



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia Generale  
Dipartimento di Neuroscienze**

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

**Elaborato finale**

**CONTROLLO ESECUTIVO E SEMANTICO IN ETÀ  
EVOLUTIVA: EVIDENZE DAL COMPITO STROOP**

**Investigating Executive and Semantic Control Across Development:  
Evidence from the Stroop task**

**Relatore:**

**Prof. Ettore Ambrosini**

**Laureando: Sandra Dordevic**

**Matricola: 2075353**

**Anno Accademico 2024/2025**

## INDICE

ABSTRACT.....	2
CAPITOLO I – INTRODUZIONE .....	3
1.1. CONTROLLO COGNITIVO.....	3
1.2. INIBIZIONE - COMPITO DI STROOP .....	4
1.3. CONTROLLO SEMANTICO - CSC.....	7
1.4. SVILUPPO DELLE FUNZIONI COGNITIVE .....	10
CAPITOLO II – STUDIO SPERIMENTALE .....	13
2.1. IPOTESI E OBIETTIVO .....	13
2.2. DISEGNO SPERIMENTALE E PROCEDURA .....	14
2.2.1. Versione Semantica .....	14
2.2.2. Versione Esecutiva.....	16
2.3. PARTECIPANTI.....	18
2.4. ANALISI DEI DATI .....	18
2.5. RISULTATI.....	20
CAPITOLO III – DISCUSSIONE.....	22

## ABSTRACT

Nel corso dello sviluppo cognitivo, la capacità di inibire risposte automatiche o impulsive e di filtrare selettivamente le informazioni rilevanti rispetto a quelle interferenti in funzione del contesto ambientale si affina in modo graduale e progressivo. Questa abilità assume un ruolo centrale nel più ampio sistema del controllo esecutivo, che risulta cruciale nella regolazione del comportamento finalizzato. Tali competenze risultano altrettanto rilevanti nell'ambito della cognizione semantica, dove l'individuo è chiamato a modulare l'accesso ai significati in modo controllato, selezionando quelli più pertinenti rispetto alle richieste specifiche del compito o dell'ambiente.

Il presente studio si propone di esplorare l'interconnessione del controllo esecutivo e del controllo semantico in un campione di bambini di età compresa tra i 4 e i 10 anni, al fine di chiarire se tali processi condividano risorse cognitive comuni o rappresentino sistemi funzionalmente distinti. A tal fine è stato adottato il paradigma *Stroop*, proposto in due varianti: una versione visuo-spaziale, finalizzata alla valutazione delle componenti esecutive generali, e una versione semantica, mirata ad indagare i meccanismi sottostanti al dominio semantico. Attraverso questo approccio comparativo, supportato da un'analisi statistica che ha restituito tre risultati principali, la ricerca intende contribuire alla comprensione delle dinamiche di sviluppo di questi due domini cognitivi e al dibattito relativo alla loro possibile autonomia o relazione sistemica, aprendo nuove prospettive nel confronto teorico sulla natura integrata o modulare di tali sistemi.

## CAPITOLO I – INTRODUZIONE

### 1.1. CONTROLLO COGNITIVO

Con il termine controllo cognitivo si fa riferimento a quella moltitudine di processi cognitivi deputati al coordinamento pensiero-azione sottostante al comportamento finalizzato, e responsabili della messa in atto di risposte adattive in situazioni nuove, complesse, o ambigue. Circostanze inattese, difatti, rendono inadeguate le possibili reazioni rapide e automatiche derivanti dal controllo ambientale, ovvero l'altra categoria di processi che gareggia per il predominio sul comportamento, associata al condizionamento classico, che rende dunque possibile l'instaurarsi di associazioni stimolo-risposta in relazione all'ambiente.

Il costrutto di controllo cognitivo, anche detto controllo attentivo, include nella sua definizione le cosiddette funzioni esecutive (FE), le quali comprendono alcuni processi più basilari ed altri di ordine più elevato. Le funzioni di più basso livello riguardano l'abilità di mantenimento del *goal* e delle regole, il monitoraggio di errori e conflitti, la memoria di lavoro e il suo *updating*, e i meccanismi di flessibilità cognitiva (o *switching*) e resistenza all'interferenza. L'utilizzo contemporaneo e l'attivazione sincrona di questi meccanismi esecutivi, che in parte si sovrappongono, delineano le FE di ordine superiore, che risultano nelle abilità di pianificazione, risoluzione dei problemi, ragionamento e intelligenza fluida.

