



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale**

**Corso di laurea Triennale in Scienze Psicologiche Cognitive e  
Psicobiologiche**

**Elaborato finale**

**INTERAZIONE TRA CONTROLLO PROATTIVO E  
INTERFERENZA A LIVELLO DI RISPOSTA IN UN  
COMPITO DI STROOP SPAZIALE**

**Interaction between proactive control and response-level  
interference in a spatial Stroop task**

**Relatore:**

**Prof. Ettore Ambrosini**

**Laureando: Jacopo Barbiero**

**Matricola: 1221201**

**Anno Accademico 2021/2022**

# Indice

<b>CAPITOLO I - Presupposti teorici</b> .....	pag. 1
1. Funzioni esecutive .....	pag. 1
1.1. Definizione .....	pag. 1
1.2. Meccanismo duale di controllo cognitivo (DMC) .....	pag. 3
1.3 Modello Cascade of Control (CoC) .....	pag. 4
2. Test di Stroop .....	pag. 5
2.1 Manipolazioni del test di Stroop .....	pag. 7
2.2 Loci dello Stroop .....	pag. 10
<b>CAPITOLO II – studio sperimentale</b> .....	pag. 13
1. Obiettivi e ipotesi .....	pag. 13
2. Metodi .....	pag. 15
2.1. Partecipanti .....	pag. 15
2.2. Disegno sperimentale e materiali .....	pag. 15
2.3. Procedura .....	pag. 20
2.4. Analisi dei dati .....	pag. 21
3. Risultati .....	pag. 23
<b>CAPITOLO III – Discussione e conclusioni</b> .....	pag. 26
<b>Bibliografia</b> .....	pag. 29

# **CAPITOLO I - Presupposti teorici**

## **1. Funzioni esecutive**

Il termine Funzioni Esecutive (FE) indica una serie di abilità che riguardano il controllo di comportamenti orientato alla realizzazione di obiettivi, specialmente in situazioni nuove o impreviste. Ciò avviene attraverso la modulazione, l'attivazione e l'inibizione di processi legati a percezione, attenzione, memoria e azione.

Le abilità che rientrano nelle FE sono molteplici, disparate e complesse, e per questo il loro studio può risultare problematico sia per quanto riguarda la loro definizione che la loro operazionalizzazione (Banich, 2009).

### **1.1. Definizione**

Le FE riguardano il controllo volontario del comportamento. Sono processi cognitivi direttamente coinvolti nella selezione e nell'organizzazione delle abilità cognitive, e servono a raggiungere un determinato scopo. Nel corso degli anni molti ricercatori hanno provato ad affinare la definizione di FE. Tra i primi Baddeley e Hitch (1974) descrivevano le FE come sistema di controllo attentivo, detto esecutivo centrale, che supervisiona l'attività di altri sistemi periferici: loop fonologico e taccuino visuospatiale.

Tra le differenti definizioni si possono identificare caratteristiche comuni attribuite alle FE, tra cui il controllo attentivo, l'organizzazione e la pianificazione del comportamento orientato a uno scopo, la capacità di mantenere, accedere e manipolare informazioni presenti in memoria e monitorare lo stato interno ed esterno (Funahashi & Andreau, 2013).

Data la vasta gamma di capacità coinvolte, è utile e conveniente ricorrere a una definizione ampia, indicando come FE l'insieme di capacità che si rendono

indispensabili per guidare il comportamento per raggiungere uno scopo, necessarie in condizioni nuove e impreviste (Banich, 2009).

Tra le FE si individuano processi che agiscono ad un livello più “basso”, come controllo attentivo, resistenza all’interferenza, memoria di lavoro e updating, flessibilità cognitiva (switching), monitoring e checking delle regole, mantenimento del goal, ecc. Sono inclusi anche processi che agiscono ad un livello più “elevato”, che necessitano l’impiego dei processi di base appena nominati, come pianificazione, problem solving, ragionamento, intelligenza fluida, ecc. Secondo alcuni studi le capacità di controllo attentivo delle FE hanno un ruolo gerarchicamente superiore ad altri meccanismi specifici (Amso e Scerif, 2015).

### *CORRELATI ANATOMO-FUNZIONALI*

Un ruolo centrale nei processi cognitivi legati alle FE sembrerebbe essere assunto dalla corteccia prefrontale (prefrontal cortex, PFC). Risulterebbe infatti coinvolta nella pianificazione e nell’esecuzione di schemi d’azione e nel controllo dei vari processi cognitivi che rientrano nelle FE (Gläscher et al., 2012; Stuss, 2011; Stuss & Alexander, 2007).

Data la vasta gamma di capacità comprese nel costrutto di FE è facile pensare che queste non dipendano esclusivamente dalla PFC. Nel corso degli anni si è passati da una visione che attribuiva questo tipo di processi esclusivamente alla PFC ad una visione che attribuisce i processi delle FE ad un ampio network di aree tra cui la PFC, la corteccia premotoria (PMC), alcune regioni nel lobo parietale e alcune regioni sottocorticali (Dosenbach et al., 2008).

Secondo più recenti studi di neuroimmagine l’attività di due diversi circuiti corticali è stata associata alle FE:

- circuito cingulo-opercolare (cingulo-opercular network, CON), che si occupa di mantenimento del goal, del task-set e del monitoraggio di errori e conflitti;

- circuito fronto-parietale (fronto-parietal network, FPN), che si occupa di processi di controllo attentivo (ad esempio di resistenza all'interferenza), di memoria di lavoro e di flessibilità cognitiva.

La funzione di questi due distinti network coincide, ed è il mantenimento delle informazioni rilevanti per il task goal, ma punta ad essere raggiunta tramite meccanismi diversi: il FPN sembrerebbe mantenere le informazioni rilevanti per il compito per uno (o comunque un piccolo numero) di trial, per implementare modifiche ai parametri di controllo più rapidamente. Il CON fornirebbe un "set di mantenimento" stabile e duraturo.

Questo modello duale dei meccanismi di controllo mostra come l'organizzazione del comportamento possa essere flessibile pur mantenendo una struttura stabile nel tempo, e come questa flessibilità permetta l'adattamento alle situazioni nuove e impreviste (Dosenbach et al., 2008).

## **1.2. Meccanismo duale di controllo cognitivo (DMC)**

L'aspetto multidimensionale delle FE e la loro intrinseca variabilità provano ad essere spiegati dal quadro teorico del meccanismo duale di controllo cognitivo (Dual Mechanism of Control, DMC) di Braver, in termini di relazioni temporali tra diversi processi di controllo cognitivo. Il principio cardine del DMC è la divisione di due modalità di controllo, il **controllo proattivo** (proactive control, PC) e il **controllo reattivo** (reactive control, RC).

Il controllo proattivo rappresenta un meccanismo di selezione precoce in cui le informazioni rilevanti per lo scopo (goal-relevant informations) sono mantenute attive in maniera sostenuta, ancor prima di un evento che le richieda, in modo da influenzare e quindi ottimizzare l'elaborazione dell'evento. Il controllo reattivo, al contrario, è una forma di correzione tardiva, che viene utilizzata solo quando è strettamente necessario, come in caso di eventi ad alta interferenza.

Il controllo proattivo risulterebbe legato all'attivazione sostenuta della corteccia prefrontale laterale (IPFC), associata all'attività di mantenimento del task goal (Paxton et al., 2008). Questa attività sembrerebbe portare ad uno sbilanciamento

di tipo top-down nel modo in cui informazioni utili all'obiettivo vengono elaborate, favorendo le informazioni utili e quindi migliorando l'efficienza generale di elaborazione di eventi ad alto carico cognitivo.

