e il contenuto riportato: vi è un CT maggiore nella condizione di mimica facilitata per volti con espressione felice rispetto alla condizione di mimica libera.

4.2 - Discussione dei risultati

Una prima considerazione riguarda la replica di dati provenienti da ricerche precedenti. Dai risultati si evidenzia che le espressioni facciali felici sono riportate più frequentemente come *initial percept* (IP) rispetto a quelle neutre. È da notare poi che il *cumulative time* (CT) per espressioni facciali felici è maggiore di quello per espressioni neutre. Sono state così confermate le conclusioni delle ricerche di Alpers (2007) e Yoon (2009). Questa replica testimonia l'adeguatezza del paradigma e la qualità dei dati.

Testando il modello proposto da Wood e colleghi (2016b), i risultati di questo studio supportano il ruolo chiave dei segnali sensorimotori nella percezione consapevole di espressioni facciali. La mimica - come proposto dal modello di Wood - agisce con un meccanismo di feedback nelle aree visive modulando il processamento di volti emotivi. Il contributo di questa ricerca è di riconoscere nella mimica facciale un ruolo di stabilizzazione del contenuto consapevole. In altre parole abbiamo cercato di individuare nella mimica facciale assunta dall'osservatore (i.e., congruente con l'espressione felice) un ruolo di stabilizzazione nella consapevolezza dell'espressione facciale felice. Questo studio evidenzia che facilitando la mimica facciale (i.e., con manipolazione congruente all'espressione di felicità) è possibile favorire la dominanza di volti con espressione felice. Il contenuto consapevole relativo all'espressione di felicità, infatti, permane nella fase di dominanza più a lungo quando la mimica è facilitata rispetto alla condizione di mimica libera.

L'effetto di interazione tra contenuto riportato (i.e., felice, neutro e misto) e manipolazione di mimica facciale è statisticamente significativo per il CT. Nella condizione di mimica facilitata il CT aumenta per volti con espressione felice rispetto alla condizione di mimica libera. Esiste quindi una modulazione del CT per volti con espressione felice in funzione della manipolazione della mimica facciale. Questo dato va ad integrarsi allo studio di Quettier (2021). Adottando lo stesso paradigma sperimentale di rivalità binoculare è stato riportato un incremento del CT per volti con espressione facciale neutra nella condizione di mimica bloccata (i.e., chiedendo alle partecipanti di tenere uno chopstick tra le loro labbra senza utilizzare i denti) rispetto alla condizione di mimica libera. Si veda la Figura 16 per un confronto della manipolazione nello studio di Quettier et al. (2021) e della presente ricerca.

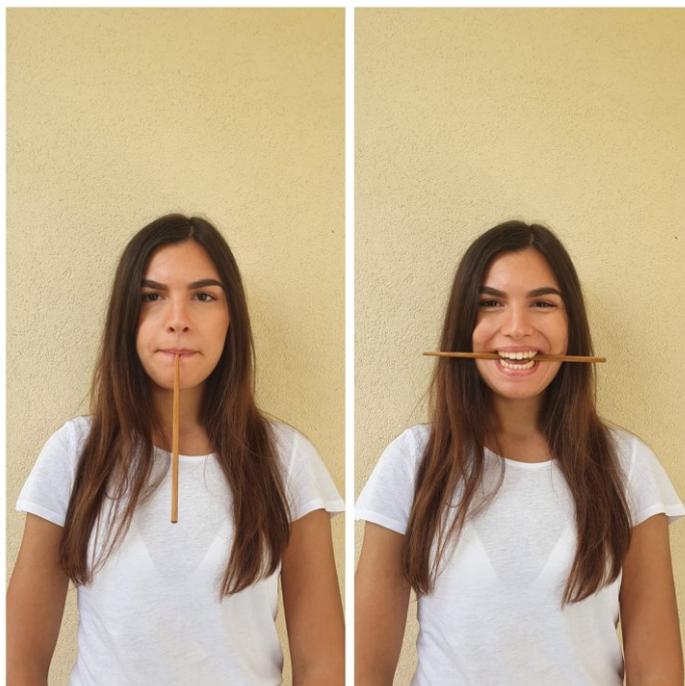


Figura 16. A destra la manipolazione sperimentale adottata nello studio di Quettier, Gambarota, Tsuchiya e Sessa (2021), a sinistra quella adottata nella presente ricerca.

