

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione Neuropsicologica

Tesi di Laurea Magistrale

Il Controllo Cognitivo durante un Compito di Stroop Spaziale con Prime Emotivo: uno Studio ERP

Cognitive Control during a Spatial Stroop Task with Emotional Priming: an ERP Study

Relatore

Prof. Antonino Vallesi

Correlatore

Dott. Antonino Visalli

Laureando: Ettore Napoli

Matricola: 2022883

Anno Accademico 2021/2022

CAPITOLO 1	5
IL CONTROLLO COGNITIVO	5
1. Controllo Cognitivo reattivo e Controllo Cognitivo proattivo: Dual Mechanism of Control Framework (DMC)	6
2. Altre Teorie	7
3. Test e Paradigmi per valutare il Controllo Cognitivo	10
4. Misure elettrofisiologiche	10
5. Il Compito di Stroop	13
6. Interazione tra controllo cognitivo ed emozioni	17
7. Il compito di Stroop Emotivo	21
8. Il compito di Stroop spaziale	23
9. Obiettivi dello studio	24
CAPITOLO 2	26
METODI E PROCEDURA SPERIMENTALE	26
1. Partecipanti	26
2. Procedura e materiali	26
3. Registrazione EEG	30
CAPITOLO 3	31
ANALISI DEI DATI	31

1. Analisi Comportamentale	31
2. Preprocessing EEG	32
3. Analisi inferenziale EEG	33
CAPITOLO 4	35
RISULTATI	35
1. Risultati comportamentali	35
2. Risultati ERP	37
CAPITOLO 5	43
DISCUSSIONE	43
CAPITOLO 6	54
CONCLUSIONI, LIMITI, E SVILUPPI FUTURI	54
BIBLIOGRAFIA	56

Capitolo 1

Il Controllo Cognitivo

Il termine controllo cognitivo è stato spesso considerato un sinonimo di Funzioni Esecutive, un termine ombrello che trova le sue radici nella neuropsicologia clinica (Friedman & Robbins, 2022). Il modello più famoso del funzionamento esecutivo è stato proposto da Miyake e colleghi (2000), che hanno individuato tre componenti: la flessibilità mentale (shifting), l'inibizione (inhibition), e la memoria di lavoro (*updating*). Il controllo cognitivo è invece un costrutto più astratto che permette al sistema cognitivo umano di configurarsi per l'esecuzione di specifici compiti tramite aggiustamenti nella selezione percettiva, nel bias di risposta, e nel mantenimento online delle informazioni contestuali (Botvinick et al., 2001). In questo primo capitolo verrà fornita una panoramica delle principali teorie riguardanti il controllo cognitivo, le emozioni e la loro interazione. Particolare attenzione verrà data al Dual Mechanism of Control Framework (Braver, 2012). Questo modello risulta particolarmente rilevante in quanto distingue tra due diverse modalità di controllo cognitivo, dissociabili sia temporalmente che per le risorse attentive richieste nella loro implementazione. Infatti, come verrà spiegato nel secondo capitolo, l'obiettivo di questa tesi sperimentale è quello di andare ad esplorare a quale livello di implementazione del controllo cognitivo avviene la risoluzione dell'interferenza da parte di stimoli emotivi. In seguito, verrà fatta una breve rassegna dei principali paradigmi utilizzati per valutare le diverse componenti del controllo cognitivo, e delle principali misure elettrofisiologiche ad esse associate. Essendo uno dei principali paradigmi utilizzati in letteratura per studiare il funzionamento del controllo cognitivo e la sua interazione con stimoli emotivi, verrà descritto il compito di Stroop nelle sue varie declinazioni. Verranno poi discussi i principali modelli sull'interazione tra controllo cognitivo ed emozioni e, infine, verrà descritto il compito di Stroop emotivo. Verrà data particolare importanza all'aspetto metodologico sottostante il compito di Stroop, fornendo il razionale dietro la decisione di utilizzare un compito di Stroop con stimoli puramente spaziali.

1. Controllo Cognitivo reattivo e Controllo Cognitivo proattivo: Dual Mechanism of Control Framework (DMC)

Nelle Neuroscienze Cognitive, uno dei modelli più influenti riguardanti il controllo cognitivo è il *Dual Mechanism of Control Framework* (Braver, 2012). L'assunto centrale del modello sostiene che il controllo cognitivo operi secondo due diverse modalità: il controllo proattivo e il controllo reattivo (Braver, 2012). Questi due tipi di controllo differiscono tra loro per le dinamiche temporali (Irlbacher et al., 2014). Infatti, mentre il controllo proattivo sostiene un mantenimento attivo e sostenuto delle informazioni rilevanti per il compito prima dell'avvento di eventi cognitivamente onerosi, il controllo reattivo opera come un meccanismo di correzione tardivo, solo dopo l'individuazione di un evento interferente con il compito (Braver, 2012).

Dunque, il controllo cognitivo proattivo prevede un'attivazione delle rappresentazioni dell'obiettivo temporalmente precedente alla loro attuazione, e il loro mantenimento per tutto il periodo in cui sono richieste, minimizzando l'interferenza da fonti di distrazione interne o esterne e massimizzando la preparazione all'esecuzione del compito (Braver, 2012). Ne deriva che l'utilizzo di una strategia di controllo proattivo ha il vantaggio di permettere un aggiustamento continuo del comportamento per facilitare il corretto completamento del compito, ma ha lo svantaggio di richiedere un mantenimento costante dell'obiettivo, consumando le risorse cognitive disponibili (Braver, 2012). L'utilizzo di una strategia di controllo proattivo, inoltre, comporta l'attivazione di un network di controllo contenente l'Area Premotoria Supplementare (pre-SMA), la Corteccia Prefrontale Dorsolaterale (DLPFC), il Giro Frontale Inferiore (IFG) e regioni parietali inferiori (Burgess & Braver, 2010; Irlbacher et al., 2014). L'attività nell'Area Premotoria Supplementare fornisce una previsione continuamente aggiornata delle richieste cognitive attese (Cole & Schneider, 2007), ed è in grado di modulare l'attività nella DLPFC, supportando gli aggiustamenti di Controllo Cognitivo nel tempo (Kerns, 2006). Infatti, un'alta attivazione della pre-SMA è associata a una maggiore attivazione della DLPFC e delle regioni parietali che, insieme, esercitano un bias attentivo top-down, favorendo il

mantenimento attivo delle rappresentazioni rilevanti per il compito che, a sua volta, aumenta l'attivazione del Giro Frontale Inferiore sinistro (Burgess & Braver, 2010; Irlbacher et al., 2014). Al contrario, con l'utilizzo di una strategia di controllo reattivo, le rappresentazioni dell'obiettivo vengono riattivate solo quando sono necessarie (Braver, 2012). Questo ha il vantaggio di essere computazionalmente efficiente, permettendo l'elaborazione e il mantenimento di altre informazioni, ma ha lo svantaggio di dipendere da un evento che faccia da innesco per la riattivazione ripetuta delle rappresentazioni dell'obiettivo (Braver, 2012). Sono stati ipotizzati due meccanismi alla base del controllo reattivo: l'inibizione della familiarità e il recupero del contesto (Badre & Wagner, 2005; Jonides & Nee, 2006). Il primo è un meccanismo di controllo reattivo precoce che avviene circa 300-450 millisecondi dopo la presentazione dello stimolo, mentre il secondo è un meccanismo più tardivo che avviene dopo 550 millisecondi dalla presentazione dello stimolo (Irlbacher et al., 2014). Entrambi i processi implicano un'attivazione del Giro Frontale Inferiore sinistro che, nel processo di controllo reattivo precoce è deputato all'inibizione della familiarità, mentre nel processo tardivo alla registrazione dell'interferenza (Badre & Wagner, 2005; Irlbacher et al., 2014; Nelson et al., 2003). Riassumendo, controllo proattivo e controllo reattivo differiscono anche per l'impegno attentivo richiesto (Braver, 2012). Mentre il controllo proattivo fa affidamento su un processo top-down, per permettere il mantenimento delle rappresentazioni dell'obiettivo prima che queste siano effettivamente necessarie, il controllo reattivo fa affidamento su un processo bottom-up estremamente dipendente dallo stimolo e, per definizione, tardivo, il che richiede un minor impegno attentivo, pur essendo maggiormente vulnerabile a effetti di cattura o orientamento dell'attenzione transienti, che possono inficiare l'abilità di riattivazione delle rappresentazioni dell'obiettivo quando effettivamente ne si ha bisogno (Braver, 2012; Braver et al., 2007).

2. Altre Teorie

Oltre al *Dual Mechanism of Control Framework*, una teoria molto influente riguardante il controllo cognitivo, e in particolare la sua componente di inibizione e risoluzione del conflitto, è la *Conflict*

Monitoring Theory (Botvinick et al., 2001). Essa ipotizza l'esistenza di un sistema di monitoraggio che rileva la presenza di un conflitto nel processo di elaborazione dell'informazione e lo traduce in un aggiustamento compensatorio operato dal controllo cognitivo (Botvinick et al., 2001). Il conflitto può essere definito come derivante da una interferenza *crosstalk* tra processi concomitanti (Botvinick et al., 2001). Infatti, se due processi di elaborazione non si sovrappongono allora essi possono avvenire parallelamente, mentre se condividono parte delle risorse cognitive allora interagiscono o interferiscono l'uno con l'altro. Uno dei ruoli centrali del controllo cognitivo è quello di prevenire il conflitto derivante dall'interferenza, e la teoria del monitoraggio del conflitto prevede due componenti: una componente di monitoraggio che valuta il grado di conflitto presente, e una componente di adattamento del controllo cognitivo, che calibra i filtri attentivi sulle richieste del compito in svolgimento (Botvinick et al., 2001; Dignath et al., 2020). Queste due componenti sono complementari, e formano un loop di controllo: la rilevazione del conflitto determina un segnale che innesca l'adattamento del controllo cognitivo attraverso un segnale di apprendimento che specifica il bisogno di cambiamenti nell'allocamento delle risorse attentive che, a loro volta, causano una riduzione del conflitto (Dignath et al., 2020). In particolare, la detezione del conflitto innesca un'attivazione della Corteccia Cingolata Anteriore (Anterior Cingulate Cortex, ACC) (Botvinick et al., 2001; Dignath et al., 2020; Holroyd & Umemoto, 2016), la quale, assieme all'Area Premotoria Supplementare, rappresenta il generatore neurale dell'*Error Related Negativity* (ERN) (Carter et al., 1998; Dehaene et al., 1994; Holroyd et al., 2004), che si presenta come un picco negativo che raggiunge l'ampiezza massima dopo circa 100 millisecondi dopo una risposta sbagliata (Falkenstein et al., 1991). La seconda componente ipotizzata dalla Conflict Monitoring Theory è quella di adattamento del controllo, che ha il ruolo di aggiustare i filtri attentivi in funzione delle richieste del compito, in modo tale da ridurre il conflitto nella performance successiva (Botvinick et al., 2001; Dignath et al., 2020). La funzione di adattamento del controllo seguente una rilevazione di un conflitto è svolta dalla Corteccia Prefrontale Dorsolaterale (DLPFC) (Dignath et al., 2020). Dal punto di vista comportamentale, gli aggiustamenti della performance successivi a un conflitto includono l'effetto Rabbitt e l'effetto Gratton (Larson & Clayson, 2011). L'effetto Rabbitt consiste in un rallentamento dei tempi di risposta dopo aver compiuto un errore, al fine di aumentare l'accuratezza (Rabbitt, 1966, 1968). L'effetto Gratton, chiamato anche effetto di adattamento al conflitto, consiste in una maggiore velocità dei tempi di risposta in seguito alla rilevazione di un conflitto (Gratton et al., 1992).

Un altro modello molto influente sul funzionamento del Controllo Cognitivo è il *Cascade of Control Model* (Banich, 2009, 2019). Secondo questo modello il Controllo Cognitivo viene implementato attraverso dei processi di selezione a cascata, ciascuno dei quali è svolto da regioni differenti della Corteccia Prefrontale (Banich, 2009).

Le regioni posteriori della Corteccia Prefrontale Dorsolaterale (DLPFC) sono responsabili degli aspetti esecutivi della selezione attentiva (Banich et al., 2000). Queste regioni impongono un *set* attentivo in favore dei processi dedicati all'elaborazione delle informazioni che sono rilevanti per il compito, ovvero stabiliscono un *bias top-down* per selezionare specifici tipi di informazioni (Banich, 2009; Banich et al., 2000). Esse si attivano maggiormente quando la selezione delle informazioni è resa difficoltosa dalla presenza di elementi non rilevanti per il compito (Banich, 2009; Banich et al., 2000).

Al contrario, porzioni più anteriori della DLPFC sono responsabili della selezione delle rappresentazioni delle informazioni che sono considerate rilevanti per il compito (Banich, 2009). Contemporaneamente, la porzione posteriore della Corteccia Cingolata Anteriore dorsale è coinvolta negli aspetti più tardivi della selezione dell'informazione che deve essere usata per determinare la risposta (Banich, 2009). La sua attività è massima quando gli stimoli portano a due risposte che competono tra loro (Banich, 2009), e dipende da quanto gli elementi non rilevanti per il compito siano informativi delle risposte possibili (Milham et al., 2001).

Infine, le regioni anteriori dell'ACC dorsale sono coinvolte nei processi di valutazione delle risposte (Banich, 2009), e la loro attività aumenta all'aumentare della probabilità di commettere un errore (Milham & Banich, 2005).

3. Test e Paradigmi per valutare il Controllo Cognitivo

Le diverse teorie sul Controllo Cognitivo hanno cercato di suddividere questa complessa funzione in varie sotto-componenti (Gratton et al., 2018).

Seguendo la tassonomia proposta da Miyake e collaboratori (2000), i paradigmi sperimentali che valutano il controllo cognitivo si possono dividere in tre gruppi (Gratton et al., 2018). I compiti di Memoria di Lavoro (*updating*), come ad esempio l'*N-back task*, richiedono un continuo aggiornamento delle informazioni in memoria, e il carico di controllo cognitivo viene manipolato aumentando la lunghezza della sequenza di stimoli che deve essere mantenuta in Memoria di Lavoro (Gratton et al., 2018). I compiti di flessibilità mentale (*shifting*) richiedono al partecipante di alternare la propria attenzione tra due o più accoppiamenti di stimolo-risposta, e fanno leva sui meccanismi del controllo cognitivo richiesti per spostare la propria attenzione tra diversi obiettivi e/o compiti (Baniqued et al., 2018; Gratton et al., 2018). I compiti di inibizione e risoluzione del conflitto (*inhibition*), come ad esempio il compito di Stroop (vedi sotto), richiedono la repressione di una risposta prepotente, in quanto introducono un conflitto tra stimoli rilevanti e non rilevanti per il compito e/o tra associazioni tra stimolo e risposta, e richiedono l'implementazione del controllo cognitivo per monitorare il conflitto e ridurre il suo impatto sulla performance (Gratton et al., 2018).

4. Misure elettrofisiologiche

Dal momento che il controllo cognitivo è impiegato in contesti che cambiano rapidamente, l'elettroencefalogramma (EEG), con la sua alta risoluzione temporale, è particolarmente adeguato nel cogliere le sue dinamiche temporali (Gratton et al., 2018).

Molte ricerche si sono concentrate sui Potenziali Evento Relati (*Event Related* Potential, ERP) che vengono elicitati durante paradigmi sperimentali associati alla detezione e al monitoraggio del conflitto e dell'interferenza (Gratton et al., 2018).

I paradigmi di inibizione e risoluzione del conflitto elicitano la componente N2, un'onda negativa che raggiunge il picco massimo tra i 200 e i 400 millisecondi, ed è massimamente visibile sugli

elettrodi fronto-centrali (Botvinick et al., 2001; Folstein & Van Petten, 2007; Yeung et al., 2004). La componente N2 indica un conflitto generato da risposte che competono tra loro, e la sua ampiezza aumenta con l'aumentare del conflitto generato (Botvinick et al., 2001; Dignath et al., 2020; Gratton et al., 2018; Yeung et al., 2004)

Una componente simile alla N2 è la *Error Related Negativity* (ERN), che si manifesta come un picco negativo che raggiunge la massima ampiezza 100 millisecondi dopo una risposta sbagliata (Falkenstein et al., 1991), ed è dunque generata quando l'errore compiuto in fase di risposta è esplicitamente segnalato (Gratton et al., 2018). La ERN è sensibile alla frequenza degli errori, alla loro tipologia (Holroyd & Coles, 2002; Maier & Steinhauser, 2013), e alla significatività motivazionale (Hajcak et al., 2005), e la sua ampiezza aumenta quando gli errori sono seguiti da una punizione (Saunders et al., 2015a), quando i partecipanti sono soggetti a fattori di stress sociale (Hajcak et al., 2005), e quando le istruzioni del compito guidano l'attenzione verso un'emozione negativa (Saunders et al., 2016).

Studi sulla localizzazione neurale hanno individuato come generatore delle componenti N2 e ERN, la Corteccia Cingolata Anteriore (ACC) e l'area pre-motoria supplementare (pre-SMA) (Botvinick et al., 2001; Ladouceur et al., 2007). Queste aree si attivano durante lo svolgimento di compiti che richiedono l'inibizione di una risposta prepotente, in compiti che richiedono la scelta da parte del partecipante di una tra più risposte ugualmente ammissibili, e in associazione al commettere errori (Botvinick et al., 2001).

Mentre le negatività fronto-centrali appaiono particolarmente sensibili ai processi di controllo reattivo necessari per occuparsi dell'interferenza generata da associazioni tra stimoli diversi, tra caratteristiche diverse di uno stesso stimolo, e tra stimolo e risposta, il complesso della P300 sembra essere sensibile sia ai processi di controllo proattivo che reattivo (Gratton et al., 2018). La componente P300 può venire suddivisa in due sottocomponenti: la P3a, che ha distribuzione frontale, è associata all'orientamento e alla novità, ed è un indice di controllo reattivo (Fabiani et al., 1998; Gratton et al., 2018; Knight, 1984), e la P3b, che ha distribuzione parietale, è associata all'aggiornamento del

contesto, compreso l'aggiornamento delle associazioni tra stimolo e risposta, ed è un indice di controllo proattivo (Gratton et al., 2018; Polich, 2007).

Le componenti ERP non sono altro che il risultato finale delle comunicazioni oscillatorie tra diversi networks neurali (Gratton et al., 2018). Le onde theta rappresentano l'attività oscillatoria maggiormente implicata nel controllo cognitivo (Cavanagh & Frank, 2014; M. X. Cohen, 2014). Esse sono onde lente aventi una frequenza compresa tra i 4 e gli 8 Hz, ed hanno un ruolo integrativo nell'organizzazione generale dell'attività cerebrale (Sauseng et al., 2010).

In compiti che richiedono controllo cognitivo, le oscillazioni nella banda theta, registrate soprattutto sulla corteccia frontale mediale, mostrano un aumento della loro potenza sia sotto forma di scariche transitorie di circa 300 millisecondi, sia sotto forma di treni più sostenuti che possono eccedere i 10 secondi (Mitchell et al., 2008). La prima forma di attività theta è associata al bisogno di aggiustamenti del controllo cognitivo momento per momento, e aumenta con l'aggiornamento della Memoria di Lavoro (Jacobs et al., 2006), con l'inibizione di una risposta (Funderud et al., 2012), e con la detezione e la correzione di un errore (Cavanagh et al., 2009). Al contrario, l'attività theta sostenuta è associata alla necessità di aggiornare o mantenere un obiettivo (Moore et al., 2012). Dunque, l'attività theta facilita aggiustamenti complessi e flessibili dei circuiti frontali associati al controllo basati sulle richieste contestuali correnti (Voytek et al., 2015).