Il controllo reattivo, invece, si rifletterebbe nell'attivazione transitoria della IPFC, in associazione ad altre regioni cerebrali ad essa connesse. Questa attivazione transitoria rifletterebbe una riattivazione dei task goals di tipo bottom-up, dovuta al rilevamento di interferenza (grazie ad alcune regioni come ad esempio la corteccia cingolata anteriore) o ad associazioni di tipo episodico.

Un efficace controllo cognitivo verrebbe quindi associato ad una concomitanza di queste due strategie, dato che entrambe presentano sia vantaggi che svantaggi.

### **1.3 Modello Cascade of Control (CoC)**

Una spiegazione ai meccanismi che regolano il controllo cognitivo, e in particolare la risoluzione dell'interferenza, viene data dal modello Cascade of Control (CoC) della Banich (Banich, 2019), secondo cui l'interferenza possa generarsi lungo una serie di fasi strettamente connesse.

In particolare, il modello Cascade of Control suggerisce la presenza di almeno quattro processi che vengono impiegati nella risoluzione dell'interferenza. Un primo processo, legato all'attività di regioni posteriori della IPFC, influenza il processamento di informazioni, favorendo l'elaborazione di quelle che sono più importanti per l'obiettivo, e sfavorendo quelle irrilevanti. Un secondo processo, legato a regioni dorsolaterali, è collegato al mantenimento in memoria di lavoro di informazioni rilevanti per il task goal attuale. Il terzo processo, legato all'attivazione di regioni cingolate medio-caudali, è coinvolto nella selezione tardiva della risposta. Infine regioni della corteccia cingolata anteriore (ACC) si occupano di valutare l'appropriatezza della risposta e inviano un feedback alla IPFC.

Questo modello quindi sostiene che il grado di interferenza e il modo in cui avviene il controllo cognitivo dipendono da come i primi due processi lungo questa "cascata del controllo" creino delle condizioni appropriate per

l'elaborazione delle informazioni più rilevanti in un certo compito, e da come il terzo processo possa fornire una risposta tardiva a situazioni ad alta interferenza.

## 2. Test di Stroop

Come si diceva nel primo capitolo, le FE includono abilità disparate e complesse, e per questo il loro studio può risultare problematico sia per quanto riguarda la loro definizione che la loro operazionalizzazione (Banich, 2009).

Dato che le FE includono molteplici capacità, non esiste un test unico per misurarle, quanto piuttosto una serie di diversi compiti per studiare i singoli processi esecutivi. Alcuni test classici in questo senso, ad esempio, sono il Wisconsin Card Sorting Test (Grant & Berg, 1948), utilizzato per indagare la flessibilità nella scelta di strategie nel problem solving e lo Stroop Test (Stroop, 1935), utilizzato per indagare l'attenzione selettiva (Klein, 1964) attraverso un compito in cui i partecipanti devono concentrarsi su una dimensione dello stimolo ignorandone un'altra.

Per indagare i meccanismi sottostanti al controllo cognitivo i ricercatori hanno usato compiti di attenzione selettiva, in cui venivano generati conflitti cognitivi, ovvero situazioni in cui le istruzioni di un compito si contrapponevano a tendenze automatiche.

Il test di Stroop, che prende il nome dal ricercatore che per primo lo ha ideato (Stroop, 1935), serve a misurare l'effetto dell'interferenza generata da uno specifico compito, detto appunto compito di Stroop o, più semplicemente, Stroop. Il compito di Stroop classico consisteva nella presentazione di non-parole (come ad esempio *vagd*) e di parole (come ad esempio *blu*), utilizzando un inchiostro colorato. Il compito del soggetto era identificare il colore con cui era scritta la parola presentata.

Le condizioni sperimentali erano quindi tre:

- una neutra, in cui veniva presentata una non-parola;

- una congruente, in cui la parola rispecchiava il colore con cui era scritta (es. BLU scritto in blu);
- una incongruente, in cui la parola non rispecchiava il colore con cui era scritta (es. BLU scritto in rosso).

Il significato della parola, pur essendo irrilevante per dare la risposta, influiva comunque nei tempi di risposta del soggetto, creando interferenza. Si osservava quindi che nella condizione di incongruenza i tempi di risposta erano notevolmente più alti rispetto alle altre condizioni.

Nel fornire la risposta il partecipante deve quindi inibire le informazioni legate al significato della parola e utilizzare solamente il colore con cui è scritta la parola. Stroop (1935) deduce quindi che il significato della parola viene elaborato in maniera più immediata rispetto al colore con cui è scritta. Questo si riflette nei risultati osservati, in cui le risposte in condizioni incongruenti sono più lente. Queste differenze nei tempi di risposta (TR) tra condizioni congruenti e incongruenti prende il nome di effetto Stroop (MacLeod, 1991).

Nel compito Stroop sono coinvolti quindi processi che vengono inclusi nel costrutto di inibizione. Nella recente letteratura l'inibizione verrebbe collegata ad un insieme di funzioni, più che a un costrutto singolo. Ad esempio Friedman & Miyake (2004), riprendendo una precedente definizione di Nigg (2000), identificano tre tipi di inibizione:

- Inibizione di risposta dominante (Prepotent Response Inhibition), cioè la soppressione di risposte dominanti, automatiche;
- Resistenza all'interferenza (Resistance to Distractor Interference), cioè la capacità di abilità di risolvere l'interferenza tra due informazioni
- Resistenza all'interferenza proattiva (Resistance to Proactive Interference), cioè la resistenza a ricordi intrusivi di informazioni divenute irrilevanti.

Il test di Stroop misura la resistenza all'interferenza, quindi la capacità di risolvere l'interferenza generale dall'ambiente esterno grazie alla resistenza a informazioni irrilevanti per il task goal.



La versione classica dello Stroop è stata modificata in molti modi, creando una serie di paradigmi sperimentali differenti, uno dei quali è lo Stroop spaziale, utilizzato nell'esperimento trattato in questo elaborato di tesi.

Nella variante da noi utilizzata, ogni trial è composto dalla comparsa di una freccia, che possiede due caratteristiche:

- una direzione in cui punta, che può essere uno dei quattro angoli
- una posizione in cui compare, che può essere in uno dei quattro quadranti dello schermo

Le condizioni che si vengono a creare sono dunque due: una di congruenza, in cui la direzione della freccia e la sua posizione coincidono (es. la freccia che compare in alto a sinistra e che punta in alto a sinistra) e una di incongruenza (es. la freccia che compare in alto a sinistra e che punta in basso a sinistra).

Il compito del soggetto è di indicare la direzione in cui punta la freccia, ignorando l'informazione irrilevante che crea interferenza, cioè la posizione in cui compare la freccia.

## **2.1 Manipolazioni del test di Stroop**

### *PROPORZIONE DI CONGRUENZA (PC)*

Il test di Stroop è appunto utilizzato per studiare i meccanismi del controllo cognitivo, che viene utilizzato per ottimizzare l'orientamento selettivo dell'attenzione e per risolvere l'interferenza dovuta alla condizione sperimentale di incongruenza. In base alla situazione può essere richiesto un differente livello di controllo, a livello sperimentale questo può essere studiato manipolando la proporzione di congruenza.

Il termine Proporzione di Congruenza (PC) indica la proporzione di trial congruenti sul totale di trial di un determinato blocco sperimentale. La manipolazione della PC è strettamente collegata all'importanza che deve essere data alla dimensione rilevante e dunque al grado di controllo cognitivo da applicare a livello proattivo. In altre parole quando la PC è bassa si rende

necessario un maggiore controllo cognitivo, in quanto è più probabile incontrare un trial incongruente e la dimensione rilevante sarà poco predittiva della risposta da dare (Braem, 2019).