Vi è però un'altra considerazione da fare: nonostante sia stata osservata una modulazione del CT per volti con espressione felice in funzione della mimica, non abbiamo osservato lo stesso effetto della manipolazione per il CT di volti con espressione neutra. Questo supporta solo parzialmente l'ipotesi di partenza. Una possibile spiegazione di questo risultato può essere legata alla manipolazione sperimentale della mimica. Facilitare la mimica facciale mediante lo chopstick può aver creato quella che potrebbe essere definita una "congruenza cross-modale" tra il sistema sensorimotorio e il sistema visivo. Più nello specifico potrebbe aver creato un *matching* tra il feedback sensorimotorio e la rappresentazione visiva di volti con espressione felice. Questo può aver stabilizzato il contenuto consapevole dell'espressione felice e non quello dell'espressione neutra. L'integrazione dell'informazione dei due sistemi (i.e., visivo e sensorimotorio) sembra quindi creare un beneficio quando è congruente tra i due (i.e., l'espressione felice e la mimica facilitata). L'incongruenza tra i due sistemi invece sembra non portare a nessun deficit (i.e., l'espressione neutra e la mimica facilitata).

L'effetto di interazione tra contenuto riportato e manipolazione della mimica è risultato statisticamente significativo unicamente per la misura di CT. In merito alle misure di IP e ORT non è stato evidenziato alcun effetto di interazione tra contenuto riportato e manipolazione della mimica. Questo significa che la stessa mimica non ha un ruolo nella risoluzione dell'ambiguità e nel favorire uno dei due stimoli in rivalità binoculare. L'effetto di manipolazione della mimica facciale andrebbe a realizzarsi in una fase più tardiva. Il segnale proveniente dal sistema sensorimotorio permetterebbe così che venga stabilizzata la rappresentazione del volto con espressione felice (i.e., una volta che lo stesso contenuto diviene consapevole). Il dato si pone in linea con i risultati ottenuti da Korb (2017).

Il paradigma di rivalità binoculare ha il vantaggio di monitorare i vari stadi della formazione (e dissoluzione) del contenuto consapevole. L'analisi della stabilizzazione del contenuto ha permesso di fornire un prezioso contributo allo studio del decorso temporale della coscienza. Il focus di questa ricerca è stato proprio il contenuto consapevole e il processo di graduale formazione dello stesso. È di grande interesse considerare l'effetto del CT rilevato (i.e., per volti con espressione felice in funzione della manipolazione della mimica) per quanto riguarda lo stadio di formazione del contenuto. La facilitazione della mimica facciale incrementa il CT per volti con espressione felice, stabilizzando il contenuto consapevole dopo la sua formazione. Il segnale sensorimotorio mantiene il contenuto nella consapevolezza solo quando è congruente alla rappresentazione visiva. I dati ottenuti vanno così ad integrarsi al modello di Aru e Bachmann (2017) e forniscono evidenze sperimentali circa il cambiamento e lo sviluppo della percezione cosciente.

4.3 - Limiti e prospettive future

La presente ricerca si è focalizzata su un campione interamente femminile. Stel e van Knippenberg (2008) hanno evidenziato che l'effetto della manipolazione della mimica facciale è più marcato nelle donne che negli uomini. Allo scopo di massimizzare gli effetti della manipolazione abbiamo così optato per il reclutamento di partecipanti di solo genere femminile. Questo limita la possibilità di generalizzare le conclusioni. In un contesto futuro sarà utile ampliare lo studio anche ad una popolazione maschile così da ottenere una completa generalizzabilità dei risultati.

Altro limite da evidenziare nello studio è l'impossibilità di estendere i risultati a tutte le espressioni facciali. I dati ottenuti possono essere generalizzati alle sole espressioni facciali di felicità e alla loro stabilizzazione grazie alla facilitazione della mimica facciale. Sarà così fondamentale investigare nel futuro il ruolo del sistema sensorimotorio considerando altre espressioni facciali. Potrebbe risultare utile lo studio non solo di espressioni facciali positive quali la felicità, ma ampliare la ricerca anche ad espressioni facciali negative quali la tristezza e la paura. Di conseguenza sarà importante sperimentare differenti tipologie di manipolazione della mimica, difficili da implementare soprattutto per le espressioni facciali negative.

I risultati raccolti grazie a questa ricerca necessitano di essere ampliati in studi futuri auspicabilmente utilizzando tecniche differenti. Utilizzare un EMG facciale per indagare la risposta muscolare in un paradigma di rivalità binoculare permetterà di investigare più a fondo il ruolo della simulazione sensorimotoria nell'elaborazione consapevole di espressioni facciali. Tecniche quali l'elettroencefalografia (*electroencephalography*, EEG) potranno poi essere utili al fine di tracciare il decorso temporale dell'interazione tra la corteccia sensorimotoria e la corteccia visiva.