A causa della complessità e della mancanza di una visione unitaria nella definizione delle FE, l'organizzazione di questo ampio insieme di processi è stata studiata attraverso diversi modelli teorici, molti in chiaro contrasto tra di loro, che cercano di spiegarne il funzionamento. Di conseguenza, l'eterogeneità dei correlati anatomo-funzionali proposti riflette questa coesistenza di prospettive differenti, all'interno delle quali, tuttavia, viene riconosciuto il ruolo fondamentale di due particolari network di aree corticali: il network fronto-parietale (FPN) e il network cingolo-opercolare (CON). Il primo, che comprende la corteccia cingolata anteriore e l'insula, media in modo sostenuto il mantenimento del *goal* e del *task-set* e monitora costantemente gli errori e i conflitti; inoltre, risulta di fondamentale importanza poiché facilita l'attivazione degli altri processi cognitivi. Il secondo circuito mostra, invece, un'attività più fasica, in quanto si attiva unicamente in situazioni in cui è

richiesto l'utilizzo delle FE, rivestendo un ruolo centrale nel controllo delle FE di ordine inferiore.

Nelle cosiddette teorie unitarie delle funzioni esecutive viene ipotizzata l'esistenza di un unico sistema esecutivo generale che controlla e gestisce in modo flessibile tutti gli altri processi di livello inferiore. Un'ipotesi chiave che rientra in questa famiglia di teorie è quella del multiple-demand network di Duncan (Duncan, 2010), secondo cui l'attivazione congiunta di regioni cerebrali che appartengono a questa rete distribuita, la quale comprende sia FPN che CON, viene causata da richieste cognitive molteplici e differenti. Contrariamente, gli approcci in opposizione, definiti teorie frazionarie, propongono che le funzioni esecutive siano costituite da processi modulari e indipendenti, distinti a livello funzionale.

Il modello che consente di coniugare queste prospettive è stato elaborato da Miyake e Friedman (Miyake & Friedman, 2012), i quali hanno evidenziato come il controllo cognitivo sia determinato dalla compresenza di elementi di unità e di diversità, giungendo alla conclusione che i processi caratterizzanti le FE risultino tra loro correlati, ma tuttavia distinguibili. Secondo questa teoria mista, è possibile individuare due componenti esecutive specifiche e parzialmente distinte: l'*updating* della memoria di lavoro e l'abilità di passare in modo flessibile da un compito ad un altro, nota come *shifting*. Accanto a questi meccanismi, che all'interno del modello rappresentano la dimensione della diversità, viene postulato un fattore comune, condiviso dai due processi, che riflette la capacità di organizzare e mantenere gli obiettivi, costituendo così l'aspetto di unità del funzionamento esecutivo.

## 1.2. INIBIZIONE - COMPITO DI STROOP

Con il termine controllo inibitorio si intende la capacità dell'individuo di sopprimere in modo consapevole e volontario gli stimoli interni o le risposte comportamentali non pertinenti rispetto all'obiettivo che ha in mente, modulando l'attenzione. L'esito positivo di questi processi consente di regolare intenzionalmente e in modo flessibile il proprio comportamento in funzione delle esigenze contestuali e permette di fruire di capacità autoregolatrici, in modo tale da prevenire una possibile reazione inadeguata e passiva,

dettata semplicemente da stimoli esterni. In assenza di questa fondamentale funzione esecutiva, l'individuo risulterebbe costantemente esposto agli stimoli e alle interferenze ambientali, privo della capacità di agire e opporsi attivamente per inibire pensieri irrilevanti e distraenti, e dunque incapace di adattare in maniera funzionale e congruente la propria condotta alle molteplici contingenze esterne.