La manipolazione della PC può quindi portare ad indagare condizioni in cui i trial congruenti sono la maggioranza (alta PC) in cui viene richiesto poco controllo cognitivo, e situazioni in cui i trial incongruenti sono la maggioranza (bassa PC) in cui viene richiesto un maggiore controllo.

La PC può venire modificata in due modi:

- a livello di lista (list-wide congruency proportion, LWPC), che si riferisce al numero di trial congruenti sul totale dei trial del blocco sperimentale;
- a livello di item (item-specific congruency proportion, ISPC), che si riferisce alla percentuale in cui uno specifico item è congruente rispetto al numero di volte in cui viene presentato nel blocco sperimentale.

Si è detto che l'effetto Stroop rappresenta la differenza di TR tra situazioni di congruenza e incongruenza e che quindi riflette direttamente l'efficacia del controllo cognitivo applicato. Molti studi riportano che la grandezza dell'effetto Stroop risulta minore in condizioni a bassa PC rispetto a quelle ad alta PC (ad esempio Bugg et al., 2012). Questo effetto si chiama Effetto PC, ed è osservabile sia a livello di lista, detto Effetto LWPC (vedi Figura 1), sia a livello di item, detto Effetto ISPC (vedi Figura 2).

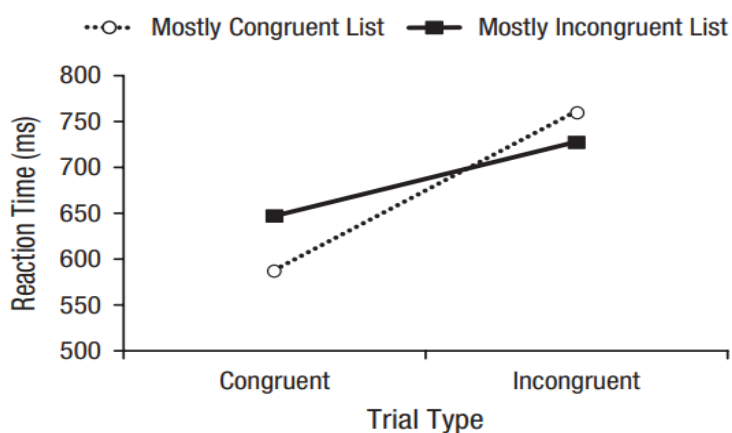
L'effetto LWPC è attribuito a strategie di controllo che modulano il grado con cui le diverse informazioni, come ad esempio significato della parola e colore con cui è scritta, influenzano la performance in un dato contesto (Jacoby, 2008).

Nelle condizioni per lo più incongruenti (bassa PC) il controllo agirebbe basandosi maggiormente sul task goal, riducendo strategicamente l'influenza dell'informazione non rilevante precedentemente alla comparsa dello stimolo attraverso strategie globali di controllo top-down. Al contrario, nelle condizioni per lo più congruenti (alta PC) l'informazione non rilevante è scarsamente inibita, dato che spesso è predittiva della risposta corretta da dare. In questi casi (alta

PC) gli stimoli incongruenti producono un maggiore conflitto quando vengono presentati rispetto alle situazioni a bassa PC (ad esempio Carter et al., 2000).

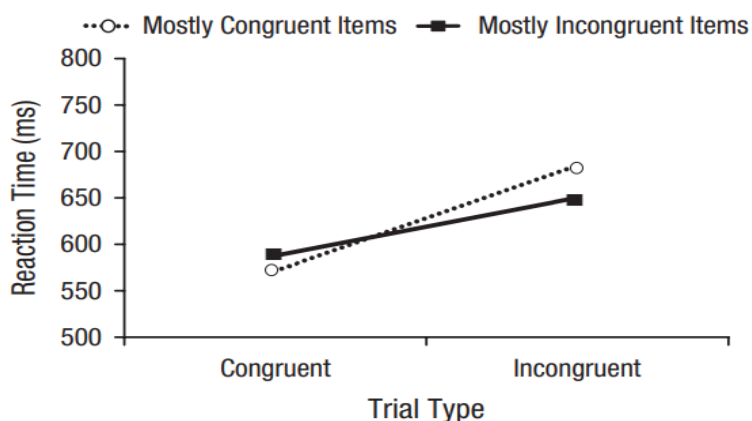
L'effetto ISPC sarebbe attribuito a meccanismi di controllo cognitivo attivati esclusivamente alla presentazione di item ad elevata interferenza, che richiedono quindi alti livelli di controllo.

Secondo alcuni ricercatori effetto LWPC e effetto ISPC rifletterebbero rispettivamente i meccanismi di controllo proattivo e reattivo (Bugg, 2012). È stato mostrato che questi due effetti possono essere utilizzati per dissociare controllo proattivo e reattivo (Gonthier et al., 2016), e che quindi questi due processi sono indipendenti e utilizzati in differenti condizioni sperimentali.



**Figura 1:** Effetto di congruenza a livello di lista (LWPC): l'interferenza risulta minore per condizioni a maggiore incongruenza a livello di lista rispetto a quelle a maggiore congruenza.

Fonte: Bugg et al., 2011



**Figura 2:** *Effetto di congruenza a livello di item (ISPC): l'interferenza risulta minore per condizioni a maggiore incongruenza a livello di item rispetto a quelle a maggiore congruenza.*

*Fonte: adattato da Jacoby et al., 2003*

## 2.2 Loci dello Stroop

La molteplicità delle ricerche condotte utilizzando il test di Stroop si basava con forza sul presupposto che l'effetto Stroop sia causato da un singolo meccanismo e cioè che fosse causato da un singolo locus. Dei recenti studi indagano invece la possibilità che nello Stroop siano coinvolti diversi processi, isolati e distinguibili, come spiegato chiaramente in una rassegna di Parris et al. (2021). Ci sarebbero infatti almeno tre loci, corrispondenti a diversi tipi di conflitto, di cui ora parleremo.

Come detto, nello Stroop si genera interferenza a livello di informazione (*informational conflict*), cioè la presenza nei trial incongruenti di un'informazione rilevante e una non rilevante che sono in contrasto. Oltre a questo tipo di interferenza si ha anche l'interferenza a livello di compito (*task conflict*), legata al fatto che una dimensione dello stimolo viene favorita in maniera automatica (Goldfarb et al., 2007). Rogers e Monsell (1995) e Waszak, Hommel, e Allport (2003) hanno mostrato come certi tipi di stimoli abbiano l'abilità di evocare un compito fortemente associato a quel tipo di stimoli. Un esempio è rappresentato dal fatto che quando compare una parola i partecipanti eseguirebbero una lettura

automatica della parola (MacLeod e MacDonald, 2000). Quando il compito evocato da una caratteristica dello stimolo è diverso dal compito da compiere, si genera conflitto.

Nel caso dello Stroop classico, il conflitto a livello di task emerge tra il compito di identificare il colore (compito rilevante) e il compito di leggere la parola (compito non rilevante). Questo conflitto si manifesta a prescindere dalla congruenza tra significato della parola e colore con cui è scritta.

Secondo alcuni studi le differenze tra conflitto a livello di informazione e a livello di task dimostrerebbero la presenza di almeno due loci coinvolti nell'attenzione selettiva usata nel compito Stroop. Questi due meccanismi sembrerebbero essere dissociabili, seppur interconnessi, e potrebbero non avvenire contemporaneamente (Parris et al., 2021).