4.4 - Conclusioni

I risultati di questa ricerca supportano il ruolo della mimica nell'elaborazione consapevole delle espressioni facciali. In riferimento al modello di Wood (2016b) questo studio offre un contributo riguardo la funzione fondamentale dell'attività sensorimotoria nel processamento consapevole di espressioni facciali. Adottando un paradigma di rivalità binoculare abbiamo dimostrato che facilitare la mimica facciale permette di stabilizzare la rappresentazione una volta che la stessa diviene di accesso alla consapevolezza. Così come lo studio di Quettier (2021) ha evidenziato un ruolo della mimica facciale nella consapevolezza di volti con espressione neutra, abbiamo riscontrato che è possibile riconoscere un effetto della stessa mimica anche nella consapevolezza di volti con espressione felice. Questo lavoro conferma e completa i risultati dello studio appena citato, in cui la stabilizzazione del contenuto consapevole avviene quando la mimica facciale viene inibita. La nostra ricerca mette poi in luce l'importanza della congruenza tra l'informazione sensorimotoria e visiva. Abbiamo infatti dimostrato che il contenuto consapevole di espressioni facciali viene stabilizzato quando le informazioni sensorimotorie e visive sono congruenti tra di loro.

Bibliografia

- Alpers, G. W., & Gerdes, A. B. M. (2007). Here is looking at you: Emotional faces predominate in binocular rivalry. *Emotion*, 7(3), 495–506. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.3.495>
- Aru, J., & Bachmann, T. (2017). In and Out of Consciousness: How Does Conscious Processing (D)evolve Over Time? *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00128>
- Bannerman, R. L., Milders, M., De Gelder, B., & Sahraie, A. (2008). Influence of emotional facial expressions on binocular rivalry. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(4), 317–326. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00568.x>
- Blake, R., & Logothetis, N. K. (2002). Visual competition. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(1), 13–21. <https://doi.org/10.1038/nrn701>
- Caruana, F. & Borghi, A. (2013). Embodied Cognition: Una nuova psicologia. *Giornale italiano di psicologia*, 1, 23–48. <https://doi.org/10.1421/73973>
- Clifford, C. (2009). Binocular Rivalry. *Current Biology*, 19(22), 1022–1023. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.09.006>
- Crick, F., & Koch, C. (s.d.). *Feature Article Consciousness and Neuroscience*. 11.
- De Stefani, E., Nicolini, Y., Belluardo, M., & Ferrari, P. F. (2019). Congenital facial palsy and emotion processing: The case of Moebius syndrome. *Genes, Brain and Behavior*, 18(1), e12548. <https://doi.org/10.1111/gbb.12548>

- Dehaene, S., & Changeux, J.-P. (2011). Experimental and Theoretical Approaches to Conscious Processing. *Neuron*, 70(2), 200–227. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.03.018>
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 223–233. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01482-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01482-0)
- Hoffmann, H., Kessler, H., Eppel, T., Rukavina, S., & Traue, H. C. (2010). Expression intensity, gender and facial emotion recognition: Women recognize only subtle facial emotions better than men. *Acta Psychologica*, 135(3), 278–283. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.07.012>
- Hyniewska, S., & Sato, W. (2015). Facial feedback affects valence judgments of dynamic and static emotional expressions. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00291>
- Ipser, A., & Cook, R. (2016). Inducing a concurrent motor load reduces categorization precision for facial expressions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(5), 706–718. <https://doi.org/10.1037/xhp0000177>
- Keillor, J. M., Barrett, A. M., Crucian, G. P., Kortenkamp, S., & Heilman, K. M. (2002). Emotional experience and perception in the absence of facial feedback. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(1), 130–135. <https://doi.org/10.1017/S1355617701020136>
- Korb, S., Malsert, J., Rochas, V., Rihs, T. A., Rieger, S. W., Schwab, S., Niedenthal, P. M., & Grandjean, D. (2015). Gender differences in the neural network of