All'interno di tale definizione è racchiusa una distinzione funzionale tra il concetto di inibizione e quello di controllo inibitorio, i quali vengono descritti come processi cognitivi che operano su domini differenti. Questa struttura teorica, proposta da Diamond, risulta particolarmente utile in quanto rappresenta un approccio descrittivo e funzionale, in grado di mettere in luce l'efficacia adattiva di questi meccanismi regolativi ed evidenziare la rilevanza che tali fattori occupano nel controllo del comportamento. In particolare, le due componenti individuate riguardano il controllo dell'interferenza, che include l'attenzione selettiva e l'inibizione cognitiva, ovvero le capacità di ignorare stimoli distraenti e sopprimere contenuti mentali irrilevanti in contesti attentivi e cognitivi, a cui viene affiancata la dimensione dell'inibizione comportamentale (Diamond, 2013). La prospettiva di Miyake e Friedman integra questa impostazione concettuale, affermando che tali manifestazioni vanno considerate come espressioni specializzate di un'unica capacità inibitoria di base, che risulta condivisa a livello latente, ma è declinata in maniera specifica a seconda del dominio coinvolto, in quanto i compiti sperimentali utilizzati per valutarla non risultano intercambiabili e ciascuno può implicare meccanismi distinti e parzialmente autonomi (Miyake & Friedman, 2012).

Il costrutto di inibizione assume differenti declinazioni nell'ambito della psicologia e delle neuroscienze cognitive, e viene esplorato attraverso diversi paradigmi sperimentali, tra cui il *Go/No-Go task*, lo *Stop-Signal task* e il *compito di Stroop*, introdotto da J. Ridley Stroop. Quest'ultimo rappresenta uno degli strumenti più utilizzati per studiare i meccanismi di controllo dell'interferenza, e nella sua versione classica e più diffusa, lo *Stroop Color-Word Test*, al partecipante è richiesto di indicare il colore dell'inchiostro con cui è scritta una parola, ignorandone il significato semantico che, nella condizione di conflitto, corrisponde al nome di un colore incongruente (ad esempio, la parola "verde" scritta in giallo). Questo paradigma, strutturato attraverso la presenza di condizioni sperimentali differenti,

costituisce una delle prove più consolidate e valide per la valutazione dell'inibizione cognitiva, in quanto il conflitto che viene generato tra il processo automatico della lettura, attivato in modo involontario, e quello, più controllato, della denominazione cromatica determina un aumento sia nei tempi di risposta sia nella frequenza degli errori (e dunque una minor accuratezza) e causa il fenomeno noto come effetto *Stroop*, il quale riflette la difficoltà che si incontra nell'inibire un compito dominante a favore di un'alternativa meno automatica ma simultaneamente attivata. L'efficacia nell'esecuzione di tale compito, in cui i due percorsi cognitivi di lettura e denominazione del colore entrano in competizione, dipende dalla gestione delle risorse cognitive concorrenti in maniera funzionale e versatile da parte del partecipante, e dunque dalla capacità di esercitare un controllo selettivo dell'attenzione e di sopprimere la risposta semantica automatica.

In letteratura sono presenti diverse posizioni teoriche che tentano di chiarire e fornire delucidazioni circa la causa dell'effetto *Stroop*. Una delle ipotesi più accreditate è definita *Relative Speed of Processing Theory*, nella quale viene sostenuto che si verifica un effettivo ritardo nell'identificazione del colore poiché il cervello risulta più veloce nella lettura che nel riconoscimento dei colori e dunque elabora più rapidamente la caratteristica irrilevante per questo compito (la parola) rispetto a quella rilevante (il colore). L'interferenza viene dunque spiegata in termini di differenza di velocità tra i due processi che vengono simultaneamente attivati dalle richieste del *task*. Un'ulteriore teoria interpretativa che esamina questo effetto è la cosiddetta *Automaticity Theory*, secondo cui la frequente pratica nella lettura rende automatico tale processo, mentre, al contrario, la denominazione dei colori richiede maggiori risorse attentive e risulta più vulnerabile all'interferenza generata da stimoli concorrenti, in quanto non viene sottoposta a esercizio costante.