Un altro tipo di conflitto è quello a livello di risposta (response conflict) che, similmente al conflitto a livello di informazione, è legato all'attivazione di due risposte che competono, una evocata dalla dimensione rilevante e una da quella irrilevante dello stimolo. Questa competizione genera la cosiddetta interferenza a livello di risposta. Mentre il conflitto a livello di informazione avviene al momento dell'elaborazione delle informazioni e dipende dall'interferenza tra le due dimensioni dello stimolo, il conflitto a livello di risposta si manifesta nel momento della risposta e dipende, appunto, dalla competizione tra l'attivazione di due possibili risposte (suggerite dalle due dimensioni dello stimolo).

È interessante notare che il grado di interferenza a livello di risposta nei trial incongruenti può essere manipolato per indagare il peso relativo del locus a livello di risposta. Ciò può essere raggiunto modificando la probabilità di occorrenza di una risposta rispetto alle altre all'interno di un determinato blocco sperimentale. Per esempio, se una risposta R1 è più frequente all'interno di un blocco sperimentale, allora questa risposta dovrebbe essere pre-attivata maggiormente e facilitata rispetto ad un'altra risposta R2 con una frequenza più bassa. Questo per la presenza di meccanismi che permettono la previsione di eventi basandosi sulle regolarità osservate e puntando ad un aumento dell'efficienza dell'elaborazione delle informazioni. In questo esempio, in un trial incongruente

con una freccia con posizione 1 (P1) e direzione 2 (D2), e quindi una freccia P1D2, in cui la risposta corretta è R2:

1. la posizione P1, irrilevante, eliciterebbe la risposta R1, fortemente pre-attivata (perché più probabile) ma inappropriata;
2. la direzione D2, rilevante, eliciterebbe la risposta R2, appropriata ma debolmente pre-attivata (perché meno probabile). La freccia P1D2 eliciterebbe quindi una maggiore interferenza a livello di risposta rispetto, ad esempio, al trial incongruente con freccia P2D1.

Mentre la risoluzione del conflitto di informazione sarebbe legata al controllo proattivo, la risoluzione del conflitto di risposta richiede altri processi riconducibili al controllo reattivo: solo dopo aver visto lo stimolo incongruente si attivano due risposte conflittuali (generate dalle due caratteristiche dello stimolo) e, se il conflitto è alto, si rende necessario un maggior controllo (reattivo) per risolverlo.

In condizioni di alto utilizzo del controllo proattivo (cioè in condizioni di bassa LWPC), diminuirebbe il peso di quello reattivo, poiché l'interferenza sarebbe già risolta "a monte". In condizioni di basso controllo proattivo, invece, il controllo reattivo sarebbe l'unico a poter risolvere l'interferenza. In condizioni di basso controllo proattivo, quindi ad alta LWPC, ci aspettiamo dunque che l'effetto del conflitto di risposta sia maggiore.

## **CAPITOLO II – studio sperimentale**

### **1. Obiettivi e ipotesi**

Questo studio mira a mettere in chiaro i rapporti tra i processi di controllo utilizzati per risolvere l'interferenza a livello di informazione e a livello di risposta. Per far ciò è stato utilizzato un paradigma di Stroop spaziale in cui venivano manipolate sia la PC a livello di lista (LWPC), sia il conflitto a livello di risposta.

La manipolazione di queste due variabili servirebbe ad indagare il peso relativo e l'eventuale interazione tra, da un lato, l'interferenza a livello di informazione, la cui risoluzione richiede soprattutto i processi top-down di controllo, descritti sia dal DMC (controllo proattivo) che dal modello Cascade of Control (i primi due processi) e, dall'altro lato, l'interferenza a livello di risposta, la cui risoluzione richiede altri processi descritti dal modello Cascade of Control (il terzo processo), che sarebbero riconducibili al controllo reattivo del DMC. In particolare, questo studio si pone l'obiettivo di indagare come queste strategie di controllo siano utilizzate per risolvere l'interferenza generata da un compito Stroop e come queste strategie interagiscano tra loro.

In altre parole il presente studio mira ad indagare come la risoluzione di due tipi di interferenza generati l'effetto Stroop, ovvero l'interferenza a livello di informazione e a livello di risposta, influisca sulla performance dei partecipanti. L'obiettivo è quindi di riconoscere e distinguere gli effetti dovuti a questi due tipi di conflitto, e analizzare l'interazione tra loro.

Per fare ciò sono state realizzate sedici diverse condizioni sperimentali, derivanti da due livelli di PC (di 25 e 50) e otto diversi valori di conflitto a livello di risposta (si veda il paragrafo 2.2 per una spiegazione su come calcolare il conflitto di risposta).

La variabile dipendente che verrà misurata sono i tempi di risposta (TR) nei trial incongruenti. La necessità di considerare solo i trial incongruenti origina dal fatto che il conflitto a livello di risposta deriva da una differenza tra l'informazione

rilevante (direzione) e quella irrilevante (posizione); nelle situazioni di congruenza queste due coincidono e dunque non si genera conflitto a livello di risposta.

Ci si attende che entrambe le manipolazioni del conflitto di risposta e della LWPC modulino la prestazione dei partecipanti. Ci si aspetta inoltre di trovare un effetto di interazione tra il conflitto di risposta e la LWPC.

Le ipotesi che si possono verificare nel corrente studio sono quindi le seguenti:

- 1) Se il conflitto a livello di risposta influisce sulla performance, i TR dovrebbero aumentare all'aumentare del conflitto di risposta;
- 2) Se la LWPC influisce sulla performance, ad un minor controllo proattivo (condizione LW50) i TR nelle risposte incongruenti dovrebbero aumentare;
- 3) Se i due tipi di conflitto interagiscono tra di loro si dovrebbe osservare un maggiore aumento dell'effetto del conflitto a livello di risposta nella condizione in cui il controllo proattivo è più basso, cioè la condizione LW50.

In altre parole, i risultati attesi riguardanti il conflitto a livello di risposta sono diversi in base alla condizione LWPC, e quindi al grado di controllo proattivo:

- 1) In blocchi con alta LWPC ci si aspetta un minore livello di controllo proattivo; questo dovrebbe interferire con il conflitto a livello di risposta e portare a prestazioni peggiori in condizioni con alto conflitto a livello di risposta e mostrare un miglioramento delle prestazioni (minori TR) al diminuire del conflitto di risposta.
- 2) In blocchi con bassa LWPC, associati ad un forte controllo proattivo, l'interazione con il conflitto di risposta dovrebbe portare a una prestazione migliore quando il conflitto di risposta è basso, e ad un graduale aumento dei TR all'aumentare del conflitto di risposta.



## **2. Metodi**

### **2.1. Partecipanti**

Il gruppo sperimentale era costituito da 91 partecipanti (M = 24.2 anni, SD = 5.9 anni, range = 18 - 59 anni). Di questi 31 partecipanti erano di sesso maschile (M = 24.7 anni) e 58 di sesso femminile (M = 23.9 anni); due partecipanti non hanno dichiarato il proprio genere.

Prima di svolgere l'esperimento i partecipanti hanno compilato un questionario che valuta la dominanza manuale nelle attività quotidiane. Il campione comprendeva 6 partecipanti mancini, 2 partecipanti ambidestri e la restante parte destrimani.

### **2.2. Disegno sperimentale e materiali**

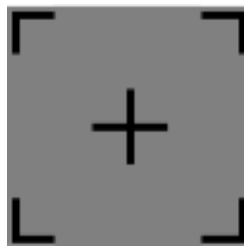
Al partecipante veniva richiesto di svolgere un compito di Stroop spaziale.