E stato dimostrato come strategie di controllo proattivo siano sensibili alle modulazioni di altre bande di frequenza, oltre alla theta (Gratton et al., 2018). Ad esempio, l'attività delle onde gamma, aventi una frequenza maggiore di 30 Hz, aumenta in relazione al mantenimento delle informazioni in Memoria di Lavoro (Jokisch & Jensen, 2007). Inoltre, la soppressione dell'attività delle onde alpha, aventi frequenza compresa tra gli 8 e i 13 Hz, è associata al commettere errori (Carp & Compton, 2009), e rappresenta l'elaborazione delle informazioni in Memoria di Lavoro al fine di un recupero futuro (Jensen et al., 2002). Infine, l'attività alpha registrata posteriormente (Mansfield et al., 2012), l'attività theta (Cooper et al., 2015), e l'attività beta registrata sugli elettrodi centrali (Gladwin et al.,

2006), sono associate alla preparazione anticipatoria nel passare da un compito all'altro nei paradigmi di flessibilità mentale (*task-switching*).

5. Il Compito di Stroop

Il compito di Stroop (1935) è uno dei paradigmi sperimentali maggiormente utilizzati in psicologia cognitiva, ed è stato definito come "il Gold Standard delle misure attentive" (Macleod, 2002, pag. 12). Nella sua versione originale, chiamata Stroop parola-colore, ai partecipanti vengono presentate delle parole colore che possono essere scritte con un inchiostro di colore uguale o diverso rispetto alla parola in sé, e devono identificare l'inchiostro con cui è scritta la parola tralasciando il significato della parola stessa (Stroop, 1935). In altre parole, l'inchiostro con il quale è presentata la parola, e la parola stessa possono coincidere (prova congruente, e.g. "VERDE" scritta in verde), o no (prova incongruente, e.g. "VERDE" scritta in blu) (MacLeod, 1991). L'effetto di interferenza di Stroop si riferisce a un declino molto robusto della performance nelle prove incongruenti rispetto a quelle congruenti, dovuto al conflitto tra il processo di lettura e quello di denominazione del colore dell'inchiostro (MacLeod, 1991; Stroop, 1935). Per prevalere sulla tendenza a leggere la parola piuttosto che denominare il colore dell'inchiostro, è necessario regolare i propri pensieri e le proprie azioni in accordo con degli obiettivi comportamentali mantenuti internamente (Braver, 2012). In altre parole, è necessaria l'attivazione di una qualche forma di controllo cognitivo (C. Cohen et al., 1990). Per questo motivo, il compito di Stroop è uno tra i paradigmi sperimentali più utilizzati per indagare la risoluzione dell'interferenza e del conflitto (Gratton et al., 2018; Nee et al., 2007).

Storicamente, ci sono stati numerosi tentativi di spiegazione della natura dell'interferenza sottostante all'effetto Stroop, ed essi possono essere divisi in due categorie (MacLeod, 2016).

La prima di queste fa riferimento al concetto di automaticità. Il processo di lettura è un processo automatico (Cattell, 1886), e, pertanto, è involontario, inconscio, incontrollato, e veloce (Moors & De Houwer, 2006). Questo determina la difficoltà da parte dei partecipanti a denominare l'inchiostro ignorando la parola (MacLeod, 2016). Il diverso grado di automaticità dei processi di lettura di stimoli

verbali e di denominazione di un colore determina l'effetto di asimmetria proprio del compito di Stroop, che consiste nel fatto che le parole irrilevanti interferiscono con la denominazione dell'inchiostro, mentre gli inchiostri irrilevanti hanno un effetto di interferenza minore sulla lettura della parola (MacLeod, 1991).

La seconda spiegazione fa riferimento alla velocità di elaborazione delle informazioni (MacLeod, 2016). I processi di elaborazione veloci possono avere un'influenza sui processi più lenti, ma non è vero il contrario (Dyer, 1973). Dunque, dal momento che, durante un compito di Stroop, le parole vengono lette più velocemente di quanto non si possa riconoscere e denominare il colore di un inchiostro, quando il compito è di denominare l'inchiostro ignorando la parola, viene suscitato un conflitto (MacLeod, 2016).

Alternativamente, è stato ipotizzato che l'effetto Stroop possa essere meglio spiegato in termini di interferenza in diverse fasi, sia a livello di elaborazione dello stimolo che di selezione della risposta (Zhang & Kornblum, 1998). Infatti, è stato dimostrato come sia il conflitto tra due stimoli o tra due caratteristiche dello stesso stimolo (S-S), sia il conflitto tra stimolo e risposta (S-R), contribuiscano indipendentemente l'uno dall'altro all'effetto Stroop. I due tipi di conflitti, S-S e S-R, sono stati implementati nel modello di sovrapposizione dimensionale di Kornblum (1992; 1999), il quale ha delineato i requisiti da soddisfare perché un compito possa essere definito "di Stroop". Il concetto di sovrapposizione dimensionale indica il grado di somiglianza tra due configurazioni di items, e può essere osservato nelle configurazioni dello stimolo e della risposta, in quelle di due stimoli, o in entrambe contemporaneamente (Kornblum et al., 1999). La sovrapposizione dimensionale non riguarda tanto la somiglianza degli attributi fisici, quanto piuttosto la somiglianza percettiva, strutturale o concettuale (Kornblum et al., 1999). Un altro elemento fondamentale del modello di Kornblum (1999) è il concetto di rilevanza dimensionale, definito come il grado in cui le caratteristiche dello stimolo sono informative della risposta richiesta. In particolare, le caratteristiche dello stimolo sono definite rilevanti quando sono informative della risposta richiesta, e irrilevanti quando non lo sono (Kornblum et al., 1999). Combinando la sovrapposizione e la rilevanza dimensionale, l'autore ha costruito una tassonomia per classificare le tipologie di compito lungo otto livelli di sovrapposizione dimensionale crescente (Kornblum, 1992). I compiti facenti parte del primo livello sono caratterizzati dalla completa assenza di sovrapposizione dimensionale, mentre quelli che fanno parte dell'ottavo livello sono caratterizzati da una sovrapposizione dimensionale presente in tutti e tre le dimensioni del compito, ovvero lo stimolo rilevante, quello irrilevante, e la risposta (Kornblum, 1992). Il compito di Stroop parola-colore rappresenta un esempio di compito di ottavo livello secondo la tassonomia di Kornblum, in quanto è presente una sovrapposizione dimensionale su tre dimensioni: tra lo stimolo rilevante e la risposta, tra lo stimolo irrilevante e la risposta, e tra lo stimolo rilevante e quello irrilevante (Kornblum, 1992; Kornblum et al., 1999).

Nel corso degli anni sono state proposte molte versioni alternative del compito (MacLeod, 2016). Una di queste è il compito di Stroop immagine-parola, che prevede la presentazione di una parola sovraimposta ad un'immagine, e la richiesta è quella di denominare quanto rappresentato dall'immagine ignorando la parola (Rosinski et al., 1975). Rosinski e collaboratori (1975) hanno dimostrato che una parola incongruente sovraimposta ad un'immagine causa una robusta interferenza nel denominare quanto rappresentato dall'immagine, mentre un'immagine incongruente ha un effetto di interferenza minore sulla lettura della parola, il che rappresenta un'asimmetria analoga a quella riscontrata nel compito di Stroop classico. Uno dei maggiori vantaggi del compito di Stroop immagine-parola è la maggiore flessibilità nel permettere un maggior numero di manipolazioni sperimentali, soprattutto nel dominio semantico (MacLeod, 1991). Ad esempio, aumentando la somiglianza semantica tra la parola e l'immagine, aumenta l'interferenza nella denominazione di quanto rappresentato dalla figura (Golinkoff & Rosinski, 1976). Tuttavia, questo compito non è privo di criticità. Infatti, sebbene la manipolazione della somiglianza semantica abbia una conseguenza estremamente robusta sull'interferenza, essa può essere influenzata anche da manipolazioni che riguardano gli aspetti fonemici, grafemici e ortografici (MacLeod, 1991). Pertanto, se queste componenti linguistiche non vengono prese in considerazione durante la progettazione di un compito di Stroop immagine-parola, potrebbero, almeno in parte, influenzare la robustezza dell'effetto Stroop (Viviani et al., in prep.).

La richiesta di controllo cognitivo all'interno del compito di Stroop può essere manipolata variando la proporzione di prove congruenti all'interno del compito (proportion congruency, PC) (Logan & Zbrodoff, 1979). In particolare, in condizioni con alta PC il controllo cognitivo è poco richiesto, in quanto leggere la parola sullo schermo porta a dare la risposta corretta nella maggior parte delle prove, mentre, al contrario, in condizioni con bassa PC il controllo cognitivo è necessario in maniera consistente per fare fronte all'interferenza in cui ci si imbatte nella maggior parte delle prove (Gonthier et al., 2016). La PC può essere manipolata a livello di blocco (list-wise proportion congruency, LWPC) o a livello di singolo item (Item-specific proportion congruency, ISPC) (Gonthier et al., 2016). La manipolazione a livello di blocco riflette l'azione del controllo proattivo (Bugg, 2012), e si traduce in una diminuzione significativa dell'effetto Stroop in condizioni in cui la maggior parte delle prove all'interno di un blocco sono incongruenti, dovuta all'implementazione del controllo cognitivo in forma globale, in modo tale da orientare l'attenzione lontano dalla dimensione irrilevante per il compito (Bugg, 2014; Logan & Zbrodoff, 1979). Analogamente, la manipolazione a livello di item riflette il meccanismo di controllo reattivo (Bugg, 2012), e si riferisce a una riduzione dell'effetto Stroop per quegli items che sono per lo più incongruenti, dovuta a un meccanismo di controllo che si attiva selettivamente in risposta a un item associato ad alti livelli di interferenza, e che necessita dunque di alti livelli di controllo (Bugg & Hutchison, 2013). Una spiegazione alternativa all'effetto derivante dalla manipolazione a livello di item è fornita dalla corrente associazionista (Schmidt & Besner, 2008; Shanks, 2007). In particolare, secondo l'ipotesi della contingenza, i partecipanti apprendono in maniera implicita le relazioni tra gli stimolo irrilevanti per il compito e le risposte ad essi associate (Schmidt & Besner, 2008). In questo modo si possono individuare due tipi diversi di prove: le prove ad alta contingenza, dove lo stimolo predice la risposta corretta (e.g., la parola BLU presentata la maggior parte delle volte con l'inchiostro blu), e le prove a bassa contingenza, in cui lo stimolo predice la risposta scorretta (e.g., la parola BLU scritta con

l'inchiostro verde) (Schmidt & Besner, 2008). In relazione al compito di Stroop, le prove ad alta contingenza, in cui la risposta prevista dai partecipanti è corretta, provocano una facilitazione a livello dei tempi di risposta (Schmidt, 2013; Schmidt & Besner, 2008).

6. Interazione tra controllo cognitivo ed emozioni

I modelli più recenti definiscono le emozioni come risposte, dotate di valenza positiva o negativa, a stimoli esterni o a rappresentazioni mentali interne, che sono accompagnate da cambiamenti nell'attivazione fisiologica, nelle espressioni facciali, nel comportamento, e nell'esperienza soggettiva che esse comportano (Barrett, 2006; Gross & Feldman Barrett, 2011). Secondo la core affect theory (Russell, 2003), tutte le emozioni vengono definite in termini di valenza e di arousal. La valenza si riferisce alla piacevolezza o spiacevolezza di un particolare stato affettivo, e risulta in un comportamento di evitamento o di avvicinamento, mentre l'arousal si riferisce al grado di attivazione conseguente a uno stato affettivo (Imbir et al., 2020; Lazarus, 1991; Russell, 2003). La valenza e l'arousal sono due dimensioni indipendenti e ortogonali, e ciascuna emozione può essere spiegata in termini di questi due fattori (Imbir et al., 2020; Russell, 2003). Sebbene la teoria originale postulasse la completa indipendenza tra arousal e valenza (Russell, 2003), ricerche successive hanno dimostrato come queste due dimensioni seguano una relazione quadratica (Imbir, 2016), per cui stimoli emotivi a valenza negativa o positiva risultano più attivanti rispetto a stimoli a valenza neutra. Negli ultimi anni, la relazione tra cognizione ed emozioni è stato un argomento di particolare interesse per le neuroscienze cognitive e cliniche (Hart et al., 2010). Infatti, prendere decisioni in condizioni di stress emotivo richiede un bilanciamento tra il mantenimento delle informazioni rilevanti al raggiungimento dell'obiettivo (i.e. il controllo cognitivo), e l'orientamento verso le informazioni salienti all'interno dell'ambiente circostante (Schwarz, 2000). La maggior parte delle teorie contemporanee vedono la cognizione e le emozioni come interagenti ed integrate tra loro, solo minimamente scomponibili, e sprovviste di una chiara demarcazione all'interno del cervello (Pessoa, 2008). A livello anatomico, l'interazione tra cognizione ed emozioni riflette l'equilibrio tra due sistemi neurali: il Sistema di Elaborazione Affettivo Ventrale (Ventral Affective Processing System, VAPS), e il Sistema di Controllo Esecutivo Dorsale (Dorsal Executive Control System, DECS) (Dolcos, 2006). In particolare, gli stimoli emotivamente salienti vengono elaborati da regioni comprese nel VAPS, come ad esempio l'amigdala, la corteccia orbitofrontale e la corteccia prefrontale mediale (Davidson & Irwin, 1999; Phan et al., 2002). Al contrario, il DECS include la corteccia prefrontrale dorsolaterale e la corteccia parietale laterale, che sono fondamentali nel mantenimento attivo delle informazioni rilevanti per il compito (Smith & Jonides, 1999). Questi due sistemi sono altamente integrati l'uno con l'altro (Hart et al., 2010). Ad esempio, i processi di attenzione selettiva sono potenziati dalla presenza di stimoli emotivamente significativi (Vuilleumier et al., 2004), e, analogamente, l'elaborazione di stimoli emotivi può essere modulata attraverso una strategia di rivalutazione cognitiva volta a far diminuire il loro impatto emotivo (Beauregard et al., 2001). Un'ulteriore evidenza a favore dell'integrazione a livello neurale di cognizione ed emozioni è fornita dalla Corteccia Cingolata Anteriore dorsale (dACC). Infatti, questa regione si attiva non solo in risposta alla detezione del conflitto e agli errori commessi (Botvinick et al., 2001; Dignath et al., 2020; Holroyd & Umemoto, 2016), ma mostra una maggiore attivazione anche durante l'elaborazione di informazioni emotive, come ad esempio sentimenti negativi (Kober et al., 2008), dolore (Rainville et al., 1997), e stress sociale (Shackman et al., 2011). Un'altra prova dell'integrazione tra i due sistemi viene dall'implementazione del controllo cognitivo da parte di una persona, che viene altamente modulata dallo stato affettivo in cui essa si trova (Botvinick et al., 2001). Ad esempio, numerosi studi hanno dimostrato come deficit nell'implementazione del controllo cognitivo siano collegati a circuiti neurali compromessi a causa di stati depressivi (Siegle et al., 2004).

Un modello di interazione tra controllo cognitivo ed emozioni è quello di competizione duale (Pessoa, 2009). Secondo questo modello, il controllo cognitivo è influenzato dalla competizione percettiva derivante dagli stimoli carichi emotivamente, i quali consumano parte delle risorse cognitive che altrimenti verrebbero usate per esercitare controllo (Pessoa, 2009). Inoltre, la stessa elaborazione percettiva degli stimoli emotivi viene influenzata dal contenuto di questi ultimi (Pessoa, 2009). Ne

deriva che, se lo stimolo emotivo è rilevante per l'esecuzione del compito, la performance comportamentale subirà un miglioramento, dal momento che il contenuto emotivo dello stimolo potenzia le rappresentazioni sensoriali dello stimolo stesso, permettendo un maggiore allocamento di risorse per l'elaborazione (Pessoa, 2009). Al contrario, se lo stimolo emotivo è irrilevante per l'esecuzione del compito, la performance comportamentale subirà un declino, dipendentemente dal livello di arousal suscitato dallo stimolo carico emotivamente (Pessoa, 2009).

Più recentemente, è stata sviluppata l'ipotesi del segnalamento affettivo (Affective Signaling Hypothesis) (Dignath et al., 2020). Questa teoria si basa sull'assunto per cui il conflitto e gli errori elicitino una reazione affettiva negativa (Dignath et al. 2020). Pertanto, il monitoraggio della performance non registra esclusivamente l'occorrenza di conflitti ed errori, ma anche le reazioni affettive ad essi associate, le quali elicitano i cambiamenti nell'adattamento del controllo e del focus attentivo, al fine di attenuare l'effetto dei conflitti e degli errori futuri (Dignath et al., 2020; Dreisbach & Fischer, 2015). Ci sono svariate evidenze, provenienti da paradigmi di priming affettivo (Fazio et al., 1986), e da paradigmi di disattribuzione affettiva (Payne et al., 2005), sulla natura intrinsecamente avversiva del conflitto (Dignath et al., 2020). Il primo tipo di procedura prevede la presentazione di uno stimolo prime prima di uno stimolo target a valenza positiva o negativa, e i partecipanti devono categorizzare la valenza del target il più accuratamente e il più velocemente possibile (Fazio et al., 1986). È stato dimostrato come le risposte per i target a valenza negativa fossero più accurate e più veloci quando il target veniva preceduto da uno stimolo *prime* incongruente piuttosto che congruente, sia in compiti di Stroop (Dreisbach & Fischer, 2015), che in compiti di *flanker* (Ivanchei et al., 2019). Risultati analoghi sono stati ottenuti con i paradigmi di disattribuzione affettiva, i quali consistono nella presentazione di uno stimolo prime, seguito da uno stimolo target a valenza neutra (Payne et al., 2005). In questo tipo di compito, i partecipanti devono valutare la valenza dello stimolo target, ed è stato dimostrato come esso venga valutato più negativamente quando è preceduto da un prime che suscita conflitto (Fritz & Dreisbach, 2013). Dunque, valutare il conflitto come negativo innesca una motivazione all'evitamento, riflettendo il desiderio di ridurre questa esperienza avversiva (Botvinick, 2007; Inzlicht et al., 2015). Di conseguenza, gli aggiustamenti del controllo cognitivo seguenti la detezione del conflitto possono essere considerati come una risposta di regolazione emotiva adattiva, con la finalità di mantenere un'omeostasi positiva (Saunders et al., 2015b). In altre parole, l'esperienza di conflitto viene considerata un'emozione fondamentale, in quanto viene elicitato dal paradigma sperimentale stesso, e si oppone alle emozioni incidentali, le quali sono invece elicitate da manipolazioni sperimentali (Inzlicht et al., 2015).