- facial mimicry of smiles – An rTMS study. *Cortex*, 70, 101–114.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.06.025>
- Korb, S., Osimo, S. A., Suran, T., Goldstein, A., & Rumiati, R. I. (2017). Face proprioception does not modulate access to visual awareness of emotional faces in a continuous flash suppression paradigm. *Consciousness and Cognition*, 51, 166–180. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.03.008>
- Korb, S., With, S., Niedenthal, P., Kaiser, S., & Grandjean, D. (2014). The Perception and Mimicry of Facial Movements Predict Judgments of Smile Authenticity. *PLoS ONE*, 9(6), e99194.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099194>
- Kring, A. M., & Gordon, A. H. (1998). Sex differences in emotion: Expression, experience, and physiology. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(3), 686–703. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.3.686>
- Künecke, J., Hildebrandt, A., Recio, G., Sommer, W., & Wilhelm, O. (2014). Facial EMG Responses to Emotional Expressions Are Related to Emotion Perception Ability. *PLoS ONE*, 9(1), e84053. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084053>
- Lamme, V. A. F. (2006). Towards a true neural stance on consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(11), 494–501. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.09.001>
- Laureys, S. (2005). The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 556–559.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.010>
- Li, J., Lam, C. S. Y., Yu, M., Hess, R. F., Chan, L. Y. L., Maehara, G., Woo, G. C., & Thompson, B. (2010). Quantifying Sensory Eye Dominance in the Normal Visual System: A New Technique and Insights into Variation across Traditional

- Tests. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(12), 6875.
<https://doi.org/10.1167/iovs.10-5549>
- Lobmaier, J., & Fischer, M. (2015). Facial Feedback Affects Perceived Intensity but Not Quality of Emotional Expressions. *Brain Sciences*, 5(3), 357–368.
<https://doi.org/10.3390/brainsci5030357>
- Lundqvist, D., Flykt, A. & Öhman, A. (1998). *The Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF)* (Vol. 91). Karolinska Institutet.
- Maier, A., Panagiotaropoulos, T. I., Tsuchiya, N., & Keliris, G. A. (2012). Introduction to Research Topic – Binocular Rivalry: A Gateway to Studying Consciousness. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00263>
- Matis, G., & Birbilis, T. (s.d.). *The Glasgow Coma Scale – a brief review Past, present, future*. 16.
- Mogg, K., & Bradley, B. P. (2002). Selective orienting of attention to masked threat faces in social anxiety. *Behaviour research and therapy*, 40(12), 1403–1414.
[https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(02\)00017-7](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(02)00017-7)
- Ponari, M., Conson, M., D’Amico, N. P., Grossi, D., & Trojano, L. (2012). Mapping correspondence between facial mimicry and emotion recognition in healthy subjects. *Emotion*, 12(6), 1398–1403. <https://doi.org/10.1037/a0028588>
- Quettier, T., Gambarota, F., Tsuchiya, N., & Sessa, P. (2021). Blocking facial mimicry during binocular rivalry modulates visual awareness of faces with a neutral expression. *Scientific Reports*, 11(1), 9972.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-89355-5>

- Rychlowska, M., Cañadas, E., Wood, A., Krumhuber, E. G., Fischer, A., & Niedenthal, P. M. (2014). Blocking Mimicry Makes True and False Smiles Look the Same. *PLoS ONE*, *9*(3), e90876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090876>
- Schiano Lomoriello, A., Maffei, A., Brigadoi, S., & Sessa, P. (2021). Altering sensorimotor simulation impacts early stages of facial expression processing depending on individual differences in alexithymic traits. *Brain and Cognition*, *148*, 105678. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105678>
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., Schmid, B., Tinevez, J.-Y., White, D. J., Hartenstein, V., Eliceiri, K., Tomancak, P., & Cardona, A. (2012). Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, *9*(7), 676–682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
- Shinobu, I. (1918). Tests for Color Blindness. *American Journal of Ophthalmology*, *376*.
- Stel, M., & van Knippenberg, A. (2008). The Role of Facial Mimicry in the Recognition of Affect. *Psychological Science*, *19*(10), 984–985. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02188.x>
- Tong, F., Meng, M., & Blake, R. (2006). Neural bases of binocular rivalry. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(11), 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.09.003>
- Tong, F., Nakayama, K., Vaughan, J. T., & Kanwisher, N. (1998). Binocular Rivalry and Visual Awareness in Human Extrastriate Cortex. *Neuron*, *21*(4), 753–759. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80592-9](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80592-9)

- Tsuchiya, N., & Adolphs, R. (2007). Emotion and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(4), 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.01.005>
- Wood, A., Lupyan, G., Sherrin, S., & Niedenthal, P. (2016a). Altering sensorimotor feedback disrupts visual discrimination of facial expressions. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 1150–1156. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0974-5>
- Wood, A., Rychlowska, M., Korb, S., & Niedenthal, P. (2016b). Fashioning the Face: Sensorimotor Simulation Contributes to Facial Expression Recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(3), 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.12.010>
- Yoon, K. L., Hong, S. W., Joormann, J., & Kang, P. (2009). Perception of facial expressions of emotion during binocular rivalry. *Emotion*, 9(2), 172–182. <https://doi.org/10.1037/a0014714>