Tuttavia, nessuna di queste proposte risulta esaustiva nel descrivere interamente il costrutto dell'interferenza, e questa esigenza ha portato allo sviluppo di modelli più complessi e articolati, come il *Parallel Distributed Processing Account* (Cohen & Dunbar & McClelland, 1990), nei quali viene enfatizzata la presenza di un'elaborazione continua e parallela delle informazioni. Dal momento che entrambe le caratteristiche dello stimolo vengono elaborate contemporaneamente da percorsi separati ma interconnessi, questa elaborazione simultanea implica che l'interferenza non risulti come una distinzione netta tra

processi automatici e controllati, ma piuttosto che l'efficacia dell'elaborazione dipenda dalla forza delle connessioni presenti e attive nel percorso, determinate dall'esperienza e dalla pratica.

### 1.3. CONTROLLO SEMANTICO - CSC

La cognizione semantica, ovvero la capacità del cervello di attribuire un significato agli stimoli esterni, viene oggi compresa attraverso il modello teorico della Cognizione Semantica Controllata (CSC), una prospettiva, sostenuta da evidenze neuroscientifiche, secondo la quale l'elaborazione del significato si fonda su un'interazione dinamica tra due sistemi neurali differenziati, ma interconnessi: uno dedicato alla rappresentazione della conoscenza concettuale e l'altro deputato al controllo del significato in base al contesto (Jefferies, 2013) (Ralph et al., 2017).

Il sistema di controllo semantico riveste un ruolo cruciale nella regolazione adattiva dei contenuti semantici attivati, in quanto consente di selezionare le informazioni rilevanti tra molteplici significati precedentemente appresi e potenzialmente disponibili e di sopprimere l'attivazione di informazioni automatiche o predominanti, in modo tale da favorire risposte più adeguate e pertinenti alle richieste ambientali e cognitive. Questo processo è supportato da un circuito neurale che comprende il giro frontale inferiore sinistro (LIFG), il solco intraparietale (IPS), due regioni che fanno parte del network fronto-parietale, e il giro temporale medio posteriore (pMTG), regioni cerebrali ampiamente note in letteratura per il loro coinvolgimento durante compiti esecutivi e che risultano ugualmente fondamentali in prove richiedenti un determinato grado di controllo semantico. Tale evidenza viene confermata da riscontri neuroscientifici derivanti da studi di neuroimaging funzionale (fMRI) e stimolazione magnetica transcranica (TMS), così come da pazienti con afasia semantica (SA), una condizione associata al malfunzionamento del sistema di controllo semantico e causata da lesioni ischemiche a carico delle aree prefrontali e temporo-parietali. Nei pazienti con afasia semantica (SA), la presenza di deficit nei processi di controllo semantico si traduce principalmente in marcate difficoltà durante l'esecuzione di compiti semantici (verbali e non), accompagnate da un'accentuata compromissione nella capacità di utilizzare e modulare efficacemente la conoscenza semantica, determinando

difficoltà nell'accesso alle rappresentazioni concettuali, le quali, tuttavia, rimangono intatte e non risultano degradate.

Questo circuito è funzionalmente distinto dal secondo sistema delineato nel modello CSC, ovvero quello rappresentazionale, ma agisce in stretta cooperazione e sinergia con esso. Il sistema della rappresentazione semantica è responsabile dell'elaborazione e dell'organizzazione della conoscenza acquisita attraverso l'esperienza, la quale presenta una natura intrinsecamente multimodale in quanto deriva da una molteplicità di fonti sensoriali differenti. Secondo il modello “*hub-and-spokes*”, tale sistema si basa su una rete neurale costituita da aree corticali specializzate, denominate *spokes*, deputate all'elaborazione di informazioni specifiche per ciascuna modalità sensoriale o motoria coinvolta. Questi stimoli vengono poi integrati da un *hub* centrale e amodale, localizzato bilateralmente nei lobi temporali anteriori (ATL), che funge da nodo transmodale deputato alla sintesi e all'integrazione dei contenuti provenienti dalle diverse fonti cross-modali. In particolare, la porzione ventrolaterale dell'ATL è determinante nel combinare queste informazioni eterogenee, permettendo così la costruzione di rappresentazioni concettuali astratte, generalizzabili e indipendenti dal tipo di input sensoriale originario. Procedendo verso regioni più periferiche rispetto a quest'area, la funzione semantica dell'ATL tende invece a specializzarsi in maniera graduale, risultando progressivamente più legata a modalità sensoriali specifiche in base alla connettività con i diversi *spokes*.