Altri modelli propongono l'arousal derivante dal conflitto, piuttosto che la valenza negativa di quest'ultimo, come principale causa degli aggiustamenti del controllo cognitivo. La diretta conseguenza di questa associazione risiede nel fatto che, se è la valenza ad avere il ruolo preponderante nella modulazione dell'azione del controllo cognitivo, allora l'adattamento al conflitto sarà differente a seconda della valenza positiva, negativa, o neutra, con un maggiore adattamento nella condizione a valenza negativa (Kar et al., 2018; Zeng et al., 2017). Al contrario, se è l'arousal a modulare l'azione del controllo cognitivo, allora l'adattamento al conflitto sarà simile per stimoli a valenza positiva e negativa (Kanske & Kotz, 2011; Zeng et al., 2017). Verguts e Notebaert (2009) hanno proposto un modello di adattamento attraverso legame (adaptation by binding), per cui il conflitto a livello di risposta elicitato dalle prove incongruenti innesca una risposta di arousal che interagisce con l'apprendimento associativo in corso, influenzando il fissaggio delle rappresentazioni delle informazioni rilevanti per il compito, e causando l'adattamento al conflitto. In altre parole, stimoli emotivi che suscitano alti livelli di arousal rinforzano la formazione di rappresentazioni delle informazioni rilevanti per il compito, e favoriscono un effetto di adattamento al conflitto più robusto (Verguts & Notebaert, 2009).

Infine, ci sono svariate evidenze, provenienti principalmente da studi fisiologici, sull'effetto di attivazione causato dal conflitto (Dignath et al., 2020). Ad esempio, la risposta di conduttanza cutanea aumenta in presenza di conflitto durante compiti di Stroop (Kobayashi et al., 2007; Naccache et al., 2005; Renaud & Blondin, 1997). Analogamente, molti studi hanno riportato un aumento del diametro

pupillare in prove incongruenti rispetto alle congruenti in compiti di Stroop (van der Wel & van Steenbergen, 2018).

7. Il compito di Stroop Emotivo

Uno dei metodi più utilizzati in letteratura per esaminare l'interazione tra controllo cognitivo ed emozioni è il compito di Stroop emotivo (Melcher et al., 2011). È possibile individuare almeno tre diversi tipi di compito di Stroop emotivo (Song et al., 2017). Il primo tipo è il compito di Stroop emotivo parola-colore, che consiste nella presentazione di alcune parole, cariche emotivamente o neutre, ai partecipanti, i quali devono denominare il colore dell'inchiostro con cui le parole sono scritte (McKenna, 1986). Questo compito è nato con l'intento di esplorare il bias attentivo nei confronti di stimoli emotivi (Kappes & Bermeitinger, 2016), e si basa sull'assunzione che il contenuto emotivo della parola interferisce con la denominazione dell'inchiostro con cui essa è scritta, causando dunque dei tempi di risposta più alti nel nominare l'inchiostro di parole emotive rispetto a quello di parole neutre (Williams et al., 1996). Questo tipo di Stroop emotivo, tuttavia, non valuta direttamente l'interferenza dell'elaborazione emotiva sul controllo cognitivo, ma piuttosto l'abilità degli stimoli emotivi di catturare l'attenzione dal compito principale (Etkin et al., 2006). Il secondo tipo di compito di Stroop emotivo è la variante espressione facciale-parola, la quale valuta in maniera più diretta gli effetti del conflitto emotivo (Etkin et al., 2006; Song et al., 2017). Questa variante consiste nella presentazione di parole a valenza positiva o negativa sovraimposte a immagini di espressioni facciali, anch'esse positive o negative, e i partecipanti hanno il compito di identificare l'espressione facciale ignorando la parola carica emotivamente o viceversa (Etkin et al., 2006). Dunque, questo tipo di compito aggiunge, rispetto al compito di Stroop emotivo parola-colore, un conflitto semantico che rende l'interferenza emotiva più intensa (Etkin et al., 2006). Infine, il terzo tipo di compito di Stroop emotivo è quello che consiste nella presentazione di un prime carico emotivamente prima di un compito di Stroop classico, introducendo anch'esso un conflitto semantico rispetto al compito di Stroop emotivo parola-colore (Hart et al., 2010; MacLeod, 1991).

Per quanto riguarda la robustezza dell'effetto Stroop elicitato da questi tipi di paradigmi, non è presente consenso da parte degli accademici, soprattutto quando riguarda i soggetti sani (Williams et al., 1996). Infatti, in una meta-analisi, (Phaf & Kan, 2007) hanno concluso che gli stimoli emotivi generalmente falliscono nell'inficiare la performance di soggetti adulti sani al compito di Stroop emotivo. Al contrario, una meta-analisi condotta da Epp e collaboratori (2012), ha rilevato un effetto Stroop molto robusto in popolazioni cliniche affette da Disturbo Depressivo Maggiore. L'inconsistenza dei risultati riscontrata nel compito di Stroop emotivo potrebbe essere un indice della scarsa validità test-retest del paradigma (Eide et al., 2002). Infatti, è stata dimostrata una bassa validità test-retest per le differenze nei tempi di risposta nelle condizioni congruenti e incongruenti nel compito di Stroop emotivo (Kindt et al., 1996; Siegrist, 1997). Oltre alla robustezza dei risultati per sè, manca tuttora il consenso sul ruolo della valenza e dell'arousal degli stimoli emotivi sull'implementazione del controllo cognitivo (Schimmack & Derryberry, 2005). In un compito di Stroop parola-colore, è stato più volte verificato un rallentamento dei tempi di risposta a parole negative rispetto a quelle positive (McKenna & Sharma, 1995; Pratto & John, 1991; Sharma & McKenna, 2001), e gli autori hanno interpretato il risultato come un indicatore dell'elaborazione automatica degli stimoli negativi, in quanto maggiormente significativi per l'individuo (Pratto & John, 1991). Tuttavia, non c'è altrettanto accordo sull'effetto di stimoli emotivi a valenza positiva sull'implementazione del controllo cognitivo (Koven et al., 2003; Pratto & John, 1991). Altri studi, invece, hanno riportato un effetto principale dell'arousal sull'implementazione del controllo cognitivo, indipendentemente dalla valenza positiva o negativa dello stimolo emotivo (Schimmack & Derryberry, 2005), risultato supportato dal fatto che sono stati registrati dei tempi di fissazione più lunghi per immagini ad alto *arousal*, sia a valenza positiva che a valenza negativa (Lang et al., 1993). Al di là dell'inconsistenza dei risultati ottenuti con il compito di Stroop emotivo, questo paradigma non è privo di pecche metodologiche. Infatti, considerando come quadro teorico la tassonomia proposta da Kornblum (1992), il compito di Stroop emotivo nella sua versione parola-colore viola uno degli assunti che caratterizzano il modello, ovvero l'assenza di relazione semantica tra la dimensione rilevante e la dimensione irrilevante dello stimolo (Viviani et al., in prep.), il che implica la mancanza di una sovrapposizione stimolo-stimolo (S-S). Per quanto riguarda le varianti immagine-colore e quella che fa uso di stimoli *prime* emotivi, esse sono particolarmente sensibili ad aspetti fonemici, grafemici, e ortografici (MacLeod, 1991), i quali possono influenzare la robustezza dell'effetto Stroop (Viviani et al., in prep.).

8. Il compito di Stroop spaziale

Queste criticità metodologiche, tuttavia, possono venire risolte tramite l'utilizzo di un compito di Stroop spaziale (Viviani et al., in prep.), il quale esamina l'interferenza prodotta da informazioni spaziali non rilevanti per l'esecuzione del compito (Lu & Proctor, 1995). Questo tipo di paradigma utilizza stimoli verbali o simbolici per combinare un attributo semantico che indica una posizione spaziale, con un attributo che indica una posizione fisica, creando condizioni congruenti o incongruenti dipendentemente dalla corrispondenza di questi due attributi (Lu & Proctor, 1995). Un compito di Stroop spaziale che fa utilizzo di parole-posizione, come ad esempio "sinistra", non può considerarsi puramente spaziale e, dal momento che le posizioni spaziali e le parole vengono processate in maniera automatica e abituale (Lu & Proctor, 1995), risulta improbabile il verificarsi dell'effetto di asimmetria tipico del compito di Stroop classico (MacLeod, 1992). Tuttavia, è possibile progettare un compito di Stroop puramente spaziale, sostituendo le parole-posizione con stimoli simbolici non verbali che hanno delle caratteristiche semantiche spaziali, come ad esempio delle frecce (Viviani et al., in prep.). Un esempio di compito di Stroop puramente spaziale è quello utilizzato da Puccioni e Vallesi (2012), in cui una freccia che punta in quattro possibili direzioni (nord-est, nord-ovest, sud-est, sud-ovest), può apparire in quattro posizioni all'interno dello schermo (in alto e in basso a sinistra, e in alto e in basso a destra), e i partecipanti hanno il compito di rispondere alla direzione indicata dalla freccia ignorando la sua posizione sullo schermo, premendo il tasto di risposta corrispondente (Puccioni & Vallesi, 2012). Di fondamentale importanza è la disposizione dei tasti di risposta, che è compatibile sia con le possibili direzioni indicate dalle frecce, sia con le loro

possibili posizioni sullo schermo (Puccioni & Vallesi, 2012). In questo modo, secondo la tassonomia di Kornblum (1992), il compito si classifica come un compito di massimo grado di sovrapposizione dimensionale, in quanto sono presenti tutte e tre le sovrapposizioni necessarie (Viviani et al., in prep.). Infatti, è presente una sovrapposizione tra la caratteristica dello stimolo rilevante per i compito (la direzione) e quella irrilevante (la posizione sullo schermo), tra la caratteristica rilevante dello stimolo e il tasto di risposta, e tra la caratteristica irrilevante dello stimolo e il tasto di risposta, e, vista la natura puramente spaziale degli stimoli, questo tipo di compito favorisce un'investigazione del controllo cognitivo molto più generale, andando a minimizzare potenziali variabili di confondimento (Viviani et al., in prep.).

9. Obiettivi dello studio

Lo scopo generale di questo studio era quello di esplorare, approfittando dell'alta risoluzione temporale offerta della metodologia elettroencefalografica, a quale livello del controllo cognitivo avviene la risoluzione dell'interferenza da parte di stimoli emotivi.

Visti i problemi metodologici dei compiti di Stroop emotivo che fanno uso di stimoli verbali discussi sopra, in aggiunta al fatto che la perturbazione del controllo cognitivo per opera di distrattori emotivi è stata messa in discussione (Phaf & Kan, 2007; Phan et al., 2002), abbiamo deciso di utilizzare un compito di Stroop spaziale perifoveale adattato con stimoli *prime* emotivi e con cambiamenti del contesto probabilistico, manipolando la richiesta di controllo cognitivo variando la proporzione di prove congruenti sia a livello di blocco che a livello di singolo *item*. L'assunto alla base di questa manipolazione risiede nel fatto che, a una maggiore probabilità di incorrere in una prova congruente all'interno di uno stesso blocco (LWPC), minore sarà il bisogno di implementazione di una strategia di controllo proattivo. Inoltre, a una maggiore probabilità di osservare una prova congruente per una specifica posizione spaziale dello stimolo target (ISPC), minore sarà il grado di controllo reattivo esercitato.

Abbiamo considerato la grandezza dell'effetto Stroop (ovvero la differenza tra i tempi di risposta associati alle prove incongruenti e quelli associati alle prove congruenti), come un indicatore di aumentato controllo cognitivo. Abbiamo ipotizzato che le manipolazioni della proporzione di prove congruenti a livello di blocco e a livello di singolo *item* causassero una riduzione dell'effetto Stroop. Infatti, al diminuire della probabilità di osservare una prova congruente, dovrebbe, come spiegato in precedenza, aumentare il grado di controllo proattivo esercitato dal partecipante, risultando in una diminuzione dell'effetto Stroop, dal momento che si dovrebbero abbassare i tempi di risposta alle prove incongruenti. Inoltre, abbiamo ipotizzato un effetto maggiore dei *primes* a valenza negativa sull'effetto Stroop nei blocchi caratterizzati da bassa proporzione di prove congruenti (basso controllo proattivo). Infatti, in accordo con il modello di competizione duale (Pessoa, 2009), la presenza di distrattori emotivi compete con l'esecuzione del compito nell'allocamento di risorse cognitive. Ne deriva che in condizioni di basso controllo proattivo, il sistema cognitivo dovrebbe essere più sensibile all'interferenza elicitata da stimoli *prime* a valenza negativa, risultando in maggiori tempi di risposta sia per le prove congruenti che per quelle incongruenti e, dunque, in un maggiore effetto Stroop.

Capitolo 2

Metodi e Procedura Sperimentale

1. Partecipanti

Allo studio hanno preso parte 30 partecipanti volontari [23 donne, età media = 23.53 anni (DS = 2.01, range = 20-30). Tutti i partecipanti hanno dichiarato di non soffrire (o aver sofferto) di disturbi neurologici e/o psichiatrici e di non fare uso di farmaci che possano influire sul funzionamento cognitivo. I partecipanti hanno dato il loro consenso informato alla partecipazione allo studio, che è stato condotto in linea con gli standard etici della Dichiarazione di Helsinki del 2013. Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico per la Ricerca Psicologica Area 17 dell'Università degli Studi di Padova.

2. Procedura e materiali

Il compito sperimentale era una versione "perifoveale" del compito di Stroop spaziale utilizzato da Puccioni e Vallesi (2012), adattata con *primes* emotivi e cambiamenti nel contesto probabilistico. L'esperimento è stato implementato in MATLAB (The MathWorks, Inc., Natick, Massachussets, United States), utilizzando PSYCHOPHYSICS TOOLBOX (Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007). Gli stimoli sono stati presentati a schermo intero su uno sfondo grigio (RGB: 128, 128, 128). All'inizio di ciascuna prova (figura 1), i partecipanti dovevano fissare una croce di fissazione nera di risoluzione 30 x 30 pixels, inserita all'interno di un contorno parziale di un quadrato nero di risoluzione 94 x 94 pixels. Dopo 1200 ms la croce di fissazione veniva sostituita da uno stimolo emotivo disposto al centro dello schermo. Gli stimoli emotivi sono stati selezionati dal set di espressioni facciali NimStim (Tottenham et al., 2009), e consistevano in venti fotografie rappresentati espressioni emotive di tristezza, ovvero un'emozione a valenza negativa, e le corrispondenti venti espressioni a valenza neutra. Sono state selezionate le immagini con la più alta validità e affidabilità *test-retest* riportate nello studio originale, ed è stato garantito il bilanciamento secondo il genere

(selezionando 10 attori maschili e 10 femminili), includendo tutti i gruppi etnici disponibili (Caucasici, Afro-Americani, Asio-Americani, Latino-Americani). Dopo 600 ms, lo stimolo prime emotivo veniva sostituito dallo stimolo di fissazione. Infine, dopo 400 ms, lo stimolo target appariva all'interno di uno dei quattro angoli generati dallo stimolo di fissazione (in alto e in basso a sinistra, e in alto e in basso a destra). Lo stimolo target consisteva in una freccia rivolta verso una di quattro direzioni possibili (alto a sinistra, basso a sinistra, alto a destra, basso a destra). I partecipanti avevano il compito di indicare la direzione dello stimolo target (ignorando dunque la posizione spaziale di quest'ultimo all'interno del quadrato generato dallo stimolo di fissazione). Pertanto, le prove potevano essere congruenti o incongruenti, dipendentemente dalla corrispondenza o meno tra la direzione indicata dalla freccia, ovvero l'informazione rilevante per l'esecuzione del compito, e la sua posizione spaziale, ovvero l'informazione irrilevante. I partecipanti fornivano le loro risposte premendo quattro tasti di una tastiera da computer, i quali erano spazialmente disposti in maniera tale da assicurare la sovrapposizione dimensionale tra le caratteristiche dello stimolo e la risposta. In particolare, i tasti E, D, O, e K sono stati associati, in modo spazialmente compatibile, con le direzioni in alto a sinistra, in basso a sinistra, in alto a destra e in basso a destra rispettivamente, e dovevano essere premuti con il dito medio della mano sinistra, l'indice della mano sinistra, il dito medio della mano destra e l'indice della mano destra rispettivamente. Lo stimolo target rimaneva sullo schermo per 1300 ms, intervallo massimo concesso al partecipante per la risposta. Infine, una schermata vuota rappresentante l'intervallo *inter-trial* era presentata per 350 ms.

Secondo gli assunti riportanti in introduzione, per manipolare l'impiego sia del controllo proattivo che del controllo reattivo, la probabilità generale di osservare una prova congruente (*List-wise Propotion Congruency*, LWPC), e la probabilità di osservare una prova congruente per una specifica posizione dello stimolo target (*Item specific Proportion Congruency*, ISPC) cambiavano durante il compito.

La progettazione della *trial list* è avvenuta in due fasi. Inizialmente, il compito è stato diviso in sei blocchi, come illustrato nella figura 2.

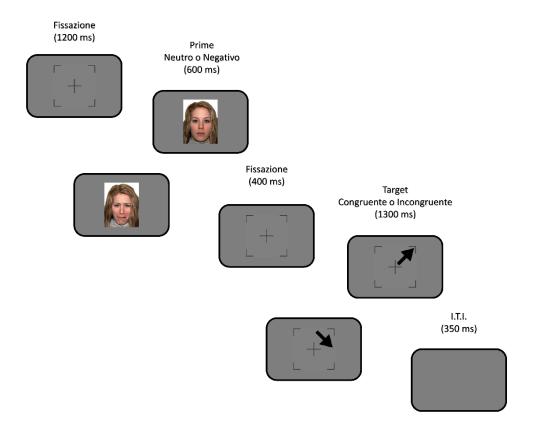


Figura 1 Esempio di una prova

Il numero di prove per ciascuna combinazione della direzione del target e della sua posizione è stato determinato in modo tale da ortogonalizzare la LWPC e la ISPC a livello di blocco, e la probabilità di risposta dato lo stimolo, che da alcuni autori è considerata una misura della contingenza (Schmidt & Besner, 2008; Shanks, 2007). L'ordine delle prove all'interno di ciascuno blocco è stato poi pseudo-randomizzato con l'utilizzo del software *Mix* (van Casteren & Davis, 2006), risultando nella creazione di 1000 *trial lists*. Nella seconda fase, sono state calcolate, per ciascuna *trial list* generata in precedenza, la LWPC e la ISPC a livello di *trial* e la contingenza. Infatti, i partecipanti non sono stati informati della struttura probabilistica del compito, e non era plausibile assumere che la PC della prima prova di un blocco corrispondesse alla PC del blocco stesso. La LWPC e la ISPC a livello di

trial sono state calcolate utilizzando il Filtro Gaussiano Gerarchico (Mathys, 2011), un filtro che utilizza un Bayes variazionale secondo un'approssimazione a campo medio per aggiornare la probabilità di un evento (in questo caso la LWPC e la ISPC) trial dopo trial. Infine, è stata selezionata ed utilizzata in questo studio la trial list con la minore correlazione tra ISPC e la probabilità di risposta data la posizione della freccia, cioè la contingenza (queste due variabili sono infatti spesso confuse tra loro e altamente correlate; vedi Capitolo 1).

Prima dell'inizio del compito, sono state date a ciascun partecipante delle istruzioni generali, facendo particolare attenzione che queste fossero il più semplici e chiare possibili. Ciascun partecipante è stato posizionato a 59 cm dallo schermo. È stato raccomandato di eseguire il compito mantenendo una postura rilassata che consentisse loro di guardare dritti al centro dello schermo, e di mantenere sempre le dita corrispondenti a contatto con i tasti di risposta. Le istruzioni sono state seguite da un blocco di pratica in cui la LWPC e la ISPC erano uguali a 0.5, e durante il quale i partecipanti ricevevano un feedback sulle loro risposte. Le prove di pratica venivano presentate fino a quando i partecipanti non raggiungevano un'accuratezza del 75% entro 16 prove. Durante il compito, ogni 60 prove, veniva data una pausa di 30 s.