Lo Stroop spaziale da noi utilizzato era composto da una serie di trial, cioè di singole prove sperimentali, ognuno dei quali era composto da una serie di schermate:

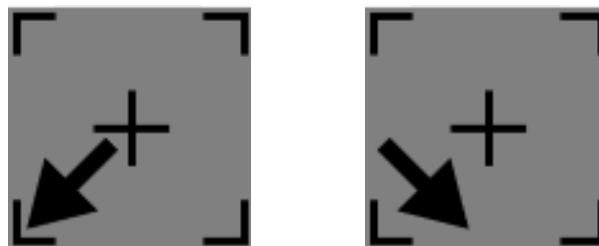
- schermata iniziale, in cui era presente una croce di fissazione nera su sfondo grigio (vedi figura 3), della durata di 500 ms. La croce di fissazione era circondata da quattro angoli, che servivano a identificare i quattro quadranti in cui poteva comparire la freccia stimolo;
- comparsa di una freccia nera all'interno di uno dei quattro quadranti descritti al punto precedente (vedi figura 4). La freccia restava presente sullo schermo finché il partecipante dava una risposta o comunque non per più di 2000 ms, tempo massimo oltre al quale la risposta veniva considerata non data.
- schermata vuota per creare una separazione tra due trial successivi, della durata di 500 ms

I trial erano divisi in:

- congruenti, cioè in cui la posizione della freccia rispetto alla croce di fissazione corrisponde alla direzione in cui punta la freccia (vedi figura 4)  
*(es. posizione in basso a sinistra e direzione in basso a sinistra)*
- incongruenti in cui la posizione della freccia rispetto alla croce di fissazione non corrisponde alla direzione in cui punta la freccia (vedi figura 4)  
*(es. posizione in basso a sinistra e direzione in basso a destra)*



**Figura 3:** Croce di fissazione utilizzata nel nostro esperimento. Ai quattro angoli della croce si identificano i quattro quadranti su cui può comparire la freccia



**Figura 4:** Esempi di trial possibili. A sinistra un trial congruente P4D4, a destra uno incongruente P4D3

Oltre che distinguersi per congruenza e incongruenza, i trial erano suddivisi anche in base a gradi di manipolazione di LWPC e di conflitto a livello di risposta.

In particolare, l'esperimento comprendeva due blocchi sperimentali.

I due blocchi sperimentali erano:

- Blocco LW25, con una PC a livello di lista del 25%
- Blocco LW50, con una PC a livello di lista del 50%

La differenza tra i due blocchi era legata alla diversa PC a livello di lista, quindi al diverso numero di trial congruenti sul totale dei trial. Nel blocco LW50 erano congruenti la metà dei trial, nel blocco LW25 erano congruenti un quarto dei trial. La manipolazione della PC porta ad una diversa richiesta di controllo nei due blocchi: nel blocco LW50 viene richiesto minore controllo proattivo rispetto al blocco LW25.

Ad ogni partecipante venivano presentati entrambi i blocchi sperimentali, in una di quattro versioni (A, B, C e D) e in modo randomizzato tra i partecipanti. La differenza tra le versioni era legata al diverso grado di conflitto di risposta associato alle diverse frecce, poiché tra le quattro versioni sono state manipolate le probabilità di occorrenza delle quattro risposte possibili. Ognuno dei blocchi, composto da 264 trial, era diviso in quattro sotto-blocchi:

- Il primo composto da 24 trial, detto di “abituazione”, che serviva come passaggio da un blocco all’altro per evitare effetti causati dalle condizioni del blocco precedente su quello successivo;
- Tre sotto-blocchi da 80 trial (240 trial in totale), uguali da un punto di vista di LWPC e conflitto di risposta dei diversi stimoli sperimentali.

La presenza dei tre sotto-blocchi era legata alla presenza di un numero elevato di trial da sottoporre al partecipante. La creazione di tre sotto-blocchi permetteva l’inserimento di pause per permettere al partecipante di decidere in autonomia il tempo necessario prima di cominciare il sotto-blocco successivo.

Ogni stimolo presentato, formato da una coppia posizione (P) - direzione (D), aveva una certa frequenza di apparizione, specifica per ogni versione del blocco.

Il blocco LW25 versione A (LW25A), ad esempio, era composto da 240 trial (escludendo il sotto-blocco di abituazione), divisi in 60 congruenti e 180 incongruenti. Ogni coppia P-D aveva una certa frequenza (vedi Tabella 1).

		Direzione				TOT
		1	2	3	4	
Posizione	1	15	12		33	60
	2	39	15	6		60
	3		39	15	6	60
	4	24		21	15	60
TOT		78	66	42	54	240

**Tabella 1:** Esempio di frequenze di apparizione delle risposte all'interno di un blocco: blocco LW25A

Come si vede dalla Tabella 1, ogni direzione ha una certa probabilità di essere presentata all'interno del blocco. Più è probabile una direzione, più sarà pre-attivata e facilitata rispetto alle altre. In caso di trial incongruente si genera conflitto a livello di risposta, per cui la risposta elicitata dalla dimensione irrilevante e quella elicitata dalla dimensione rilevante creano interferenza. Questa interferenza sarà più forte quando la risposta irrilevante è maggiormente pre-attivata rispetto a quella rilevante.

Un indice per misurare il conflitto a livello di risposta è:

$$d(R)2 = \log \frac{P(Rirr)}{P(Rrel)}$$

Cioè il logaritmo del rapporto tra probabilità della risposta elicitata generata dall'informazione irrilevante e la probabilità della risposta elicitata da quella rilevante.

Ad esempio, nel blocco LW25A (vedi Tabella 1) nel caso di un trial P1D2, in cui la freccia compare in posizione 1 e punta in direzione 2:

- La probabilità della risposta inappropriata 1 (elicitata dalla posizione P1, irrilevante) è:

$$P(Rirr) = \frac{78}{240} = 0.325$$

- La probabilità della risposta appropriata 2 (elicitata dalla posizione P2, rilevante) è:

$$P(Rrel) = \frac{66}{240} = 0.275$$

Ci si aspetta quindi un livello di conflitto di risposta di:

$$d(R)2 = \log \frac{0.325}{0.275} = 0.072$$

È importante a questo punto sottolineare che questa manipolazione si basa sull'assunto che il nostro cervello sia in grado non solo di estrarre le regolarità presenti nelle sequenze di prove sperimentali per stimare le probabilità di occorrenza delle diverse risposte, ma anche di mantenerne attiva una rappresentazione che possa poi modulare il comportamento, pre-attivando le diverse risposte in modo dipendente dalla loro probabilità di occorrenza. Solo in questo caso, infatti, la nostra manipolazione del grado di conflitto a livello di risposta può avere un effetto sulla prestazione al compito.

La manipolazione delle probabilità di risposta permette quindi di misurare e confrontare trial con differenze di interferenza a livello di risposta anche molto piccole. Nel nostro studio sono state utilizzate otto diversi valori di conflitto a livello di risposta:

-0.1963    -0.1597    -0.109    -0.072    0.072    0.109    0.1597    0.1963

La presenza di otto valori dipende dal fatto che le possibili coppie Posizione – Direzione sono 16, da cui poi sono state escluse le quattro condizioni di congruenza e le quattro condizioni in cui la direzione dello stimolo era opposta rispetto alla sua posizione (ad esempio una freccia con posizione in alto a destra e direzione in basso a sinistra). Si è scelto di escludere questi stimoli visti i risultati di studi non pubblicati provenienti dal nostro laboratorio che evidenziano come la prestazione a questi trial incongruenti sia significativamente diversa rispetto a quella negli altri trial incongruenti.