Un quadro di ipometabolismo e atrofia a carico di questo *hub* è associato all'insorgenza della demenza semantica (SD), una patologia neurodegenerativa caratterizzata dalla progressiva degradazione delle rappresentazioni concettuali centrali. Tale deterioramento si traduce in una compromissione diffusa e sistematica della comprensione semantica, che coinvolge trasversalmente diverse modalità sensoriali e tipologie di compiti, pur in presenza della relativa conservazione di altri domini cognitivi. La SD è inoltre contraddistinta da una perdita selettiva delle conoscenze: i concetti specifici e meno comuni tendono a decadere precocemente rispetto a quelli più generali e frequentemente utilizzati e ciò si manifesta attraverso la produzione di errori di tipo coordinato o superordinato durante l'elaborazione semantica.

La CSC, dunque, propone una visione integrata della cognizione semantica, nella quale la coordinazione tra rappresentazione e controllo permette sia di creare e mantenere in modo stabile nel tempo le conoscenze concettuali, sia di adattare la loro attivazione alle mutevoli richieste contestuali in modo flessibile e si presta anche ad essere utilizzata efficacemente per spiegare i pattern di compromissione osservati in varie condizioni cliniche, come le afasie o le demenze.

La letteratura presente in merito alla valutazione del controllo semantico è ancora in fase iniziale e risulta poco approfondita, motivo per cui i compiti e gli strumenti attualmente disponibili per indagare questi processi di inibizione sono ancora poco conosciuti e spesso non consentono di esaminare componenti specifiche del dominio semantico, oltre ad avere un impiego estremamente limitato nelle popolazioni infantili. A questo proposito, la quantità ristretta di studi in merito è anche correlata con la poca chiarezza riguardo al grado di indipendenza presente tra il controllo esecutivo e quello semantico, tema ancora molto dibattuto dalle differenti e contrastanti correnti di pensiero.

Analizzare l'evoluzione del controllo semantico permetterebbe di far luce su questi aspetti poco definiti e soprattutto verificare se la sua traiettoria evolutiva risulta simile a quella del controllo esecutivo, evidenziando l'esistenza di basi neurali condivise, oppure se, al contrario, sia caratterizzata da dinamiche e stadi specifici, che suggerirebbero una forma di specializzazione funzionale distinta. Dunque, osservare il percorso dei rispettivi andamenti evolutivi permetterebbe di confermare l'ipotesi di una componente cognitiva (e neurale) autonoma che controlla l'accesso e la selezione delle informazioni semantiche, oppure se il controllo semantico rappresenta una componente integrata delle funzioni esecutive.

Per questi motivi, il controllo semantico viene esplorato tramite gli stessi paradigmi sperimentali utilizzati per valutare l'inibizione cognitiva, quali il test di *Flanker* o lo *Stroop* test, riadattati al dominio semantico. Dunque, nella pratica sperimentale il controllo semantico è attualmente studiato attraverso metodologie di indagine in cui l'inibizione semantica risulta essere l'aspetto centrale. Un esempio di protocollo utilizzato proviene dal lavoro di Montefinese (Montefinese et al., 2020) in cui il compito, seppur non sia strutturato come i paradigmi classici che valutano l'inibizione, si propone di stimare la capacità del soggetto di sopprimere informazioni semanticamente forti ma irrilevanti,

valutando in questo modo l'efficienza dei meccanismi di inibizione all'interno del sistema semantico. In questo studio, la manipolazione sperimentale prevede che il compito principale sia caratterizzato da una selezione delle *feature* semantiche, dato che al partecipante viene presentato un concetto *target* accompagnato da altre tre parole tra le quali deve indentificare quella che presenta una precisa relazione semantica con il concetto stesso, in quanto le alternative tra cui scegliere includono una feature semanticamente corretta (*target*), un distrattore semanticamente correlato ma non pertinente, e una parola non correlata.