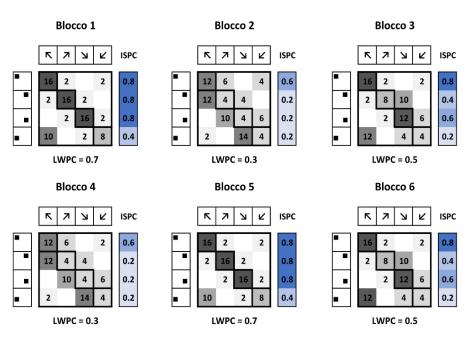


Figura 2 Struttura a blocchi del compito. L'immagine mostra il numero di prove associato alle direzioni indicate dal target e le sue posizioni per ogni blocco (ad esempio, nel Blocco 1 si hanno 10 prove con la freccia che appare in basso a sinistra ma che punta in alto a sinistra; sulla diagonale principale sono indicati il numero di prove congruenti). Per ciascun blocco è indicata anche la proporzione delle prove congruenti al livello di blocco (LWPC), e la proporzione delle prove congruenti specifica per ciascuna posizione del target (ISPC), che è ulteriormente indicata tramite una scala di blu. La scala di grigi indica la probabilità di risposta data una posizione, ovvero la contingenza.

3. Registrazione EEG

Durante lo svolgimento del compito sperimentale, il segnale elettroencefalogrfico (EEG) del partecipante veniva registrato utilizzando degli amplificatori BrainAmp (Brain Products, Monaco, Germania) da 64 elettrodi Ag/AgCl montati su una cuffia elastica (EASYCAP GmbH, Germania), secondo il sistema internazionale 10-10. L'attività elettro-oculografica è stata registrata attraverso un elettrodo posizionato sotto l'occhio destro, ed è stata monitorata anche tramite gli elettrodi sullo scalpo posizionati in prossimità di entrambi gli occhi. Prima della registrazione, l'impedenza è stata controllata ed aggiustata finché non era più bassa di $10k\Omega$. Durante la registrazione, tutti gli elettrodi erano riferiti a FCz, e un elettrodo posizionato su AFz rappresentava l'elettrodo di terra. L'attività EEG è stata digitalizzata con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

Capitolo 3

Analisi dei dati

1. Analisi Comportamentale

Le analisi dei tempi di risposta (RTs) sono state effettuate utilizzando modelli lineari a effetti misti (LMM), con l'impiego della libreria lme4 (Bates et al., 2015) su R (http://www.R-project.org/). I dati relativi alla prima prova del compito e alla prima prova dopo la pausa, assieme a quelli relativi alle prove in cui la risposta al target era sbagliata o mancante (i.e. *error trials*), e a quelli immediatamente successivi ad essi (i.e. *post-error trials*) non sono stati inclusi nelle analisi (percentuale media delle prove escluse = 5.3%, SD = 4.8%). Inoltre, per controllare l'impatto della distribuzione asimmetrica positiva degli RTs, tutte le analisi sono state eseguite sulla trasformazione inversa degli RTs (iRT), calcolata come -1000/RT (Brysbaert & Stevens, 2018).

Abbiamo costruito un LLM che includeva tutti gli effetti sperimentali di interesse assieme a vari predittori potenzialmente confondenti che potevano spiegare la variabilità *trial* per *trial* degli iRTs. In particolare, la parte fissa del modello includeva i seguenti effetti sperimentali di interesse: la congruenza (fattore a due livelli: congruente vs. incongruente; livello di riferimento: congruente), i predittori continui a livello di *trial* LWPC e ISPC, e il prime emotivo (fattore a due livelli: neutro vs. negativo; livello di riferimento: neutro), le interazioni a tre livelli tra Congruenza X LWPC X Emozione e Congruenza X ISPC X Emozione, e le interazioni di livello inferiore ad esse associate. Nella parte fissa del modello sono stati inclusi anche i seguenti predittori confondenti: in accordo con Baayen e Milin (2010), il rank-order di ciascuna prova (Trial) e l'iRT associato alla prova precedente (preRT) sono stati inclusi per controllare la possibile dipendenza tra prove successive (ovvero gli effetti di apprendimento o affaticamento e l'autocorrelazione degli RT rispettivamente); la codifica orizzontale e verticale della risposta (rispettivamente hResp e vResp) sono state incluse per controllare le possibili differenze derivanti, rispettivamente, dalla mano e dal dito utilizzato nella

risposta); la contingenza (PRS), la probabilità della risposta (PR), e la probabilità della posizione del target (PL) sono state incluse come probabilità confondenti di basso livello. La parte *random* del modello includeva effetti *random* crossed tra i partecipanti e le immagini prime. In particolare, il modello includeva intercette random per immagine, e le intercette e *slope random* tra loro correlate per le interazioni Congruenza X LWPC X Emozione e Congruenza X ISPC X Emozione per il partecipante. Tutti i predittori continui sono stati centrati in modo tale da avere media 0, e ridimensionati in modo tale da avere SD = 1, al fine di facilitare la convergenza del modello.

2. Preprocessing EEG

Il *preprocessing* offline del segnale EEG è stato attuato utilizzando uno script MATLAB personalizzato, che includeva le funzioni dell'ambiente EEGLAB (versione 2021.1) e l'algoritmo *FastICA* (Hyvärinen & Oja, 2000).

Prima di procedere con la decomposizione ICA, utilizzata per la rimozione degli artefatti EEG, un filtro passa-banda adoperando un Hamming *windowed* sinc FIR filter con frequenze cut-off di 2 Hz e 40 Hz per i filtri passa-alto e passa-basso rispettivamente, è stato applicato ai dati EEG continui. La frequenza di *cut-off* alta per il filtro passa-alto è stata applicata per rimuovere i *drifts* nelle basse frequenze, al fine di migliorare i risultati dell'ICA (Winkler et al., 2015). Sono stati rimossi manualmente i canali F1 e F2 a causa di un malfunzionamento delle fascette che collegavano la cuffia su cui erano montati gi elettrodi agli amplificatori. Inoltre, è stata utilizzata la funzione *clean_rawdata* per rimuovere i canali rumorosi (channel criterion = 0.8) e i *bursts* (burst criterion = 20 SD) dai dati. Un massimo di 8 canali (media = 2.8, SD = 1.3) sono stati rimossi. Infine, l'algoritmo *FastICA* è stato applicato per ottenere le matrici dei pesi dell'ICA e le matrici sferiche.

L'utilizzo di un *cut-off* alto (2 Hz) per il filtro passa-alto potrebbe attenuare gli effetti degli ERP e introdurre delle distorsioni del segnale (Tanner et al., 2015). Pertanto, dopo aver rimosso i canali rumorosi identificati precedentemente, la soluzione ICA calcolata sui dati filtrati con un filtro passa-alto a 2 Hz è stata applicata ai dati EEG continui filtrati con un filtro passa-alto con un *cut-off* di 0.1

Hz. In seguito, è stato utilizzato il plugin di EEGLAB DIPFIT (Oostenvelt et al., 2003) per la localizzazione dei dipoli delle componenti. L'identificazione e l'esclusione delle componenti ICA artefattuali, come ad esempio i *blink* e movimenti oculari, l'attività muscolare, e i canali mal funzionanti, sono state guidate dal plugin di EEGLAB ICLabel (Pion-Tonachini et al., 2019). Le componenti con meno del 70% di classificazione '*brain*' o che presentavano una varianza residua maggiore del 15% della soluzione del DIPFIT sono state identificate in maniera automatica come da scartare. Prima della rimozione, tutte le componenti sono state ispezionate visivamente. Inoltre, è stata eseguita una interpolazione sferica dei canali rimossi in precedenza; ciascun elettrodo è stato riferito al potenziale medio di tutti gli elettrodi, e il canale FCz è stato aggiunto nuovamente ai dati.

3. Analisi inferenziale EEG

L'analisi del segnale EEG è stata fatta sia *time-locked* allo stimolo prime, sia *time-locked* al target. Entrambe le analisi sono state condotte nella finestra temporale [-0.2 1], con baseline la finestra temporale [-0.2 0].

Il primo livello di analisi (soggetto-specifica) è stato svolto utilizzando il *toolbox* di MATLAB *Unfold* (Ehinger & Dimigen, 2019). Questo *toolbox* permette di eseguire un'analisi di regressione del segnale EEG con un approccio univariato di massa. In altre parole, una regressione del segnale EEG *trial* per *trial* è stata eseguita per ciascun canale e per ciascun *time point* (da 0 a 1000 ms in step di 2 ms; i.e., 500 Hz). Le prove escluse dall'analisi comportamentale sono state escluse anche nell'analisi EEG. Sia per le analisi time-locked al target, sia per quelle time-locked allo stimolo *prime*, le epoche rumorose sono state automaticamente identificate e rigettate tramite quattro funzioni di EEGLAB basate su valori estremi, andamento lineare, improbabilità e kurtosi (Delorme et al., 2007). Le soglie per lo scarto erano: +/- 75 μV per l'identificazione dei valori estremi; pendenza maggiore di 50 μV per il test di andamento lineare; 5 SD (per tutti i singoli canali) e 3 SD (per tutti i canali assieme) sia per il test di kurtosi sia per quello di improbabilità.

Nell'analisi *time-locked* allo stimolo *prime* sono stati stimati tre coefficienti di regressione (beta), uno associato all'effetto dell'emozione, uno alla LWPC, e uno alla loro interazione. Nell'analisi *time-locked* al target sono stati stimati sette coefficienti di regressione associati all'emozione, alla LWPC, alla congruenza, e alle interazioni tra di loro. Per ciascun effetto è stata, dunque, ottenuta una matrice di beta di dimensioni 30 x 64 x 500 (numero di partecipanti X canali X *time points*).

L'analisi di secondo livello è stata svolta tramite l'utilizzo del toolbox MATLAB *ept- threshold-free cluster enhancement* (TFCE) (Mensen & Khatami, 2013). Ogni effetto è stato testato tramite un t-test a un campione contro 0 utilizzando la tecnica del *threshold free cluster enhancement*, seguito da permutazioni (N = 5000) per la correzione dei confronti multipli.

Capitolo 4

Risultati

1. Risultati comportamentali

L'ispezione visiva dei residui del LMM ha mostrato che essi erano distorti. Come suggerito da Baayen e Milin (Baayen & Milin, 2010), le prove con un errore residuo standardizzato superiore a 2.5 DS sono stati considerati *outliers* e rimosse (1.9% delle prove). Il modello è stato, dunque, fittato nuovamente sul nuovo dataset, mostrando una ragionevole vicinanza alla normalità. La tabella 1 mostra i risultati del modello.

Per quanto riguarda gli effetti sperimentali di nostro interesse, abbiamo trovato, come ipotizzato, una interazione significativa tra congruenza e LWPC. Come mostrato nella figura 3a, a una maggiore LWPC (ovvero minore controllo proattivo), corrispondeva un costo maggiore in termini di iRT per i le prove incongruenti. In altre parole, l'effetto Stroop, indicato dalla differenza di pendenza tra prove incongruenti e congruenti, era maggiore al diminuire del controllo cognitivo proattivo impiegato. Circa gli effetti del *prime* emotivo sul controllo cognitivo (figura 3b), abbiamo trovato una interazione significativa tra l'emozione e la LWPC. Come mostrato nella figura, l'effetto di interferenza delle emozioni negative sulla performance dei partecipanti era maggiore quando il grado di controllo proattivo impiegato era minore (alta LWPC) rispetto a quando era maggiore (bassa LWPC).

Tabella 1 Tabella riassuntiva del modello LMM finale

Predittori	Stime	β	р
(Intercetta)	-2,4071	-0,261	< 0.001
Trial	-0,1093	-0,0112	< 0.001
PRS	-0,0543	-0,0136	< 0.001
PL	-0,0767	0,1534	0,017
PR	0,0028	-0,0463	0,811
hResp	-0,0501	-0,0118	< 0.001
vResp	-0,071	-0,0137	< 0.001
preRT	0,05	-0,0113	< 0.001
CON [0]	0,4331	-0,113	< 0.001
Emo [2]	-0,0032	-0,046	0,784
LWPC	-0,0106	-0,0622	0,503
ISPC	0,0056	-0,0677	0,744
CON [0] * Emo [2]	-0,0004	-0,0469	0,976
CON [0] * LWPC	0,0661	-0,0845	0,002
Emo [2] * LWPC	0,0452	-0,0565	0,002
CON [0] * ISPC	0,0125	-0,101	0,627
Emo [2] * ISPC	-0,0213	-0,0404	0,039
(CON [0] * Emo [2]) * LWPC	-0,0264	-0,0807	0,2
(CON [0] * Emo [2]) * ISPC	-0,003	-0,0578	0,838

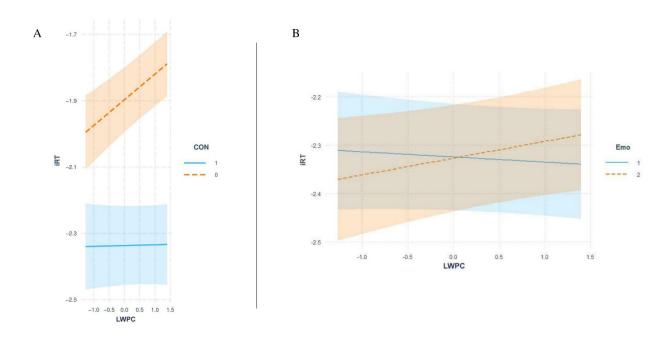


Figura 3 Interazioni a livello comportamentale. (A) Interazione tra emozione e LWPC. In arancione la condizione a valenza negativa, in blu la condizione neutra. (B) Interazione tra congruenza e LWPC. In arancione la condizione incongruente, in blu la condizione congruente.

CON = Congruenza; EMO = Emozione; LWPC = Proporzione di prove congruenti a livello di blocco.

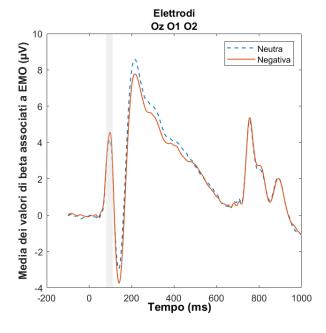
2. Risultati ERP

Analisi time-locked allo stimolo prime. I risultati dell'analisi TFCE hanno mostrato effetti significativi solo per l'emozione (figura 4). In particolare, abbiamo osservato tre effetti significativi (figure 5-7). Una deflessione positiva precoce era presente per gli elettrodi occipito-parietali (P5, P4, P6, P8, PO3, PO7, POz, PO4, PO8, O1) approssimativamente tra 90 e 110 ms. Tra 140 e 200 ms era presente una deflessione positiva lungo gli elettrodi frontali e centro parietali (AF3, AF4, F1, F3, F5, Fz, F2, F4, F6, FC1, FC3, FC5, FCz, FC2, FC4, C1, C3, Cz, C2, C4, CP1, CP3, CPz, CP2, e una flessione negativa lungo gli elettrodi parieto-temporo-occipitali (TP7, TP9, TP8, TP10, P7, P6, P8, CP6, PO7, PO4, PO8, O1, Oz, O2). L'ultimo effetto significativo consisteva in una modulazione negativa tra 270 e 330 ms lungo gli elettrodi centro-frontali (AF3, AF4, F1, F3, Fz, F2, F4, FC3, FCz, FC2, C1, C3).

Analisi time-locked al target. I risultati dell'analisi TFCE hanno mostrato effetti significativi per la congruenza (figura 8) e per l'interazione tra congruenza e LWPC (figura 9). In particolare, per quanto riguarda la congruenza, abbiamo osservato due effetti significativi. Una deflessione positiva (figura 10) era presente lungo gli elettrodi centro-parietali (C1, C3, CP1, CP3, CP2, CP2, CP4, P1, P3, Pz, P2, P4, P6) nell'intervallo compreso tra 250 e 400 ms. Più tardivamente, tra 500 e 1000 ms, abbiamo osservato una modulazione positiva (figura 11) lungo gli elettrodi parieto-occipitali di sinistra (P3, P5, P7, PO3, PO7, O1). Circa l'interazione tra congruenza e LWPC, abbiamo trovato due effetti significativi precoci tra 250-360 ms, uno con deflessione positiva per gli elettrodi fronto-centrali di sinistra (F1, F5, F7, FC3, FC5, C1, C3, C5), e uno con deflessione negativa per gli elettrodi fronto-centrali di destra (FC4, FC6, C6, CP4). Abbiamo anche trovato due effetti significativi tardivi. Il primo consiste in una deflessione positiva tardiva (figura 12) lungo gli elettrodi centro-parietali (C1, C3, Cz, CP1, CP3, CPz, P1, P3, P5, Pz) nell'intervallo compreso tra 500 e 700 ms. Questa componente era accompagnata, nello stesso intervallo temporale, da una modulazione negativa (figura 13) lungo gli elettrodi fronto-centro-laterali e fronto-temporali di destra (FP2, AF4, AF8, F8, FT8, FT10, FC4, FC6).

EMO THE THE COUNTY OF THE COUNTY O 6 4 2 0

Figura 4 Diagramma Raster che mostra gli effetti significativi elicitati dall'emozione (EMO) in accordo con l'analisi TFCE. I rettangoli colorati con colori caldi e freddi indicano gli elettrodi/time points modulati significativamente dai regressori basati sul modello. La barra colore indica i valori t. I rettangoli in verde indicano gli elettrodi/time points che non erano significativamente modulati. Gli elettrodi sono organizzati lungo l'asse y in maniera vagamente topografica (Groppe et al., 2011). Gli elettrodi posizionati sul lato sinistro dello scalpo sono raggruppati in alto, gli elettrodi posizionati in zone centrali sono raggruppati in mezzo, e gli elettrodi sul lato destro sono raggruppati in basso. In questo modo, l'asse y, dall'alto verso il basso, corrisponde agli elettrodi dalle zone anteriori a quelle posteriori.



0

200

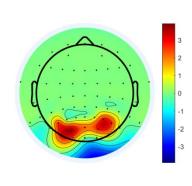
400

600

Tempo (ms)

800

1000

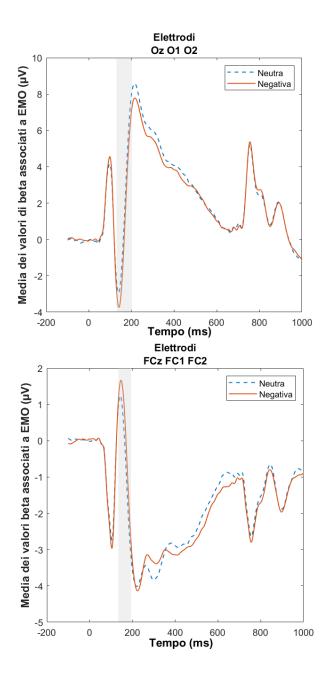


-2

-4

-6

Figura Componente significativamente modulata dall'emozione. Il trace-plot (a sinistra) rappresenta i valori medi di beta associati al parametro EMO mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il topo-plot (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra temporale ombreggiata di grigio nel trace-plot (90-110 ms), rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel trace-plot.