Ad ogni stimolo incongruente, caratterizzato da posizione e direzione, viene quindi associato un valore di conflitto di risposta. Nel blocco LW25A, ad esempio, i valori di conflitto di risposta, calcolati come appena descritto, sono riportati nella Tabella 2.

		Direzione			
		1	2	3	4
Posizione	1		0.0726		0.1597
	2	-0.073		0.1963	
	3		-0.196		-0.109
	4	-0.16		0.1091	

**Tabella 2:** Esempio di valori del conflitto di risposta all'interno di un blocco: blocco LW25A

L'ordine di presentazione dei blocchi è stato controbilanciato con lo scopo di evitare effetti dell'ordine o di apprendimento. Alla fine di ogni sotto-blocco, inoltre, era presente una schermata di pausa che dava al partecipante la possibilità di scegliere in autonomia il tempo necessario prima di iniziare il sotto-blocco successivo. In queste schermate di pausa era anche presente un'indicazione su quanto mancasse alla fine dell'esperimento.

L'esperimento è stato creato usando PsyToolkit (Stoet, 2017; Stoet, 2010; [www.psychtoolkit.org](http://www.psychtoolkit.org)) ed è stato somministrato online. Per rispondere i partecipanti utilizzavano la tastiera del proprio computer, in particolare quattro tasti (D, K, C e M) corrispondenti alle quattro possibili direzioni della freccia stimolo.

### 2.3. Procedura

L'esperimento si svolgeva online. I partecipanti hanno ricevuto un link per la partecipazione all'esperimento e sono stati reclutati sia direttamente dalle reti

sociali degli sperimentatori che attraverso la condivisione del link di partecipazione tramite social quali gruppi WhatsApp e Facebook.

Prima dell'inizio del compito si fornivano al partecipante una serie di informazioni e raccomandazioni. Innanzitutto si consigliava di ridurre al minimo possibili situazioni di disturbo, ad esempio silenziando i dispositivi elettronici eventualmente presenti nella stanza.

Venivano date delle informazioni generali sull'esperimento e veniva richiesto di fornire una serie di informazioni anagrafiche, tra cui età e genere; questa sezione non era obbligatoria.

I partecipanti avevano la possibilità di interrompere la partecipazione al compito in qualsiasi momento. Nell'analisi dei dati sono stati considerati solo i partecipanti che hanno concluso l'esperimento.

Vi era poi una dettagliata spiegazione del compito, della sequenza di schermate che sarebbero comparse e dei tasti da premere per indicare la risposte. Le istruzioni erano anche associate a delle immagini-esempio per facilitare la comprensione. Veniva chiesto poi di rispondere il più velocemente e accuratamente possibile.

Dopo le istruzioni e prima dell'esperimento era prevista una fase di addestramento esplicito supervisionato, in cui veniva dato un feedback in base alla risposta del partecipante (risposta corretta, errata, non data nel tempo massimo di 2000 ms). Si superava la fase di training solo dopo aver raggiunto un'accuratezza di almeno il 75%, e comunque non prima del completamento di 6 trial e per un massimo di 24 trial.

#### **2.4. Analisi dei dati**

La variabile misurata, cioè i tempi di risposta (TR), sono stati trasformati in Velocità di risposta (VR) con la formula  $-1000/TR$ . Ciò è stato fatto perché la VR ha una distribuzione normale, al contrario dei TR. Il segno negativo è stato introdotto per rendere più chiaro il significato della misura di VR così ottenuta: un

TR più basso, e quindi una risposta più efficiente, avrebbe una velocità maggiore. Il segno meno serve quindi ad invertire questa tendenza e a far coincidere ad un tempo minore una misura di VR minore. Un valore più basso di VR riflette quindi un minore TR.

Nell'analisi abbiamo scartato tutti i trial dei sotto-blocchi di addestramento, tutti i trial con risposte errate (5.33% dei trial), con risposte non date (0.52% dei trial) e quelli con TR minori di 200 ms (0.02% dei trial). Sono stati inoltre esclusi tutti i trial congruenti (37.5% dei trial).

L'analisi statistica è stata eseguita tramite il software Excel e il software Jamovi 1.6.15.

Una prima analisi è stata fatta per indagare la presenza di un effetto dovuto alla manipolazione della LWPC. Per farlo si sono calcolate le VR medie per ogni partecipante nei trial LW25 e in quelli LW50. Per ogni partecipante si sono ottenuti quindi due valori. I valori LW25 sono stati confrontati con quelli LW50 con un t test per campioni appaiati.

Una seconda analisi è stata fatta per dimostrare la presenza di un effetto dovuto al conflitto a livello di risposta. Per fare ciò è stata fatta una *correlazione two-step*, cioè si sono calcolate le VR medie del singolo partecipante in ogni livello di conflitto a livello di risposta, e poi, per ogni partecipante, si è trovata la correlazione tra le VR e il valore di conflitto a livello di risposta. Queste correlazioni sono state poi sottoposte ad un t test per campione singolo.

Una volta riscontrata l'esistenza di un effetto significativo dell'interferenza di risposta, abbiamo esaminato la possibile presenza di un effetto di interazione tra la PC e il conflitto di risposta. Per indagare questo aspetto è stata fatta una *correlazione two-step* calcolando le VR medie dei singoli partecipanti nelle sedici condizioni derivanti dai due livelli di LWPC e dagli otto di conflitto a livello di risposta. Per ogni partecipante sono state calcolate due correlazioni tra le VR medie e i valori di conflitto di risposta, nelle due condizioni di LWPC. Le correlazioni così ottenute state poi sottoposte ad un t test per campioni appaiati.

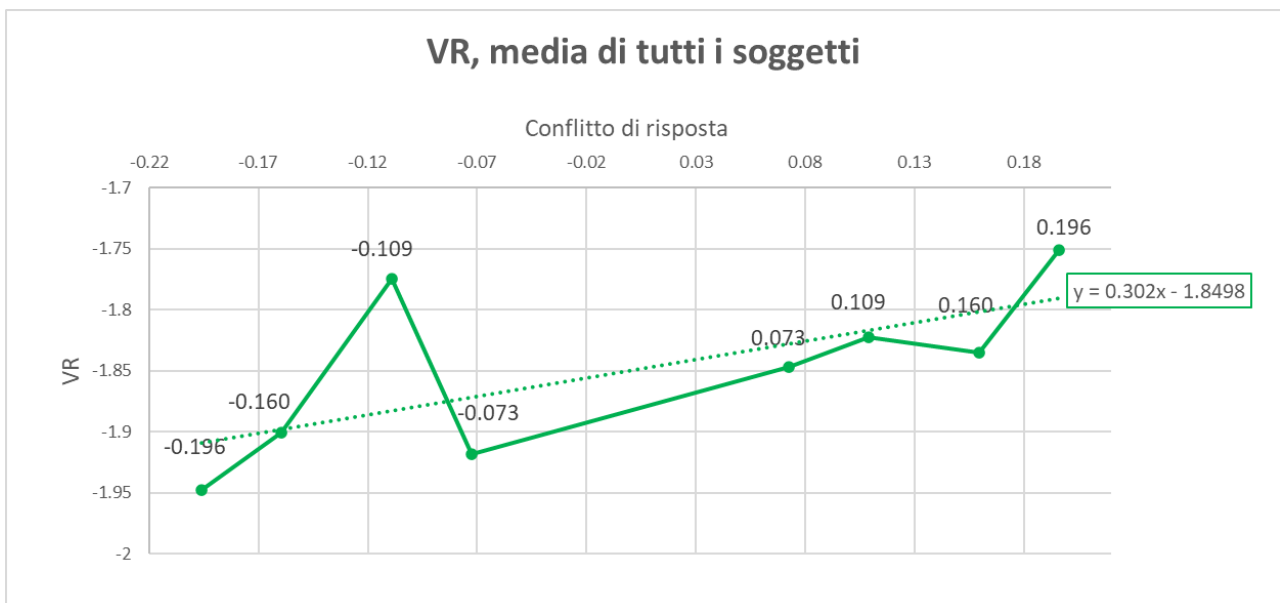


### 3. Risultati

Dal t test a campioni appaiati eseguito sulle medie di VR dei singoli partecipanti sui due livelli di LWPC non risulta un effetto significativo della PC sulla performance del partecipante ( $t(90) = -0.0213$ ,  $p = .983$ ).