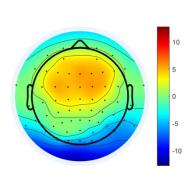
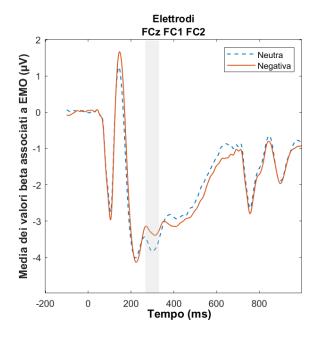


Figura 6 Componenti N170 **VPP** (sotto) (sopra) significativamente modulate dall'emozione. I trace-plots (a sinistra) rappresentano i valori medi di beta associati al parametro EMO mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il topo-plot (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra ombreggiata di temporale grigio nel trace-plot (140-200 che rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel trace-plot.



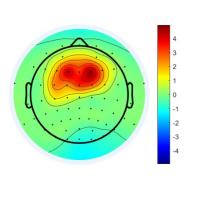


Figura 7 Componente N300 significativamente modulata dall'emozione. Il trace-plot (a sinistra) rappresenta i valori medi di beta associato al parametro EMO mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il topo-plot (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra temporale ombreggiata grigio nel trace-plot (270-330 che ms), rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel trace-plot.

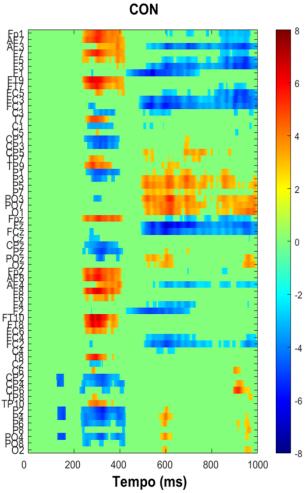


Figura 9 Diagramma Raster che mostra gli effetti significativi elicitati dalla congruenza (CON) in accordo con l'analisi TFCE. I rettangoli colorati con colori caldi e freddi indicano gli points elettrodi/time modulati significativamente dai regressori basati sul modello. La barra colore indica i valori t. I rettangoli in verde indicano elettrodi/time points che non erano significativamente modulati. Gli elettrodi sono organizzati lungo l'asse y in maniera vagamente topografica (Groppe et al., 2011). Gli elettrodi posizionati sul lato sinistro dello scalpo sono raggruppati in alto, gli elettrodi posizionati in zone centrali sono raggruppati in mezzo, e gli elettrodi sul lato destro sono raggruppati in basso. In questo modo, l'asse y, dall'alto verso il basso, corrisponde agli elettrodi dalle zone anteriori a quelle posteriori.

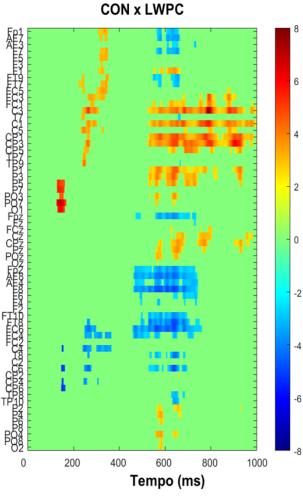


Figura 8 Diagramma Raster che mostra gli effetti significativi elicitati dall'interazione tra congruenza e proporzione di items congruenti livello di blocco a (CONxLWPC) in accordo con l'analisi TFCE. I rettangoli colorati con colori caldi e freddi indicano gli elettrodi/time points modulati significativamente dai regressori basati sul modello. La barra colore indica i valori t. I rettangoli in verde indicano gli elettrodi/time points che non erano significativamente modulati. Gli elettrodi sono organizzati lungo l'asse y in maniera vagamente topografica (Groppe et al., 2011). Gli elettrodi posizionati sul lato sinistro dello scalpo sono raggruppati in alto, gli elettrodi posizionati in zone centrali sono raggruppati in mezzo, e gli elettrodi sul lato destro sono raggruppati in basso. In questo modo, l'asse y, dall'alto verso il basso, corrisponde agli elettrodi dalle zone anteriori a quelle posteriori.

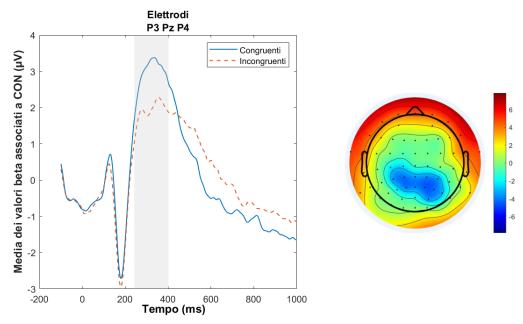


Figura 10 Componente P300 significativamente modulata dalla congruenza. Il *trace-plot* (a sinistra) rappresenta i valori medi di beta associato al parametro CON mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il *topo-plot* (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra temporale ombreggiata di grigio nel *trace-plot* (250-400 ms), che rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel *trace-plot*.

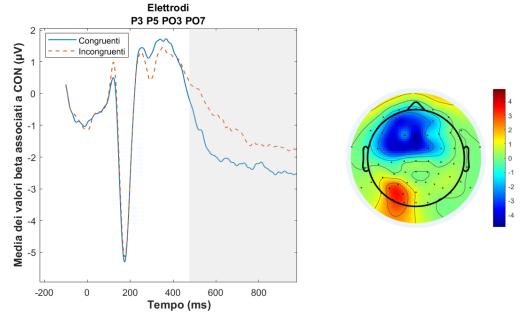


Figura 11 Componente LSP significativamente modulata dalla congruenza. Il *trace-plot* (a sinistra) rappresenta i valori medi di beta associato al parametro CON mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il *topo-plot* (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra temporale ombreggiata di grigio nel *trace-plot* (500-1000 ms), che rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel *trace-plot*.

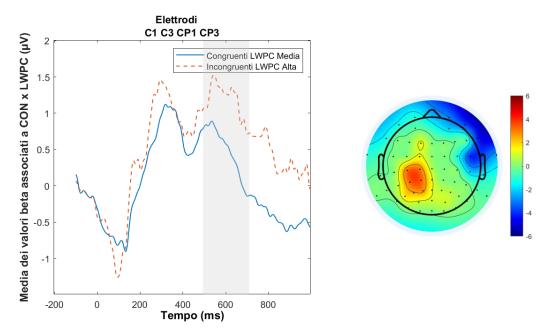


Figura 12 Componente LSP significativamente modulata dall'interazione CONxLWPC. Il *trace-plot* (a sinistra) rappresenta i valori medi di beta associato al parametro CONxLWPC mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il *topo-plot* (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra temporale ombreggiata di grigio nel *trace-plot* (500-700 ms), che rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel *trace-plot*.

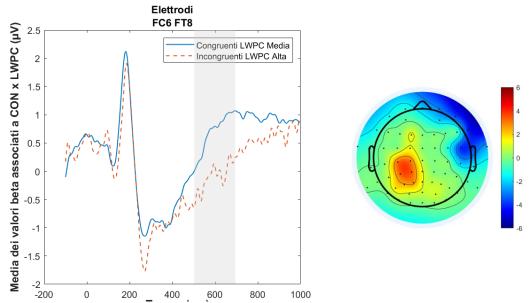


Figura 13 Potenziale sostenuto significativamente modulato dall'interazione CONxLWPC. Il *trace-plot* (a sinistra) rappresenta i valori medi di beta associato al parametro CONxLWPC mediati sugli elettrodi indicati nel titolo. Il *topo-plot* (a destra) mostra i valori t mediati nella finestra temporale ombreggiata di grigio nel *trace-plot* (500-700 ms), che rappresenta l'intervallo di tempo in cui avviene una sovrapposizione significativa tra gli elettrodi indicati nel *trace-plot*.

Capitolo 5

Discussione

Questo studio ha investigato il ruolo di stimoli emotivi a valenza negativa nell'interferire con l'implementazione del controllo cognitivo durante un compito di Stroop spaziale. Infatti, dal momento che manca un consenso tra gli accademici sulla perturbazione del controllo cognitivo per opera di stimoli carichi emotivamente (Phan et al., 2002), abbiamo deciso di esplorare a quale livello di implementazione del controllo cognitivo avviene l'interferenza emotiva. Pertanto, abbiamo impiegato una versione perifoveale del compito di Stroop spaziale utilizzato da Puccioni e Vallesi (2012), adattata con primes emotivi e cambiamenti nel contesto probabilistico. Pertanto abbiamo manipolato la richiesta di controllo cognitivo variando la *Proportion Congruency* (PC), ovvero la proporzione di prove congruenti sia a livello di blocco (LWPC) che a livello di singolo item (ISPC). Infatti si ritiene che una maggiore probabilità di imbattersi in una prova congruente all'interno di uno stesso blocco sia associata a una minore necessità di una strategia di controllo proattivo (Gonthier et al., 2016). Analogamente, una maggiore probabilità di osservare una prova congruente per ciascuna posizione spaziale, minore è la strategia di controllo reattivo esercitata (Gonthier et al., 2016). Prima di discutere i risultati ERP, è necessario soffermarsi sui risultati comportamentali. Abbiamo preso come indice comportamentale di un aumento di controllo cognitivo la grandezza dell'effetto Stroop, ovvero la differenza dei tempi di risposta tra prove incongruenti e congruenti. Per quanto riguarda gli effetti sperimentali di interesse, abbiamo trovato una interazione significativa tra la congruenza e la LWPC. In particolare, come mostrato nella figura 3A, a una maggiore LWPC (i.e. minore controllo proattivo), corrispondeva un maggiore costo in termini di iRT associato alle prove incongruenti. In altre parole, un minore impiego di una strategia di controllo proattivo era associato a un maggiore effetto di Stroop, come indicato dalla differenza di pendenza tra prove incongruenti e congruenti. Questo risultato è in linea con quanto previsto dal Dual Mechanism of Control Framework proposto da Braver (2012), che prevede che una bassa LWPC favorisca l'implementazione di una strategia di controllo proattivo in modo tale da ridurre al minimo l'interferenza derivante dalla posizione spaziale indicata freccia, mantenendo attive le rappresentazioni relative alla dimensione rilevante per il compito, ovvero la direzione indicata dallo stimolo target. In altre parole, la manipolazione della PC a livello di blocco ha dato i risultati attesi, dal momento che, nei blocchi a bassa LWPC, i partecipanti hanno adottato una strategia di controllo proattivo, riducendo i costi in termini di iRT associati alle prove incongruenti, mentre nella condizione ad alta LWPC (e quindi a basso controllo proattivo) hanno mostrato un rallentamento dei tempi di risposta maggiore. Il risultato può essere discusso anche a livello della Teoria del Monitoraggio del Conflitto (Conflict Monitoring Theory), che postula l'esistenza di un meccanismo di controllo che monitora il grado di conflitto presente, adattando di conseguenza il grado e il focus dell'attenzione (Botvinick, 2007; Botvinick et al., 2001). In particolare, una situazione in cui le informazioni irrilevanti per il compito (la posizione spaziale dello stimolo target) sono frequentemente in conflitto con quelle rilevanti (i.e. bassa LWPC), causa l'emissione di un segnale che indica il bisogno di una maggiore attenzione nei confronti delle informazioni rilevanti (la direzione indicata dalla freccia). In questo modo, l'interferenza derivante dalle informazioni irrilevanti viene minimizzata, risultando in tempi di risposta più veloci rispetto a una situazione in cui le informazioni irrilevanti sono in conflitto solo raramente con quelle rilevanti (i.e., alta LWPC). Infine, una spiegazione alternativa è fornita dalla Teoria dell'Apprendimento Temporale (Schmidt, 2013). Secondo questa teoria i partecipanti apprendono, dalle informazioni immagazzinate relative alle prove precedenti, in quale finestra temporale devono produrre la risposta. Questo apprendimento elicita un abbassamento della soglia di risposta a finestre temporali che corrispondono con gli intervalli di tempo nei quali è stata prodotta la risposta alle prove precedenti, risultando in un andamento ritmico. Ad esempio, se le informazioni immagazzinate rivelano che alla maggior parte delle prove precedenti è associata una risposta relativamente veloce, allora il partecipante sarà più preparato a rispondere all'interno della stessa (veloce) finestra di risposta. In una condizione ad alta LWPC, essendo la maggior parte delle prove congruenti, l'andamento ritmico è veloce, e la risposta alle prove congruenti è facilitata, mentre non lo è la risposta a quelle incongruenti, dal momento che l'attivazione della risposta è troppo debole per oltrepassare la soglia momentaneamente abbassata, risultando quindi in un'alta differenza tra i tempi di risposta tra prove incongruenti e congruenti, e, dunque, in un alto effetto Stroop. Al contrario, in una condizione a bassa LWPC, essendo la maggior parte delle prove incongruenti, l'andamento ritmico della risposta è più lento, determinando un abbassamento dell'effetto Stroop, in quanto anche le risposte alle prove incongruenti sono, seppur in misura minore, facilitate, dal momento che l'attivazione della risposta è sufficientemente veloce da rispettare l'aspettativa temporale lenta. I nostri risultati, tuttavia, non confermano la teoria di Schmidt (2013) in quanto non abbiamo trovato un effetto di facilitazione in termini di iRT per le prove congruenti in funzione della quantità di controllo cognitivo implementato, come ipotizzato dall'autore. Inoltre, ad oggi non ci sono molte evidenze a favore della spiegazione dell'effetto LWPC in termini di apprendimento temporale (Spinelli & Lupker, 2021).

Per quanto riguarda l'effetto dello stimolo *prime* emotivo sul controllo cognitivo, abbiamo trovato un'interazione significativa tra l'emozione e la LWPC. Come mostrato nella figura 3B, l'effetto di interferenza delle emozioni negative sulla performance dei partecipanti era maggiore quando il controllo proattivo era minore (ovvero in condizioni di alta LWPC), rispetto a quando era maggiore (ovvero con bassi valori di LWPC). Questo risultato viene previsto dal *Dual Mechanism of Control Framework* (Braver, 2012). Infatti, ammesso che il controllo proattivo sia un meccanismo *top-down* che favorisce il mantenimento attivo delle informazioni rilevanti alla corretta esecuzione del compito, allora in condizioni di alto controllo proattivo (bassa LWPC) l'effetto di interferenza per opera degli stimoli *primes* emotivi dovrebbe essere minimizzato. Una spiegazione simile è fornita dall'estensione della *Conflict Monitoring Theory* (Botvinick et al., 2001) proposta da Wyble e collaboratori (2008). Gli autori hanno modellato la distrazione emotiva aggiungendo al modello originale un nodo emotivo negativo, che ha un'influenza inibitoria all'unità della richiesta del compito, facendo diminuire il grado di attivazione della rappresentazione dell'obiettivo (Wyble et al., 2008). In questi termini, i nostri risultati confermano quanto ipotizzato da Wyble e collaboratori (2008), dal momento che

l'interferenza dello stimolo *prime* emotivo è risultato maggiore in corrispondenza di un basso livello di controllo proattivo. In altre parole, quando le rappresentazioni dell'obiettivo non sono mantenute in memoria di lavoro in maniera attiva, ovvero in condizioni di basso controllo proattivo, l'effetto di interferenza da parte dello stimolo emotivo è maggiore. Una previsione simile è fornita dal Modello di Competizione Duale proposto da Luiz Pessoa (2008), che postula una condivisione di risorse tra il controllo cognitivo e l'elaborazione emotiva. Ne deriva che, a bassi livelli di controllo corrisponde un maggiore effetto di interferenza da parte di stimoli carichi emotivamente. Queste teorie ricadono in una spiegazione in termini attentivi dell'effetto di interferenza suscitato da stimoli emotivi. In generale, secondo questo quadro teorico, stimoli a valenza negativa attirano le risorse attentive, limitando l'attenzione nei confronti della dimensione dello stimolo target rilevante per il compito (Williams et al., 1996). Una spiegazione alternativa viene fornita da Algom e collaboratori (2004), i quali hanno ipotizzato che l'effetto di stimoli a valenza negativa non si applichi esclusivamente delle risorse attentive, ma piuttosto che essi suscitino una reazione di freezing, che causa un rallentamento di tutte le attività cognitive in corso. Questa teorizzazione fa leva sulla distinzione di due meccanismi attentivi proposta da Öhman e colleghi (2001): un meccanismo pre-attentivo e uno post-attentivo. Il primo meccanismo è veloce, automatico, involontario, e opera in maniera parallela, mentre il secondo è lento, intenzionale e opera in maniera seriale (Ohman et al., 2001). Nella spiegazione fornita da Algom (2004), gli stimoli a valenza negativa sono considerati come minacciosi, e vengono elaborati dal meccanismo pre-attentivo in maniera prioritaria ed automatizzata, causando una perturbazione temporanea delle attività in corso, mentre gli stimoli rilevanti per il compito di Stroop sono elaborati dal meccanismo post-attentivo (Ohman et al., 2001). I nostri risultati sono parzialmente in linea con la teoria proposta da Algom (2004), nei termini in cui si osserva un rallentamento dei tempi di risposta nelle prove precedute da un prime a valenza negativa in condizioni di basso controllo proattivo. Tuttavia, nessuno dei modelli citati finora fornisce una spiegazione dell'effetto degli stimoli negativi, rispetto a quelli neutri, sui tempi di risposta nella condizione in cui il controllo proattivo era massimo (minimi valori di LWPC). Questa ambiguità è stata affrontata da Liu e colleghi (2017), i quali sostengono che le emozioni negative possono migliorare, ostacolare o non avere alcun effetto sulla risoluzione del conflitto, dipendentemente dall'intensità motivazionale ad essi associata, in accordo con il *Motivational Dimensional Model of Affect* (Gable & Harmon-Jones, 2010; Harmon-Jones et al., 2012, 2013).

Riguardo il controllo cognitivo reattivo, la manipolazione della proporzione delle prove congruenti a livello di singolo *item* non è risultata significativa. Una possibile spiegazione risiede nel fatto che spesso l'ISPC e la contingenza sono confusi (Schmidt & Besner, 2008). In altre parole, l'effetto dovuto alla manipolazione delle prove congruenti a livello di singolo *item* potrebbe riflettere un processo generale di apprendimento associativo tra l'*item* specifico e la risposta tipicamente data a quell'*item* (Schmidt & Besner, 2008; Spinelli & Lupker, 2020). I nostri risultati sono consistenti con questa spiegazione, dal momento che, pur avendo controllato per la contingenza nella progettazione della procedura sperimentale, abbiamo rilevato un forte effetto della contingenza, sebbene non significativo.

Passando alla discussione del segnale EEG, per quanto riguarda i risultati ERP *time-locked* al target, sono risultati significativi l'effetto principale della congruenza (CON, incongruenti - congruenti), e l'interazione tra la congruenza e la LWPC (CON x LWPC). I risultati delle analisi elettroencefalografiche sullo stimolo *prime*, invece, hanno mostrato un effetto significativo dell'emozione (EMO, neutra – negativa).