In Figura 5 sono riportati i risultati del t test a un campione eseguito sulle correlazioni tra VR e conflitto a livello di risposta dei singoli partecipanti. Da questa analisi risulta un effetto significativo del conflitto di risposta sulla performance del partecipante ( $t(90) = 6.20$ ,  $p < .001$ ).

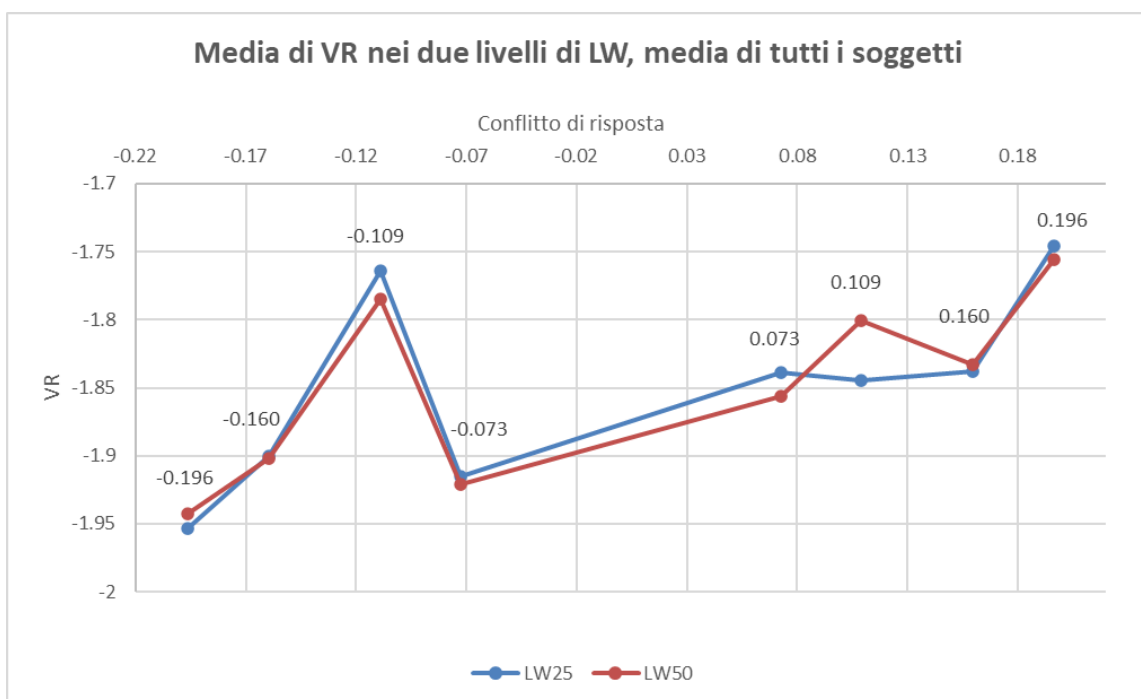
Come si nota dal grafico di Figura 5 la VR aumenta all'aumentare del conflitto di risposta, ad indicare che la performance del partecipante viene influenzata negativamente da un maggiore conflitto di risposta. Nel grafico è anche riportata la retta di regressione dei dati, che evidenzia la relazione lineare tra VR e conflitto di risposta.



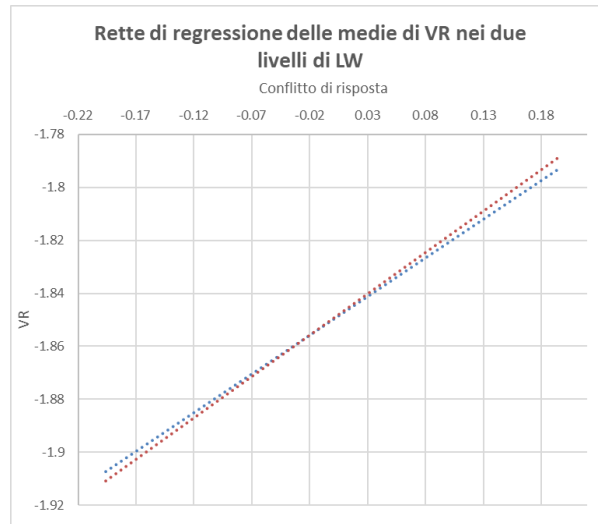
**Figura 5:** Grafico che mostra l'andamento di VR in funzione del conflitto a livello di risposta. Le etichette sopra i punti sono i valori effettivi di conflitto di risposta. La retta tratteggiata è la retta di regressione lineare, la cui equazione è riportata nel riquadro verde a destra

In Figura 6 sono riportati i risultati del t test per dati appaiati eseguito sulle correlazioni tra VR e conflitto a livello di risposta dei singoli partecipanti nei due livelli di LWPC (25 e 50). Da questa analisi non risulta la presenza di un significativo effetto di interazione tra conflitto di risposta e LWPC sulla performance del partecipante ( $t(90) = 0.194, p = .847$ ).

In Figura 7 sono riportate le rette di regressione delle medie di VR in relazione al conflitto a livello di risposta, nelle due condizioni di LWPC.



**Figura 6:** Grafico che mostra l'andamento di VR in funzione del conflitto a livello di risposta nei due livelli di LWPC, LW25 (blu) e LW59 (rosso). Le etichette sopra i punti sono i valori effettivi di conflitto di risposta.



**Figura 7:** Grafico che mostra l'andamento delle rette di regressione lineare delle medie di VR in funzione del conflitto a livello di risposta nei due livelli di LWPC, LW25 (blu) e LW50 (rosso).

Come si nota da grafici di Figura 6 e di Figura 7 la VR aumenta all'aumentare del conflitto di risposta. Questo aumento non risulta però essere influenzato significativamente dal variare della PC.

## CAPITOLO III – Discussione e conclusioni

Nel corrente elaborato di tesi si mirava ad indagare gli effetti di due tipi di conflitto: a livello di informazione e a livello di risposta. Il conflitto a livello di informazione avviene al momento dell'elaborazione delle informazioni e dipende dall'interferenza tra le due dimensioni dello stimolo: quella rilevante (direzione) e quella irrilevante (posizione). Il conflitto di risposta avviene al momento di implementare la risposta e dipende dalla competizione tra l'attivazione di due possibili risposte (suggerite dalle due dimensioni dello stimolo).

Questo studio mira a mettere in chiaro i rapporti tra i processi di controllo utilizzati per risolvere l'interferenza a livello di informazione e a livello di risposta. Per far ciò è stato utilizzato un paradigma di Stroop spaziale in cui venivano manipolate sia la PC a livello di lista (LWPC), sia il livello di conflitto a livello di risposta, a sua volta dipendente dalla probabilità di occorrenza di ogni risposta rispetto alle altre. Ciò permette di indagare, rispettivamente, gli effetti del conflitto a livello di informazione e gli effetti del conflitto a livello di risposta.