Per quanto riguarda le analisi sul target, la congruenza pare modulare due effetti lungo due diversi intervalli temporali. In particolare, nell'intervallo compreso tra i 250 e i 400 ms dopo l'onset del target, la congruenza pare significativamente modulare una componente a flessione positiva distribuita lungo siti centro-parietali posteriori, che raggiunge la sua ampiezza massima circa 330 ms dopo la presentazione dello stimolo target (figura 10). Vista la distribuzione sullo scalpo e la latenza della componente, quest'ultima può essere descritta come una P300 (Luck, 2014). Molti autori si riferiscono alla P300 non tanto come un singolo potenziale evento-relato, ma piuttosto come un complesso di onde scomponibili in diverse sotto-componenti (Barry et al., 2020; Hansenne, 2000;

Polich, 2007). La distinzione principale è quella tra la componente P3a e la componente P3b, che riflettono l'orientamento alla novità e l'aggiornamento delle informazioni contestuali rispettivamente (Barry et al., 2020; Gratton et al., 2018; Polich, 2007). Queste due componenti non differiscono solo per i processi cognitivi ad esse associati, ma anche per la distribuzione sullo scalpo. Infatti, mentre la P3a ha una distribuzione prevalentemente frontale, la P3b presenta una distribuzione parietale (Gratton et al., 2018; Polich, 2007). Pertanto, i nostri risultati suggeriscono una modulazione dell'effetto della congruenza da parte della componente P3b. Per quanto riguarda l'ampiezza di questa componente pare essere inferiore per le prove incongruenti rispetto a quelle congruenti. L'ampiezza della P300 riflette lo stanziamento delle risorse attentive durante l'elaborazione delle informazioni (Isreal et al., 1980; Wickens et al., 1983), e fornisce misure indipendenti del tempo di valutazione dello stimolo e delle richieste attentive (Shen, 2006). La minore ampiezza dell'onda P300 associata alle prove incongruenti potrebbe essere indice della maggiore complessità intrinseca del compito in associazione ad esse. È stato infatti dimostrato come l'ampiezza della P300 si riduca in condizioni che aumentano la complessità del compito o la difficoltà nel prendere decisioni, come ad esempio un una prova incongruente rispetto a una congruente (Hsieh & Liu, 2008; Shen, 2006), o un doppio compito (dual task) rispetto a un compito singolo (Tieges et al., 2007).

Inoltre, la congruenza pare modulare, tra i 500 e i 1000 ms dopo la presentazione del target, l'ampiezza di un potenziale lento sostenuto (*Late Sustained Potential*, LSP) (Heidlmayr et al., 2020; Liotti et al., 2000), che risulta maggiore per le prove incongruenti rispetto alle congruenti, e che appare lungo siti parieto-occipitali di sinistra, invertendo la propria polarità in siti fronto-centrali (figura 11). Il significato funzionale di questa componente è ancora oggetto di dibattito (Heidlmayr et al., 2020), ma è stato ipotizzato che possa riflettere il reclutamento di processi esecutivi (Hanslmayr et al., 2008), processi di risoluzione del conflitto (Coderre et al., 2011; West, 2003, 2004), processi di riattivazione semantica del significato della parola dopo la risoluzione del conflitto in un compito di Stroop classico parola-colore (Appelbaum et al., 2009; Liotti et al., 2000), o, infine, processi di selezione della risposta (West, 2003, 2004). Sono stati eseguiti pochi studi di localizzazione delle

sorgenti neurali di questa componente (Heidlmayr et al., 2020), ma sono presenti alcune evidenze che puntano verso il Giro Frontale Inferiore (*Inferior Frontal Gyrus*, IFG) e la corteccia extra-striata come generatori del LSP (West, 2003). West (2003) ha suggerito che, mentre l'IFG di sinistra è sensibile alla presenza del conflitto in termini generali, l'IFG di destra potrebbe essere sensibile al conflitto selettivamente derivante dalla dimensione dello stimolo meno dominante (e.g., il colore dell'inchiostro in un compito di Stroop classico, o la direzione indicata dalla freccia nel compito di Stroop spaziale da noi impiegato), e potrebbe supportare alcuni aspetti della risoluzione del conflitto. Inoltre, ci sono alcune evidenze a favore dell'attivazione del Giro Frontale Inferiore sia durante processi di controllo reattivo dell'interferenza (Badre & Wagner, 2005; Irlbacher et al., 2014), sia durante l'implementazione di una strategia di controllo proattivo (Burgess & Braver, 2010; Irlbacher et al., 2014). In relazione ai nostri risultati, dal momento che il potenziale lento sostenuto arriva mediamente in una finestra temporale successiva alla risposta, e quindi quando il conflitto è risolto, questa componente potrebbe riflettere il recupero del significato semantico, ovvero la direzione indicata dalla freccia, dello stimolo incongruente (Liotti et al., 2000).

Infine, le analisi elettroencefalografiche *time-locked* allo stimolo target hanno rivelato una interazione significativa tra la congruenza e la proporzione di prove congruenti a livello di blocco (CONxLWPC). L'interazione appare significativa lungo due diversi *clusters* temporali: uno che va dai 250 ai 360 ms dopo la presentazione del target, e l'altro che va dai 500 ai 700 ms dopo la presentazione del target. La componente tra i 250 e i tra i 360 ms, per tempistica e topografia, sembra qualcosa di motorio, e una successiva analisi *time-locked* alla risposta aiuterà a caratterizzarla meglio.

Per quanto riguarda il secondo *cluster* temporale, l'interazione tra congruenza e proporzione di prove congruenti a livello di blocco pare modulare due diverse componenti. La prima si espande lungo siti centro-parietali, e appare maggiormente ampia per le prove incongruenti in condizioni di alta proporzione di prove congruenti, ovvero in condizioni di basso controllo proattivo, rispetto alle prove congruenti in condizioni di alto controllo proattivo (figura 12). Vista la distribuzione temporale e topografica, questa componente potrebbe venire descritta in termini di un potenziale lento sostenuto

(Late Sustained Potential, LSP). Questo dato replica quelli ottenuti da altri autori, e potrebbe essere interpretato in termini di un maggiore allocamento di risorse attentive ed esecutive in risposta a una prova incongruente (Donohue et al., 2016; Hanslmayr et al., 2008; Heidlmayr et al., 2020). Compatibilmente, è possibile interpretare l'aumento di ampiezza del LSP in risposta a prove incongruenti e in condizioni di basso controllo cognitivo proattivo in termini di processi di risoluzione del conflitto (Coderre et al., 2011; West, 2003, 2004). Questa spiegazione è infatti coerente con il contesto del compito per cui la presentazione di una prova incongruente quando la maggior parte delle prove sono congruenti (alta LWPC) elicita un conflitto che deve essere risolto al fine di mantenere una buona performance al compito. Alternativamente, l'aumento di ampiezza del LSP potrebbe indicare maggiore elaborazione degli stimoli presentati in condizioni di basso controllo proattivo (Appelbaum et al., 2014). Questa componente infatti potrebbe riflettere una forma di valutazione e aggiustamenti del compito tardivi, consistentemente con il fatto che essa sembra correlare con il grado di conflitto elicitato dalla prova precedente (Larson et al., 2009). Per quanto riguarda la seconda componente modulata dall'interazione tra congruenza e proporzione di prove congruenti a livello di blocco nell'intervallo compreso tra i 500 e i 700 ms dopo la presentazione dello stimolo target, essa appare come un potenziale sostenuto fronto-laterale lateralizzato a destra, maggiormente negativo per le prove incongruenti rispetto alle congruenti (figura 13). La contemporanea presenza di un potenziale sostenuto lungo siti centro-parietali e fronto-laterali è stata riportata da altri studi che investigavano le modalità di funzionamento del controllo cognitivo (Bailey et al., 2010; Chen et al., 2011; West & Bailey, 2012). È possibile interpretare una maggiore negatività sostenuta per le prove incongruenti lungo siti fronto-laterali lateralizzata a destra come una componente dedicata al monitoraggio della risposta, che è maggiormente coinvolta quando due risposte sono in competizione durante le prove incongruenti (Bailey et al., 2010; Chen et al., 2011; West & Bailey, 2012).

Le analisi del segnale EEG *time-locked* allo stimolo *prime*, hanno rivelato una modulazione di quest'ultimo lungo tre *clusters* temporali diversi, coerentemente con il modello di elaborazione delle

espressioni facciali proposto da Luo e colleghi (2010), indicando la completa elaborazione degli stimoli prime da parte dei partecipanti. Secondo gli autori, l'elaborazione di espressione facciali coinvolge tre diverse fasi: la prima consiste in una elaborazione automatica delle espressioni a valenza negativa, la seconda permette la differenziazione delle espressioni cariche emotivamente da quelle neutre, e, infine, la terza permette la differenziazione di diverse espressioni emotive (Luo et al., 2010). I nostri risultati indicano la presenza di una componente a flessione positiva con una latenza di circa 50 ms dopo l'onset del *prime* emotivo, e che raggiunge l'ampiezza massima attorno ai 100 ms in siti occipitali (figura 5). Vista la distribuzione temporale e topografica, questa componente può essere descritta in termini della componente P1, che si ritiene riflettere l'elaborazione della categorizzazione delle espressioni facciali (J. Liu et al., 2000; Pizzagalli et al., 2002). I nostri dati indicano una maggiore ampiezza in risposta a stimoli prime a valenza negativa rispetto a quelli a valenza neutra, confermando quanto concluso da altri autori (Eger et al., 2003; Eimer & Holmes, 2002; Pourtois et al., 2004). Per questo motivo, la P100 potrebbe riflettere il negativity bias, ovvero la maggiore sensibilità nei confronti di informazioni negative (Cacioppo & Gardner, 1999; Ito et al., 1998). Per quanto riguarda il secondo cluster temporale, lo stimolo prime emotivo pare essere modulato da due onde: la prima si presenta come deflessione negativa lungo siti parieto-occipitali, che raggiunge l'ampiezza massima a circa 140 ms dopo la presentazione dello stimolo prime, e che è maggiore per gli stimoli a valenza negativa, mentre la seconda componente si presenta come una flessione positiva lungo siti fronto-centrali, e che raggiunge l'ampiezza massima dopo 150 ms dalla presentazione del prime, anch'essa maggiore per i prime carichi negativamente (figura 6). Vista la loro distribuzione temporale e topografica, queste due componenti possono essere descritte in termini di N170 e di Vertex Positive Potential (VPP) rispettivamente. La componente N170 è indicativa dell'elaborazione configurale dei volti (Bentin et al., 1996; Bentin & Deouell, 2000; Rossion et al., 1999, 2003), e la sua ampiezza viene modulata dalla valenza delle espressioni facciali (Batty & Taylor, 2003; Caharel et al., 2005), sebbene quest'ultimo risultato sia stato messo in discussione (e.g., Herrmann et al., 2002). Analogamente, il VPP è più ampio per gli stimoli prime a valenza negativa, è sensibile all'elaborazione configurale dei volti (Jemel et al., 2003; Rossion et al., 1999), e alcuni studi di localizzazione delle sorgenti neurali di questa componente hanno indicato che essa deriva dallo stesso dipolo neurale che genera la N170, localizzato attorno al giro fusiforme (Itier & Taylor, 2002; Joyce & Rossion, 2005; Rossion et al., 1999). Infine, per quanto riguarda la terza fase, lo stimolo prime pare essere modulato da una componente negativa lungo siti fronto-centrali che raggiunge l'ampiezza massima a circa 300 ms dopo la presentazione del prime emotivo (figura 7). Questa modulazione è simile a una componente N300, presenta una ampiezza minore per i primes a valenza negativa, e probabilmente riflette un'ulteriore valutazione dell'informazione veicolata da espressioni facciali emotive (Luo et al., 2010; Zhang & Kornblum, 1998). È stato ipotizzato che la N300 sia più sensibile al significato affettivo degli stimoli piuttosto che alle loro caratteristiche configurali (Ruz et al., 2013), ed è stata osservata una maggiore ampiezza di questa componente in risposta a stimoli facciali che esprimevano rabbia o paura, concettualizzati come minacciosi (Carretié et al., 2004; Luo et al., 2010) rispetto a stimoli facciali neutrali (e.g., Schutter et al., 2004). I nostri risultati indicano, al contrario, una minore ampiezza della N300 in risposta a stimoli prime rappresentanti espressioni facciali di tristezza rispetto a espressioni facciali neutrali. Dal momento che ampiezze meno accentuate indicano un'elaborazione più superficiale (Campanella et al., 2002), i nostri risultati potrebbero suggerire che i partecipanti al nostro studio siano stati meno sensibili al contenuto emotivo delle espressioni facciali tristi, sebbene questo dato elettroencefalico non sia stato supportato dal dato comportamentale. Questo dato potrebbe essere spiegato in termini di selettività della componente N300 nel discriminare espressioni di minaccia, come ad esempio volti che esprimono rabbia o paura, dalle espressioni neutre (Luo et al., 2010; Sollfrank et al., 2021; Yang et al., 2020). Parafrasando, sebbene sia stato trovato un effetto significativo dell'interazione tra LWPC ed emozione sui tempi di risposta, non siamo stati in grado di trovare una significatività dell'interazione tra i due predittori sul segnale elettroencefalografico, nonostante l'analisi del segnale EEG abbia confermato l'avvenuta elaborazione degli stimoli prime da parte di partecipanti allo studio. Al contrario, dai dati elettroencefalografici, parrebbe che i partecipanti abbiano correttamente caratterizzato gli stimoli prime a valenza negativa, e ne abbiano elaborato le caratteristiche configurali, ma siano stati meno sensibili al significato affettivo da loro veicolato rispetto ai primes a valenza neutra. Una possibile spiegazione potrebbe risiedere nella natura delle analisi che sono state condotte sui dati comportamentali e sui dati elettroencefalografici. I dati precedentemente discussi sono frutto di un'analisi preliminare in cui, nelle analisi comportamentali, la parte random del modello comprendeva gli effetti random incrociati (crossed) tra i partecipanti e le immagini prime. Il vantaggio nell'utilizzare gli effetti random crossed risiede nel fatto che in questo modo si possono tenere in considerazione quei fattori eterogenei non direttamente osservati, permettendo a questi fattori random di variare tra le osservazioni (Khoda Bakhshi & Ahmed, 2021). Inoltre, essi permettono di prendere in considerazione quegli effetti che si sviluppano nel corso dell'esperimento, e di considerare le covariate potenzialmente rilevanti (Baayen et al., 2008). Tuttavia, nelle analisi preliminari svolte sui dati elettroencefalici, non abbiamo incluso l'effetto random degli specifici stimoli utilizzati come immagini prime. Questo potrebbe essere un motivo per cui non abbiamo trovato una interazione significativa tra la proporzione di prove congruenti a livello di blocco e lo stimolo prime, in quanto la mancanza di controllo a livello di analisi dello specifico effetto delle singole prove potrebbe aver mascherato l'effetto generale dell'interazione.

Capitolo 6

Conclusioni, limiti, e sviluppi futuri

Con questo studio abbiamo voluto esplorare, approfittando dell'alta risoluzione temporale dell'elettroencefalogramma, a che livello dell'implementazione del controllo cognitivo avviene la risoluzione dell'interferenza emotiva in un compito di Stroop puramente spaziale perifoveale e con cambiamenti nel contesto probabilistico. A livello comportamentale, abbiamo confermato i risultati presenti in letteratura, riportando un effetto di interazione tra congruenza e proporzione di prove congruenti a livello di blocco (List-wide Proportion Congruency, LWPC), che consiste in tempi di risposta più lunghi per le prove incongruenti in condizioni di alta LWPC, ovvero di basso controllo proattivo. Inoltre, abbiamo trovato una interazione significativa tra l'emozione espressa dallo stimolo prime e la LWPC, con un maggiore rallentamento dei tempi di risposta alle prove precedute da uno stimolo prime a valenza negativa in condizioni di basso controllo proattivo. Per quanto riguarda i risultati ERP, le analisi time-locked al target hanno evidenziato come la congruenza moduli significativamente due componenti: la P300, meno ampia per le prove incongruenti e il potenziale lento sostenuto (Late Sustained Potential, LSP), che invece ha mostrato il pattern opposto. L'interazione tra congruenza e LWPC pare modulare invece due potenziali lenti. Il primo, con distribuzione centro-parietale è apparso più ampio per le prove incongruenti in condizioni di basso controllo proattivo (alta LWPC), e potrebbe indicare i processi di risoluzione del conflitto. Il secondo potenziale lento aveva distribuzione fronto-laterale destra, è apparso meno negativo per le prove incongruenti in condizioni di basso controllo proattivo, e potrebbe indicare i processi di monitoraggio della risposta. Per quanto riguarda le analisi time-locked allo stimolo prime, esse hanno rivelato la completa elaborazione degli stimoli emotivi, in accordo con il modello di elaborazione delle espressioni facciali proposto da Luo e collaboratori (2010). Gli stimoli prime a valenza negativa hanno elicitato una maggiore ampiezza della componente P1, che riflette il processo di categorizzazione degli stimoli facciali, e del complesso N170/VPP, che riflette l'elaborazione configurale dei volti. Tuttavia, abbiamo trovato una componente N300, sensibile al significato affettivo dei volti, meno ampia in risposta ai prime a valenza negativa rispetto a quelli a valenza neutra. Tuttavia, non siamo riusciti a trovare una interazione significativa tra emozione e LWPC a livello del segnale elettroencefalico, forse a causa del mancato utilizzo degli effetti random crossed tra i partecipanti e le immagini prime. Inoltre, non siamo riusciti a trovare un effetto significativo, né a livello comportamentale, né a livello di segnale EEG, della proporzione di prove congruenti a livello di singolo item (Item-Specific Proportion Congruency, ISPC), che è indice di controllo reattivo. Alla luce di quanto discusso finora potrebbe essere adeguato, in futuro, perfezionare l'analisi dei dati EEG, per tenere conto degli effetti random crossed. Inoltre, potrebbe essere utile includere delle analisi time-locked alla risposta per il segnale elettroencefalografico, delle analisi sulla latenza delle componenti, e analizzare i dati EEG nel tempo-frequenza, dal momento che alcuni effetti potrebbero essere maggiormente visibili. In aggiunta, si potrebbe tentare di manipolare la ISPC e la LWPC in blocchi diversi, in modo tale da poter separare più agevolmente i due effetti. Infine, per quanto riguarda la manipolazione a livello emotivo, si potrebbe selezionare i primes, oltre che in base alla valenza neutra o negativa, anche in base all'*arousal* ad essi associati, e controllare per questo fattore attraverso una co-registrazione di conduttanza cutanea.

Bibliografia

- Algom, D., Chajut, E., & Lev, S. (2004). A Rational Look at the Emotional Stroop Phenomenon: A Generic Slowdown, Not a Stroop Effect. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(3), 323–338. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.3.323
- Appelbaum, L. G., Boehler, C. N., Davis, L. A., Won, R. J., & Woldorff, M. G. (2014). The Dynamics of Proactive and Reactive Cognitive Control Processes in the Human Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(5), 1021–1038. https://doi.org/10.1162/jocn a 00542
- Appelbaum, L. G., Meyerhoff, K. L., & Woldorff, M. G. (2009). Priming and Backward Influences in the Human Brain: Processing Interactions during the Stroop Interference Effect. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2508–2521. https://doi.org/10.1093/cercor/bhp036
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390–412. https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.005
- Baayen, R. H., & Milin, P. (2010). Analyzing reaction times. *International Journal of Psychological Research*, 3(2), 12–28.
- Badre, D., & Wagner, A. D. (2005). Frontal Lobe Mechanisms that Resolve Proactive Interference.

 Cerebral Cortex, 15(12), 2003–2012. https://doi.org/10.1093/cercor/bhi075
- Bailey, K., West, R., & Anderson, C. A. (2010). A negative association between video game experience and proactive cognitive control. *Psychophysiology*, 47(1), 34–42. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00925.x
- Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current Directions* in *Psychological Science*, 18(2), 89–94.
- Banich, M. T. (2019). The Stroop Effect Occurs at Multiple Points Along a Cascade of Control: Evidence From Cognitive Neuroscience Approaches. *Frontiers in Psychology*, 10, 2164. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02164

- Banich, M. T., Milham, M. P., Atchley, R., Cohen, N. J., Webb, A., Wszalek, T., Kramer, A. F., Liang, Z.-P., Wright, A., Shenker, J., & Magin, R. (2000). FMRI Studies of Stroop Tasks Reveal Unique Roles of Anterior and Posterior Brain Systems in Attentional Selection.

 **Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(6), 988–1000. https://doi.org/10.1162/08989290051137521
- Baniqued, P. L., Low, K. A., Fletcher, M. A., Gratton, G., & Fabiani, M. (2018). Shedding light on gray(ing) areas: Connectivity and task switching dynamics in aging. *Psychophysiology*, *55*(3), e12818. https://doi.org/10.1111/psyp.12818
- Barrett, L. F. (2006). Are Emotions Natural Kinds? *Perspectives on Psychological Science*, *1*(1), 28–58. https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00003.x
- Barry, R. J., Steiner, G. Z., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., Karamacoska, D., & MacDonald, B. (2020). Components in the P300: *Don't forget the Novelty P3! Psychophysiology*, *57*(7). https://doi.org/10.1111/psyp.13371
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using **lme4**. *Journal of Statistical Software*, 67(1). https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01
- Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. Cognitive Brain Research, 17(3), 613–620. https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00174-5
- Beauregard, M., Lévesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 21(18), RC165.
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(6), 551–565. https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.6.551
- Bentin, S., & Deouell, L. Y. (2000). Structural encoding and identification in face processing: Erp evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1–3), 35–55. https://doi.org/10.1080/026432900380472

- Botvinick, M. M. (2007). Conflict monitoring and decision making: Reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 7(4), 356–366. https://doi.org/10.3758/cabn.7.4.356
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624–652. https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.3.624
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433–436. https://doi.org/10.1163/156856897X00357
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends* in *Cognitive Sciences*, *16*(2), 106–113. https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. In *Variation in working memory*. (pp. 76–106). Oxford University Press.
- Brysbaert, M., & Stevens, M. (2018). Power Analysis and Effect Size in Mixed Effects Models: A Tutorial. *Journal of Cognition*, *I*(1), 9. https://doi.org/10.5334/joc.10
- Bugg, J. M. (2012). Dissociating Levels of Cognitive Control: The Case of Stroop Interference.

 *Current Directions in Psychological Science, 21(5), 302–309.

 https://doi.org/10.1177/0963721412453586
- Bugg, J. M. (2014). Conflict-triggered top-down control: Default mode, last resort, or no such thing? *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 40(2), 567–587. https://doi.org/10.1037/a0035032
- Bugg, J. M., & Hutchison, K. A. (2013). Converging evidence for control of color–word Stroop interference at the item level. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(2), 433–449. https://doi.org/10.1037/a0029145

- Burgess, G. C., & Braver, T. S. (2010). Neural Mechanisms of Interference Control in Working Memory: Effects of Interference Expectancy and Fluid Intelligence. *PLoS ONE*, *5*(9), e12861. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012861
- Cacioppo, J. T., & Gardner, W. L. (1999). Emotion. *Annual Review of Psychology*, 50, 191–214. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.50.1.191
- Caharel, S., Courtay, N., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2005). Familiarity and emotional expression influence an early stage of face processing: An electrophysiological study. *Brain and Cognition*, *59*(1), 96–100. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.05.005
- Campanella, S., Gaspard, C., Debatisse, D., Bruyer, R., Crommelinck, M., & Guerit, J.-M. (2002).

 Discrimination of emotional facial expressions in a visual oddball task: An ERP study.

 Biological Psychology, 59(3), 171–186. https://doi.org/10.1016/s0301-0511(02)00005-4
- Carp, J., & Compton, R. J. (2009). Alpha power is influenced by performance errors.

 *Psychophysiology, 46(2), 336–343. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00773.x
- Carretié, L., Hinojosa, J. A., Martín-Loeches, M., Mercado, F., & Tapia, M. (2004). Automatic attention to emotional stimuli: Neural correlates. *Human Brain Mapping*, 22(4), 290–299. https://doi.org/10.1002/hbm.20037
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998). Anterior Cingulate Cortex, Error Detection, and the Online Monitoring of Performance. *Science*, 280(5364), 747–749. https://doi.org/10.1126/science.280.5364.747
- Cattell, J. M. (1886). The Time it Takes to See and Name Objects. Mind, 11(41), 63–65. JSTOR.
- Cavanagh, J. F., Cohen, M. X., & Allen, J. J. B. (2009). Prelude to and resolution of an error: EEG phase synchrony reveals cognitive control dynamics during action monitoring. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(1), 98–105. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4137-08.2009
- Cavanagh, J. F., & Frank, M. J. (2014). Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8), 414–421. https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.012

- Chen, A., Bailey, K., Tiernan, B. N., & West, R. (2011). Neural correlates of stimulus and response interference in a 2–1 mapping stroop task. *International Journal of Psychophysiology*, 80(2), 129–138. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.02.012
- Coderre, E., Conklin, K., & van Heuven, W. J. B. (2011). Electrophysiological measures of conflict detection and resolution in the Stroop task. *Brain Research*, *1413*, 51–59. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.07.017
- Cohen, C., Dunbar, K., & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review*, *97*(3), 332–361. https://doi.org/10.1037/0033-295x.97.3.332
- Cohen, M. X. (2014). A neural microcircuit for cognitive conflict detection and signaling. *Trends in Neurosciences*, *37*(9), 480–490. https://doi.org/10.1016/j.tins.2014.06.004
- Cole, M. W., & Schneider, W. (2007). The cognitive control network: Integrated cortical regions with dissociable functions. *NeuroImage*, *37*(1), 343–360. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.071
- Cooper, P. S., Wong, A. S. W., Fulham, W. R., Thienel, R., Mansfield, E., Michie, P. T., & Karayanidis, F. (2015). Theta frontoparietal connectivity associated with proactive and reactive cognitive control processes. *NeuroImage*, *108*, 354–363. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.12.028
- Davidson, null, & Irwin, null. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style.

 *Trends in Cognitive Sciences, 3(1), 11–21. https://doi.org/10.1016/s1364-6613(98)01265-0
- Dehaene, S., Posner, M. I., & Tucker, D. M. (1994). Localization of a Neural System for Error Detection and Compensation. *Psychological Science*, *5*(5), 303–305. JSTOR.
- Delorme, A., Sejnowski, T., & Makeig, S. (2007). Enhanced detection of artifacts in EEG data using higher-order statistics and independent component analysis. *NeuroImage*, *34*(4), 1443–1449. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.004

- Dignath, D., Eder, A. B., Steinhauser, M., & Kiesel, A. (2020). Conflict monitoring and the affective-signaling hypothesis—An integrative review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(2), 193–216. https://doi.org/10.3758/s13423-019-01668-9
- Dolcos, F. (2006). Brain Systems Mediating Cognitive Interference by Emotional Distraction.

 Journal of Neuroscience, 26(7), 2072–2079. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5042-05.2006
- Donohue, S. E., Appelbaum, L. G., McKay, C. C., & Woldorff, M. G. (2016). The neural dynamics of stimulus and response conflict processing as a function of response complexity and task demands. *Neuropsychologia*, 84, 14–28. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.01.035
- Dreisbach, G., & Fischer, R. (2015). Conflicts as Aversive Signals for Control Adaptation. *Current Directions in Psychological Science*, 24(4), 255–260. https://doi.org/10.1177/0963721415569569
- Dyer, F. N. (1973). The Stroop phenomenon and its use in the stlldy of perceptual, cognitive, and response processes. *Memory & Cognition*, *1*(2), 106–120. https://doi.org/10.3758/BF03198078
- Eger, E., Jedynak, A., Iwaki, T., & Skrandies, W. (2003). Rapid extraction of emotional expression:

 Evidence from evoked potential fields during brief presentation of face stimuli.

 Neuropsychologia, 41(7), 808–817. https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00287-7
- Ehinger, B. V., & Dimigen, O. (2019). Unfold: An integrated toolbox for overlap correction, non-linear modeling, and regression-based EEG analysis. *PeerJ*, 7, e7838. https://doi.org/10.7717/peerj.7838
- Eide, P., Kemp, A., Silberstein, R. B., Nathan, P. J., & Stough, C. (2002). Test-Retest Reliability of the Emotional Stroop Task: Examining the Paradox of Measurement Change. *The Journal of Psychology*, *136*(5), 514–520. https://doi.org/10.1080/00223980209605547

- Eimer, M., & Holmes, A. (2002). An ERP study on the time course of emotional face processing. *Neuroreport*, 13(4), 427–431. https://doi.org/10.1097/00001756-200203250-00013
- Epp, A. M., Dobson, K. S., Dozois, D. J. A., & Frewen, P. A. (2012). A systematic meta-analysis of the Stroop task in depression. *Clinical Psychology Review*, 32(4), 316–328. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.02.005
- Etkin, A., Egner, T., Peraza, D. M., Kandel, E. R., & Hirsch, J. (2006). Resolving emotional conflict:

 A role for the rostral anterior cingulate cortex in modulating activity in the amygdala. *Neuron*,

 51(6), 871–882. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.07.029
- Fabiani, M., Friedman, D., & Cheng, J. C. (1998). Individual differences in P3 scalp distribution in older adults, and their relationship to frontal lobe function. *Psychophysiology*, 35(6), 698–708.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78(6), 447–455. https://doi.org/10.1016/0013-4694(91)90062-9
- Fazio, R. H., Sanbonmatsu, D. M., Powell, M. C., & Kardes, F. R. (1986). On the automatic activation of attitudes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 50(2), 229–238. https://doi.org/10.1037//0022-3514.50.2.229
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2007). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 0(0), 070915195953001-??? https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00602.x
- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2022). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 72–89. https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0

- Fritz, J., & Dreisbach, G. (2013). Conflicts as aversive signals: Conflict priming increases negative judgments for neutral stimuli. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *13*(2), 311–317. https://doi.org/10.3758/s13415-012-0147-1
- Funderud, I., Lindgren, M., Løvstad, M., Endestad, T., Voytek, B., Knight, R. T., & Solbakk, A.-K. (2012). Differential Go/NoGo activity in both contingent negative variation and spectral power. *PloS One*, 7(10), e48504. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048504
- Gable, P., & Harmon-Jones, E. (2010). The motivational dimensional model of affect: Implications for breadth of attention, memory, and cognitive categorisation. *Cognition & Emotion*, 24(2), 322–337. https://doi.org/10.1080/02699930903378305
- Gladwin, T. E., Lindsen, J. P., & de Jong, R. (2006). Pre-stimulus EEG effects related to response speed, task switching and upcoming response hand. *Biological Psychology*, 72(1), 15–34. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.05.005
- Golinkoff, R. M., & Rosinski, R. R. (1976). Decoding, Semantic Processing, and Reading Comprehension Skill. *Child Development*, 47(1), 252. https://doi.org/10.2307/1128308
- Gonthier, C., Braver, T. S., & Bugg, J. M. (2016). Dissociating proactive and reactive control in the Stroop task. *Memory & Cognition*, 44(5), 778–788. https://doi.org/10.3758/s13421-016-0591-1
- Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology. General*, *121*(4), 480–506. https://doi.org/10.1037//0096-3445.121.4.480
- Gratton, G., Cooper, P., Fabiani, M., Carter, C. S., & Karayanidis, F. (2018). Dynamics of cognitive control: Theoretical bases, paradigms, and a view for the future. *Psychophysiology*, *55*(3), e13016.
- Gross, J. J., & Feldman Barrett, L. (2011). Emotion Generation and Emotion Regulation: One or Two Depends on Your Point of View. *Emotion Review*, 3(1), 8–16. https://doi.org/10.1177/1754073910380974

- Hajcak, G., Moser, J. S., Yeung, N., & Simons, R. F. (2005). On the ERN and the significance of errors. *Psychophysiology*, 42(2), 151–160. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00270.x
- Hansenne, M. (2000). [The p300 cognitive event-related potential. I. Theoretical and psychobiologic perspectives]. *Neurophysiologie Clinique* = *Clinical Neurophysiology*, 30(4), 191–210. https://doi.org/10.1016/s0987-7053(00)00223-9
- Hanslmayr, S., Pastötter, B., Bäuml, K.-H., Gruber, S., Wimber, M., & Klimesch, W. (2008). The Electrophysiological Dynamics of Interference during the Stroop Task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 215–225. https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20020
- Harmon-Jones, E., Gable, P. A., & Price, T. F. (2012). The influence of affective states varying in motivational intensity on cognitive scope. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6. https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00073
- Harmon-Jones, E., Gable, P. A., & Price, T. F. (2013). Does Negative Affect Always Narrow and Positive Affect Always Broaden the Mind? Considering the Influence of Motivational Intensity on Cognitive Scope. *Current Directions in Psychological Science*, 22(4), 301–307. https://doi.org/10.1177/0963721413481353
- Hart, S. J., Green, S. R., Casp, M., & Belger, A. (2010). Emotional priming effects during Stroop task performance. *NeuroImage*, 49(3), 2662–2670. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.10.076
- Heidlmayr, K., Kihlstedt, M., & Isel, F. (2020). A review on the electroencephalography markers of Stroop executive control processes. *Brain and Cognition*, *146*, 105637. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105637
- Herrmann, M. J., Aranda, D., Ellgring, H., Mueller, T. J., Strik, W. K., Heidrich, A., & Fallgatter, A. J. (2002). Face-specific event-related potential in humans is independent from facial expression. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 45(3), 241–244. https://doi.org/10.1016/s0167-8760(02)00033-8

- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, *109*(4), 679–709. https://doi.org/10.1037/0033-295X.109.4.679
- Holroyd, C. B., Nieuwenhuis, S., Yeung, N., Nystrom, L., Mars, R. B., Coles, M. G. H., & Cohen, J. D. (2004). Dorsal anterior cingulate cortex shows fMRI response to internal and external error signals. *Nature Neuroscience*, 7(5), 497–498. https://doi.org/10.1038/nn1238
- Holroyd, C. B., & Umemoto, A. (2016). The research domain criteria framework: The case for anterior cingulate cortex. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 71, 418–443. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.09.021
- Hsieh, S., & Liu, H. (2008). Electrophysiological correlates of task conflicts in task-switching. *Brain Research*, *1203*, 116–125. https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.01.092
- Hyvärinen, A., & Oja, E. (2000). Independent component analysis: Algorithms and applications.

 Neural Networks, 13(4–5), 411–430. https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5
- Imbir, K. K. (2016). Affective Norms for 4900 Polish Words Reload (ANPW_R): Assessments for Valence, Arousal, Dominance, Origin, Significance, Concreteness, Imageability and, Age of Acquisition. Frontiers in Psychology, 7, 1081. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01081
- Imbir, K. K., Pastwa, M., Jankowska, M., Kosman, M., Modzelewska, A., & Wielgopolan, A. (2020).

 Valence and arousal of words in visual and conceptual interference control efficiency. *PLOS ONE*, *15*(11), e0241694. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241694
- Inzlicht, M., Bartholow, B. D., & Hirsh, J. B. (2015). Emotional foundations of cognitive control.

 *Trends in Cognitive Sciences, 19(3), 126–132. https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.01.004
- Irlbacher, K., Kraft, A., Kehrer, S., & Brandt, S. A. (2014). Mechanisms and neuronal networks involved in reactive and proactive cognitive control of interference in working memory.

 Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 46, 58–70.

 https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.06.014

- Isreal, J. B., Chesney, G. L., Wickens, C. D., & Donchin, E. (1980). P300 and Tracking Difficulty: Evidence For Multiple Resources in Dual-Task Performance. *Psychophysiology*, *17*(3), 259–273. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1980.tb00146.x
- Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2002). Inversion and Contrast Polarity Reversal Affect both Encoding and Recognition Processes of Unfamiliar Faces: A Repetition Study Using ERPs.

 NeuroImage, 15(2), 353–372. https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0982
- Ito, T. A., Larsen, J. T., Smith, N. K., & Cacioppo, J. T. (1998). Negative information weighs more heavily on the brain: The negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(4), 887–900. https://doi.org/10.1037/0022-3514.75.4.887
- Ivanchei, I., Begler, A., Iamschinina, P., Filippova, M., Kuvaldina, M., & Chetverikov, A. (2019). A different kind of pain: Affective valence of errors and incongruence. *Cognition & Emotion*, 33(5), 1051–1058. https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1520077
- Jacobs, J., Hwang, G., Curran, T., & Kahana, M. J. (2006). EEG oscillations and recognition memory:

 Theta correlates of memory retrieval and decision making. *NeuroImage*, *32*(2), 978–987.

 https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.02.018
- Jemel, B., Pisani, M., Calabria, M., Crommelinck, M., & Bruyer, R. (2003). Is the N170 for faces cognitively penetrable? Evidence from repetition priming of Mooney faces of familiar and unfamiliar persons. *Cognitive Brain Research*, 17(2), 431–446. https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00145-9
- Jensen, O., Gelfand, J., Kounios, J., & Lisman, J. E. (2002). Oscillations in the alpha band (9-12 Hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cerebral Cortex* (New York, N.Y.: 1991), 12(8), 877–882. https://doi.org/10.1093/cercor/12.8.877
- Jokisch, D., & Jensen, O. (2007). Modulation of Gamma and Alpha Activity during a Working Memory Task Engaging the Dorsal or Ventral Stream. *Journal of Neuroscience*, 27(12), 3244–3251. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5399-06.2007

- Jonides, J., & Nee, D. E. (2006). Brain mechanisms of proactive interference in working memory.

 Neuroscience, 139(1), 181–193. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.06.042
- Joyce, C., & Rossion, B. (2005). The face-sensitive N170 and VPP components manifest the same brain processes: The effect of reference electrode site. *Clinical Neurophysiology*, *116*(11), 2613–2631. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.07.005
- Kanske, P., & Kotz, S. A. (2011). Emotion triggers executive attention: Anterior cingulate cortex and amygdala responses to emotional words in a conflict task. *Human Brain Mapping*, *32*(2), 198–208. https://doi.org/10.1002/hbm.21012
- Kappes, C., & Bermeitinger, C. (2016). The Emotional Stroop as an Emotion Regulation Task.

 *Experimental Aging Research, 42(2), 161–194.

 https://doi.org/10.1080/0361073X.2016.1132890
- Kar, B. R., Srinivasan, N., Nehabala, Y., & Nigam, R. (2018). Proactive and reactive control depends on emotional valence: A Stroop study with emotional expressions and words. *Cognition & Emotion*, 32(2), 325–340. https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1304897
- Kerns, J. G. (2006). Anterior cingulate and prefrontal cortex activity in an FMRI study of trial-to-trial adjustments on the Simon task. *NeuroImage*, *33*(1), 399–405. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.012
- Khoda Bakhshi, A., & Ahmed, M. M. (2021). Practical advantage of crossed random intercepts under Bayesian hierarchical modeling to tackle unobserved heterogeneity in clustering critical versus non-critical crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105855. https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105855
- Kindt, M., Bierman, D., & Brosschot, J. F. (1996). Stroop versus Stroop: Comparison of a card format and a single-trial format of the standard color-word Stroop task and the emotional Stroop task.

 *Personality and Individual Differences, 21(5), 653–661. https://doi.org/10.1016/0191-8869(96)00133-X
- Kleiner, M., Brainard, D., & Pelli, D. (2007). What's new in Psychtoolbox-3?