Per investigare questi aspetti abbiamo concentrato le nostre analisi solo sui trial incongruenti, ovvero i trial in cui le due dimensioni dello stimolo (posizione e direzione) non coincidevano.

In una prima analisi abbiamo investigato l'effetto della LWPC sulla prestazione dei partecipanti. I risultati di questa analisi non hanno mostrato un aumentare dei TR all'aumentare della LWPC, ovvero in condizioni in cui è richiesto un maggiore controllo proattivo. Questi risultati non sembrano in linea con la letteratura esistente (ad esempio Bugg et al., 2012).

Questo risultato potrebbe essere legato al fatto che in questo studio siano stati usati solo due livelli di LWPC, e che questi siano relativamente bassi. In altri studi simili, come ad esempio Bugg e Chanani (2011), venivano utilizzati più livelli di LWPC, e in particolare venivano messe a confronto condizioni maggiormente congruenti e maggiormente incongruenti. Nel nostro studio abbiamo utilizzato una condizione "neutra" di congruenza al 50% e una maggiormente incongruente

al 25%. Per verificare la correttezza di questa supposizione si potrebbero realizzare ulteriori studi mirati ad indagare questi aspetti, aggiungendo altre condizioni di LWPC (ad esempio una al 75%).

La seconda analisi ha indagato gli effetti del conflitto di risposta, riscontrando una relazione significativa tra TR e conflitto di risposta. In particolare si è visto che all'aumentare del conflitto di risposta aumentano i TR. Questo suggerisce che la nostra manipolazione sperimentale è in grado di far emergere in modo specifico gli effetti legati alla risoluzione del conflitto di risposta.

La terza analisi aveva l'obiettivo di dimostrare la presenza di un effetto di interazione tra la LWPC e il conflitto di risposta. Dalle nostre analisi questo effetto di interazione non risulta significativo. I risultati sembrerebbero disattendere la nostra ipotesi iniziale secondo cui l'effetto del conflitto di risposta avrebbe dovuto influire maggiormente sui TR in condizioni di LWPC più bassa.

Vista la natura delle nostre analisi, non è possibile trarre conclusioni sulla base di risultati nulli. Ulteriori analisi potrebbero essere utili a indagare i risultati ottenuti, in particolare per poter interpretare l'assenza di effetti.

In linea generale i nostri risultati indicano che la presenza di conflitto a livello di risposta crea interferenza dovuta a una maggiore pre-attivazione delle risposte che sono più probabili in quel blocco, sebbene erronee poiché elicitate dalla caratteristica irrilevante per il compito. Sebbene questa differenza nella pre-attivazione delle diverse risposte in base alle loro probabilità di occorrenza possa essere legata ad un controllo cognitivo di tipo proattivo (o ad una qualche forma di associazione), l'effetto della nostra misura di conflitto di risposta dimostrerebbe la presenza di un'interferenza specifica legata al locus a livello di risposta e permetterebbe di indagare il peso relativo dei meccanismi di controllo reattivi che sono necessari per risolverla all'occorrenza.

In conclusione, possiamo affermare che la nostra manipolazione sperimentale è in grado di rilevare e modulare il conflitto a livello di risposta e il suo effetto sulla performance del partecipante. Il presente studio è il primo a indagare i rapporti tra conflitto di informazione e di risposta in uno Stroop spaziale. Potrebbero

essere utili ulteriori studi per indagare in particolare gli effetti di interazione che potrebbero esistere tra i diversi tipi di strategie di risoluzione del conflitto.

## Bibliografia

- Amso, D., & Scerif, G. (2015). The attentive brain: insights from developmental cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(10), 606-619.
- Banich MT (2019) The Stroop Effect Occurs at Multiple Points Along a Cascade of Control: Evidence From Cognitive Neuroscience Approaches. *Front. Psychol.* 10:2164. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02164
- Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current directions in psychological science*, 18(2), 89-94.
- Baddeley e Hitch (1974)
- Bugg, J. M., and Hutchison, K. A. (2012). Converging evidence for control of color-word Stroop interference at the item level. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* doi:10.1037/a0029145
- Bugg, J. M., Jacoby, L. L., & Chanani, S. (2011). Why it is too early to lose control in accounts of item-specific proportion congruency effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, 37(3), 844–859. doi:10.1037/a0019957
- Bugg, J. M., Jacoby, L. L., & Toth, J. P. (2008). Multiple levels of control in the Stroop task. *Memory & cognition*, 36(8), 1484-1494.
- Bugg, J. M., McDaniel, M. A., Scullin, M. K., & Braver, T. S. (2011). Revealing list-level control in the Stroop task by uncovering its benefits and a cost. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37, 1595–1606.
- Dosenbach, N. U., Fair, D. A., Cohen, A. L., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2008). A dual-networks architecture of top-down control. *Trends in cognitive sciences*, 12(3), 99-105.

- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology: General*, 133(1), 101.
- Funahashi, S., & Andreau, J. M. (2013). Prefrontal cortex and neural mechanisms of executive function. *Journal of Physiology-Paris*, 107(6), 471-482.
- Gläscher, J., Adolphs, R., Damasio, H., Bechara, A., Rudrauf, D., Calamia, M., Paul, L. K., & Tranel, D. (2012). Lesion mapping of cognitive control and value-based decision making in the prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(36), 14681–14686. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206608109>
- Goldfarb, L., and Henik, A. (2007). Evidence for task conflict in the Stroop effect. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 33, 1170–1176. doi: 10.1037/0096-1523.33.5.1170
- Gonthier, C., Braver, T. S., & Bugg, J. M. (2016). Dissociating proactive and reactive control in the Stroop task. *Memory and Cognition*, 44(5), 778–788. <https://doi.org/10.3758/s13421-016-0591-1>
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of experimental psychology*, 38(4), 404.
- Jacoby, L. L., Lindsay, D., & Hessels, S. (2003). Item-specific control of automatic processes: Stroop process dissociations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(3), 638–644. doi:10.3758/BF03196526
- Klein, G. S. (1964). Semantic power measured through the effect of words with color-naming. *Am. J. Psychol.* 77, 576–588. Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychon. Bull.* 109, 163–203. doi: 10.1037//0033-2909.109.2.163



- MacLeod, C. M., & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: Uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(10), 383–391.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological bulletin*, 126(2), 220.
- Parris, B. A., Hasshim, N., Wadsley, M., Augustinova, M., & Ferrand, L. (2021). The loci of Stroop effects: a critical review of methods and evidence for levels of processing contributing to color-word Stroop effects and the implications for the loci of attentional selection. *Psychological Research*, 1-25.
- Paxton, J. L., Barch, D. M., Racine, C. A., & Braver, T. S. (2008). Cognitive control, goal maintenance, and prefrontal function in healthy aging. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1010–1028. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm135>
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207–231.
- Stoet, G. (2010). PsyToolkit: A software package for programming psychological experiments using Linux. *Behavior Research Methods*, 42(4), 1096–1104. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.4.1096>
- Stoet, G. (2017). PsyToolkit: A Novel Web-Based Method for Running Online Questionnaires and Reaction-Time Experiments. *Teaching of Psychology*, 44(1), 24–31. <https://doi.org/10.1177/009862831667764>
- Stuss, D. T. (2011). Functions of the frontal lobes: Relation to executive functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(5), 759–765. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000695>

Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2007). Is there a dysexecutive syndrome? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1481), 901–915. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2096>

Waszak, F., Hommel, B., & Allport, D. A. (2003). Task switching and long-term priming: Role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, 46, 361– 413.