- Knight, R. T. (1984). Decreased response to novel stimuli after prefrontal lesions in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59(1), 9–20. https://doi.org/10.1016/0168-5597(84)90016-9
- Kobayashi, N., Yoshino, A., Takahashi, Y., & Nomura, S. (2007). Autonomic arousal in cognitive conflict resolution. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 132(1–2), 70–75. https://doi.org/10.1016/j.autneu.2006.09.004
- Kober, H., Barrett, L. F., Joseph, J., Bliss-Moreau, E., Lindquist, K., & Wager, T. D. (2008). Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: A meta-analysis of neuroimaging studies. *NeuroImage*, *42*(2), 998–1031. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.03.059
- Kornblum, S. (1992). Dimensional overlap and dimensional relevance in stimulus–response and stimulus–stimulus compatibility. 2.
- Kornblum, S., Stevens, G. T., Whipple, A., & Requin, J. (1999). The effects of irrelevant stimuli: 1.

 The time course of stimulus–stimulus and stimulus–response consistency effects with Stroop-like stimuli, Simon-like tasks, and their factorial combinations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(3), 688–714. https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.3.688
- Koven, N. S., Heller, W., Banich, M. T., & Miller, G. A. (2003). Relationships of Distinct Affective Dimensions to Performance on an Emotional Stroop Task. *Cognitive Therapy and Research*, 27(6), 671–680. https://doi.org/10.1023/A:1026303828675
- Ladouceur, C. D., Dahl, R. E., & Carter, C. S. (2007). Development of action monitoring through adolescence into adulthood: ERP and source localization. *Developmental Science*, *10*(6), 874–891. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00639.x
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, *30*(3), 261–273. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03352.x

- Larson, M. J., & Clayson, P. E. (2011). The relationship between cognitive performance and electrophysiological indices of performance monitoring. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 11(2), 159–171. https://doi.org/10.3758/s13415-010-0018-6
- Larson, M. J., Kaufman, D. A. S., & Perlstein, W. M. (2009). Neural time course of conflict adaptation effects on the Stroop task. *Neuropsychologia*, 47(3), 663–670. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.11.013
- Lazarus, R. S. (1991). Cognition and motivation in emotion. *The American Psychologist*, 46(4), 352–367. https://doi.org/10.1037//0003-066x.46.4.352
- Liotti, M., Woldorff, M. G., Perez, R., & Mayberg, H. S. (2000). An ERP study of the temporal course of the Stroop color-word interference effect. *Neuropsychologia*, *38*(5), 701–711. https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00106-2
- Liu, J., Higuchi, M., Marantz, A., & Kanwisher, N. (2000). The selectivity of the occipitotemporal M170 for faces. *Neuroreport*, *11*(2), 337–341.
- Liu, Y., Wang, Z., Quan, S., & Li, M. (2017). The effect of positive affect on conflict resolution:

 Modulated by approach-motivational intensity. *Cognition and Emotion*, 31(1), 69–82.

 https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1081874
- Logan, G. D., & Zbrodoff, N. J. (1979). When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a Stroop-like task. *Memory & Cognition*, 7(3), 166–174. https://doi.org/10.3758/BF03197535
- Lu, C., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2), 174–207. https://doi.org/10.3758/BF03210959
- Luck, S. J. (2014). An introduction to the event-related potential technique. MIT press.
- Luo, W., Feng, W., He, W., Wang, N.-Y., & Luo, Y.-J. (2010). Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation. *NeuroImage*, 49(2), 1857–1867. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.09.018

- Macleod, C. (2002). The Stroop Task: The 'Gold Standard' of Attentional Measures. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121. https://doi.org/10.1037/0096-3445.121.1.12
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163–203. https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.2.163
- MacLeod, C. M. (2016). Stroop Effect. In R. Luo (Ed.), *Encyclopedia of Color Science and Technology* (pp. 1–6). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27851-8 67-2
- Maier, M. E., & Steinhauser, M. (2013). Updating Expected Action Outcome in the Medial Frontal Cortex Involves an Evaluation of Error Type. *Journal of Neuroscience*, *33*(40), 15705–15709. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2785-13.2013
- Mansfield, E. L., Karayanidis, F., & Cohen, M. X. (2012). Switch-Related and General Preparation Processes in Task-Switching: Evidence from Multivariate Pattern Classification of EEG Data.

 Journal of Neuroscience, 32(50), 18253–18258. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0737-12.2012
- Mathys, C. (2011). A Bayesian foundation for individual learning under uncertainty. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5. https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00039
- McKenna, F. P. (1986). Effects of unattended emotional stimuli on color-naming performance. *Current Psychological Research & Reviews*, 5(1), 3–9. https://doi.org/10.1007/BF02686591
- McKenna, F. P., & Sharma, D. (1995). Intrusive cognitions: An investigation of the emotional Stroop task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(6), 1595–1607. https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.6.1595
- Melcher, T., Born, C., & Gruber, O. (2011). How negative affect influences neural control processes underlying the resolution of cognitive interference: An event-related fMRI study.

 Neuroscience Research, 70(4), 415–427. https://doi.org/10.1016/j.neures.2011.05.007

- Mensen, A., & Khatami, R. (2013). Advanced EEG analysis using threshold-free cluster-enhancement and non-parametric statistics. *NeuroImage*, 67, 111–118. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.027
- Milham, M. P., & Banich, M. T. (2005). Anterior cingulate cortex: An fMRI analysis of conflict specificity and functional differentiation. *Human Brain Mapping*, 25(3), 328–335. https://doi.org/10.1002/hbm.20110
- Milham, M. P., Banich, M. T., Webb, A., Barad, V., Cohen, N. J., Wszalek, T., & Kramer, A. F. (2001). The relative involvement of anterior cingulate and prefrontal cortex in attentional control depends on nature of conflict. *Cognitive Brain Research*, *12*(3), 467–473. https://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00076-3
- Mitchell, D. J., McNaughton, N., Flanagan, D., & Kirk, I. J. (2008). Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal 'theta'. *Progress in Neurobiology*, 86(3), 156–185. https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2008.09.005
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000).

 The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734
- Moore, R. A., Mills, M., Marshman, P., & Corr, P. J. (2012). Behavioural Inhibition System (BIS) sensitivity differentiates EEG theta responses during goal conflict in a continuous monitoring task. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 85(2), 135–144. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.06.006
- Moors, A., & De Houwer, J. (2006). Automaticity: A theoretical and conceptual analysis. *Psychological Bulletin*, 132(2), 297–326. https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.2.297
- Naccache, L., Dehaene, S., Cohen, L., Habert, M.-O., Guichart-Gomez, E., Galanaud, D., & Willer, J.-C. (2005). Effortless control: Executive attention and conscious feeling of mental effort are

- dissociable. *Neuropsychologia*, 43(9), 1318–1328. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.024
- Nee, D. E., Wager, T. D., & Jonides, J. (2007). Interference resolution: Insights from a meta-analysis of neuroimaging tasks. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 7(1), 1–17. https://doi.org/10.3758/cabn.7.1.1
- Nelson, J. K., Reuter-Lorenz, P. A., Sylvester, C.-Y. C., Jonides, J., & Smith, E. E. (2003).
 Dissociable neural mechanisms underlying response-based and familiarity-based conflict in working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(19), 11171–11175.
 https://doi.org/10.1073/pnas.1334125100
- Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology. General*, 130(3), 466–478. https://doi.org/10.1037//0096-3445.130.3.466
- Oostenvelt, R., Delorme, A., & Makeig, S. (2003). DIPFIT: equivalent dipole source localization of independent components.
- Payne, B. K., Cheng, C. M., Govorun, O., & Stewart, B. D. (2005). An inkblot for attitudes: Affect misattribution as implicit measurement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89(3), 277–293. https://doi.org/10.1037/0022-3514.89.3.277
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(2), 148–158. https://doi.org/10.1038/nrn2317
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 160–166. https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006
- Phaf, R. H., & Kan, K.-J. (2007). The automaticity of emotional Stroop: A meta-analysis. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 38(2), 184–199. https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2006.10.008

- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, *16*(2), 331–348. https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1087
- Pion-Tonachini, L., Kreutz-Delgado, K., & Makeig, S. (2019). ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, 198, 181–197.
- Pizzagalli, D. A., Lehmann, D., Hendrick, A. M., Regard, M., Pascual-Marqui, R. D., & Davidson, R. J. (2002). Affective Judgments of Faces Modulate Early Activity (~160 ms) within the Fusiform Gyri. *NeuroImage*, *16*(3), 663–677. https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1126
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology:*Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 118(10), 2128–2148. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019
- Pourtois, G., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2004). Electrophysiological correlates of rapid spatial orienting towards fearful faces. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *14*(6), 619–633. https://doi.org/10.1093/cercor/bhh023
- Pratto, F., & John, O. P. (1991). Automatic vigilance: The attention-grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61(3), 380–391. https://doi.org/10.1037//0022-3514.61.3.380
- Puccioni, O., & Vallesi, A. (2012). High cognitive reserve is associated with a reduced age-related deficit in spatial conflict resolution. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 327. https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00327
- Rabbitt, P. M. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. *Journal of Experimental Psychology*, 71(2), 264–272. https://doi.org/10.1037/h0022853
- Rabbitt, P. M. (1968). Three Kinds of Error-Signalling Responses in a Serial Choice Task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20(2), 179–188. https://doi.org/10.1080/14640746808400146

- Rainville, P., Duncan, G. H., Price, D. D., Carrier, B., & Bushnell, M. C. (1997). Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex. *Science (New York, N.Y.)*, 277(5328), 968–971. https://doi.org/10.1126/science.277.5328.968
- Renaud, P., & Blondin, J. P. (1997). The stress of Stroop performance: Physiological and emotional responses to color-word interference, task pacing, and pacing speed. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 27(2), 87–97. https://doi.org/10.1016/s0167-8760(97)00049-4
- Rosinski, R. R., Golinkoff, R. M., & Kukish, K. S. (1975). Automatic Semantic Processing in a Picture-Word Interference Task. *Child Development*, 46(1), 247. https://doi.org/10.2307/1128859
- Rossion, B., Campanella, S., Gomez, C. M., Delinte, A., Debatisse, D., Liard, L., Dubois, S., Bruyer, R., Crommelinck, M., & Guerit, J.-M. (1999). Task modulation of brain activity related to familiar and unfamiliar face processing: An ERP study. *Clinical Neurophysiology*, *110*(3), 449–462. https://doi.org/10.1016/S1388-2457(98)00037-6
- Rossion, B., Joyce, C. A., Cottrell, G. W., & Tarr, M. J. (2003). Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex. *NeuroImage*, 20(3), 1609–1624. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.010
- Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review*, 110(1), 145–172. https://doi.org/10.1037/0033-295x.110.1.145
- Ruz, M., Madrid, E., & Tudela, P. (2013). Interactions between perceived emotions and executive attention in an interpersonal game. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(7), 838–844. https://doi.org/10.1093/scan/nss080
- Saunders, B., Milyavskaya, M., & Inzlicht, M. (2015a). Variation in Cognitive Control as Emotion Regulation. *Psychological Inquiry*, 26(1), 108–115. https://doi.org/10.1080/1047840X.2015.962396

- Saunders, B., Milyavskaya, M., & Inzlicht, M. (2015b). What does cognitive control feel like? Effective and ineffective cognitive control is associated with divergent phenomenology: What does control feel like? *Psychophysiology*, *52*(9), 1205–1217. https://doi.org/10.1111/psyp.12454
- Saunders, B., Rodrigo, A. H., & Inzlicht, M. (2016). Mindful awareness of feelings increases neural performance monitoring. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *16*(1), 93–105. https://doi.org/10.3758/s13415-015-0375-2
- Sauseng, P., Griesmayr, B., Freunberger, R., & Klimesch, W. (2010). Control mechanisms in working memory: A possible function of EEG theta oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(7), 1015–1022. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.006
- Schimmack, U., & Derryberry, D. (2005). Attentional interference effects of emotional pictures: Threat, negativity, or arousal? *Emotion (Washington, D.C.)*, 5(1), 55–66. https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.55
- Schmidt, J. R. (2013). Temporal Learning and List-Level Proportion Congruency: Conflict Adaptation or Learning When to Respond? *PLoS ONE*, 8(11), e82320. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082320
- Schmidt, J. R., & Besner, D. (2008). The Stroop effect: Why proportion congruent has nothing to do with congruency and everything to do with contingency. *Journal of Experimental Psychology*. *Learning, Memory, and Cognition*, 34(3), 514–523. https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.3.514
- Schutter, D. J. L. G., de Haan, E. H. F., & van Honk, J. (2004). Functionally dissociated aspects in anterior and posterior electrocortical processing of facial threat. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 53(1), 29–36. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.01.003
- Schwarz, N. (2000). Emotion, cognition, and decision making. *Cognition & Emotion*, 14(4), 433–440.

- Shackman, A. J., Salomons, T. V., Slagter, H. A., Fox, A. S., Winter, J. J., & Davidson, R. J. (2011).

 The integration of negative affect, pain and cognitive control in the cingulate cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(3), 154–167. https://doi.org/10.1038/nrn2994
- Shanks, D. R. (2007). Associationism and cognition: Human contingency learning at 25. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, 60(3), 291–309. https://doi.org/10.1080/17470210601000581
- Sharma, D., & McKenna, F. P. (2001). The role of time pressure on the emotional Stroop task. *British Journal of Psychology (London, England: 1953)*, 92 Part 3, 471–481.
- Shen, X. (2006). P300 and response time from the colored kanji stroop task. *International Journal of Neuroscience*, 116(12), 1481–1490. https://doi.org/10.1080/00207450500514177
- Siegle, G. J., Steinhauer, S. R., & Thase, M. E. (2004). Pupillary assessment and computational modeling of the Stroop task in depression. *International Journal of Psychophysiology:*Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 52(1), 63–76. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2003.12.010
- Siegrist, M. (1997). Test-Retest Reliability of Different Versions of the Stroop Test. *The Journal of Psychology*, *131*(3), 299–306. https://doi.org/10.1080/00223989709603516
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science (New York, N.Y.)*, 283(5408), 1657–1661. https://doi.org/10.1126/science.283.5408.1657
- Sollfrank, T., Kohnen, O., Hilfiker, P., Kegel, L. C., Jokeit, H., Brugger, P., Loertscher, M. L., Rey, A., Mersch, D., Sternagel, J., Weber, M., & Grunwald, T. (2021). The Effects of Dynamic and Static Emotional Facial Expressions of Humans and Their Avatars on the EEG: An ERP and ERD/ERS Study. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 651044. https://doi.org/10.3389/fnins.2021.651044
- Song, S., Zilverstand, A., Song, H., d'Oleire Uquillas, F., Wang, Y., Xie, C., Cheng, L., & Zou, Z. (2017). The influence of emotional interference on cognitive control: A meta-analysis of

- neuroimaging studies using the emotional Stroop task. *Scientific Reports*, 7(1), 2088. https://doi.org/10.1038/s41598-017-02266-2
- Spinelli, G., & Lupker, S. J. (2020). Item-specific control of attention in the Stroop task: Contingency learning is not the whole story in the item-specific proportion-congruent effect. *Memory & Cognition*, 48(3), 426–435. https://doi.org/10.3758/s13421-019-00980-y
- Spinelli, G., & Lupker, S. J. (2021). Proactive control in the Stroop task: A conflict-frequency manipulation free of item-specific, contingency-learning, and color-word correlation confounds. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 47(10), 1550–1562. https://doi.org/10.1037/xlm0000820
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. https://doi.org/10.1037/h0054651
- Tanner, D., Morgan-Short, K., & Luck, S. J. (2015). How inappropriate high-pass filters can produce artifactual effects and incorrect conclusions in ERP studies of language and cognition: High-pass filtering and artifactual ERP effects. *Psychophysiology*, *52*(8), 997–1009. https://doi.org/10.1111/psyp.12437
- Tieges, Z., Snel, J., Kok, A., Plat, N., & Ridderinkhof, R. (2007). Effects of caffeine on anticipatory control processes: Evidence from a cued task-switch paradigm. *Psychophysiology*, 44(4), 561–578. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00534.x
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., Marcus, D. J., Westerlund, A., Casey, B., & Nelson, C. (2009). The NimStim set of facial expressions: Judgments from untrained research participants. *Psychiatry Research*, *168*(3), 242–249. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2008.05.006
- van Casteren, M., & Davis, M. H. (2006). Mix, a program for pseudorandomization. *Behavior Research Methods*, 38(4), 584–589. https://doi.org/10.3758/BF03193889

- van der Wel, P., & van Steenbergen, H. (2018). Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(6), 2005–2015. https://doi.org/10.3758/s13423-018-1432-y
- Verguts, T., & Notebaert, W. (2009). Adaptation by binding: A learning account of cognitive control.

 *Trends in Cognitive Sciences, 13(6), 252–257. https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.02.007
- Viviani, G., Vallesi, A., Visalli, A., & Ambrosini, E. (2022). Spatial Stroop Task: a Review. *In preparation*
- Voytek, B., Kayser, A. S., Badre, D., Fegen, D., Chang, E. F., Crone, N. E., Parvizi, J., Knight, R. T., & D'Esposito, M. (2015). Oscillatory dynamics coordinating human frontal networks in support of goal maintenance. *Nature Neuroscience*, 18(9), 1318–1324. https://doi.org/10.1038/nn.4071
- Vuilleumier, P., Richardson, M. P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2004). Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing.
 Nature Neuroscience, 7(11), 1271–1278. https://doi.org/10.1038/nn1341
- West, R. (2003). Neural correlates of cognitive control and conflict detection in the Stroop and digit-location tasks. *Neuropsychologia*, 41(8), 1122–1135. https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00297-x
- West, R. (2004). The effects of aging on controlled attention and conflict processing in the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(1), 103–113. https://doi.org/10.1162/089892904322755593
- West, R., & Bailey, K. (2012). ERP correlates of dual mechanisms of control in the counting Stroop task: Dual mechanisms of control. *Psychophysiology*, 49(10), 1309–1318. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01464.x
- Wickens, C., Kramer, A., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. *Science* (New York, N.Y.), 221(4615), 1080–1082. https://doi.org/10.1126/science.6879207

- Williams, J. M. G., Mathews, A., & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120(1), 3–24. https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.1.3
- Winkler, I., Debener, S., Müller, K.-R., & Tangermann, M. (2015). On the influence of high-pass filtering on ICA-based artifact reduction in EEG-ERP. 4101–4105.
- Wyble, B., Sharma, D., & Bowman, H. (2008). Strategic regulation of cognitive control by emotional salience: A neural network model. *Cognition & Emotion*, 22(6), 1019–1051. https://doi.org/10.1080/02699930701597627
- Yang, Q., Zhang, Y., Wang, J., & Wu, Y. (2020). Processing Facial Expressions That Conflict With Their Meanings to an Observer: An Event Related Potential Study. *Frontiers in Psychology*, 11, 1273. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01273
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The Neural Basis of Error Detection: Conflict Monitoring and the Error-Related Negativity. *Psychological Review*, *111*(4), 931–959. https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.4.931
- Zeng, Q., Qi, S., Li, M., Yao, S., Ding, C., & Yang, D. (2017). Enhanced conflict-driven cognitive control by emotional arousal, not by valence. *Cognition and Emotion*, *31*(6), 1083–1096. https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1189882
- Zhang, H., & Kornblum, S. (1998). The effects of stimulus–response mapping and irrelevant stimulus–response and stimulus–stimulus overlap in four-choice Stroop tasks with single-carrier stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(1), 3–19. https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.1.3