#### 1.4. SVILUPPO DELLE FUNZIONI COGNITIVE

La comprensione dello sviluppo e della traiettoria evolutiva delle funzioni esecutive è resa difficoltosa, sia sul piano teorico che empirico, da alcune criticità metodologiche: stimare e valutare accuratamente questi processi nei bambini comporta l'adozione di strumenti e strategie in grado di adeguarsi ai loro stati attentivi e motivazionali e alle diverse abilità di comprensione ed esecuzione di compiti. Tra i vari punti critici, si riscontra la difficoltà ad isolare il contributo specifico della funzione *target* che si intende misurare, in quanto, solitamente, i test atti a rilevare la dinamica di una singola abilità coinvolgono simultaneamente altre facoltà cognitive. Per ovviare a tali problemi, la ricerca si è mossa nella direzione di generare e validare compiti sperimentali semplificati, sviluppati calibrando gli aspetti relativi alla durata e alla chiarezza espositiva, in modo tale da riuscire a esaminare in modo più accurato l'evoluzione delle diverse componenti esecutive lungo tutto l'arco della crescita (Anderson, 1998) (Isquith et al., 2005).

Grazie a recenti studi di neuroimaging si è potuta superare l'idea secondo cui i lobi frontali risulterebbero "funzionalmente silenziosi" durante i primi anni di vita, in quanto è stata rilevata un'attività precoce delle aree frontali e prefrontali anche durante la prima infanzia, associata successivamente a significativi miglioramenti nelle prestazioni comportamentali. I neonati, infatti, sono in grado di mostrare diverse competenze autoregolative di basso livello, quali la capacità di riconoscere pattern ambientali, categorizzare stimoli e identificare relazioni predittive, abilità che fungono da precursori del successivo controllo cognitivo (Carlson, 2003). Le abilità cognitive complesse, quali la memoria di lavoro, il controllo inibitorio e la pianificazione, accrescono in concomitanza alla crescita

neurologica della PFC, area centrale per la regolazione delle FE, nel periodo compreso tra i due e i quattro anni, fase in cui si registrano intensi aumenti nei tassi metabolici e nelle connessioni sinaptiche di questa regione. La maturazione di queste connessioni viene interpretata secondo diverse prospettive: alcune linee di ricerca enfatizzano un modello gerarchico in cui le aree anteriori (come la PFC) raggiungono la piena funzionalità solo in seguito alle aree posteriori, grazie a processi come la mielinizzazione e la sinaptogenesi che si estendono fino all'adolescenza e oltre ancora, mentre, parallelamente, approcci differenti sostengono l'idea di una plasticità cerebrale estesa e diffusa, proponendo un'ipotesi alternativa di sviluppo simultaneo in cui le diverse zone corticali maturano in modo sincronico.

Durante gli anni prescolari, i bambini si rivelano capaci di memorizzare regole diverse, manifestando dunque una maggiore capacità di controllo comportamentale, ma, in situazioni di conflitto, incontrano difficoltà nell'abbandonare una regola precedentemente appresa anche quando non risulta più appropriata, evidenziando così la presenza di fenomeni di perseverazione. A cinque anni, inoltre, appaiono in grado di trattenere risposte impulsive nonostante non abbiano ancora sviluppato la capacità di autocorreggersi, dal momento che la frequenza degli errori commessi risulta piuttosto elevata, a dimostrazione del fatto che l'acquisizione della consapevolezza delle proprie azioni e di un ragionamento di tipo *top-down* richiede un'ulteriore maturazione, che risulta ancora in divenire.

Un significativo salto evolutivo si ha nei primi anni di scuola primaria, dai sei ai sette anni, in quanto si registra un netto miglioramento riguardo la progressiva interiorizzazione delle regole e della capacità di autocontrollo, siccome si evidenzia una diminuzione nel numero degli errori e un aumento nella capacità di riconoscerli e autocorreggerli. L'incremento graduale di tali competenze delinea una tappa fondamentale del controllo inibitorio, il quale arriva a stabilizzarsi verso gli otto anni, età in cui la maggior parte dei bambini è in grado di correggere spontaneamente una buona percentuale di errori commessi.

Oltre ai significativi progressi osservati negli anni prescolari e nei primi anni della scuola primaria, lo sviluppo delle funzioni esecutive prosegue in modo continuo e graduale anche nell'adolescenza (con uno scatto di crescita finale nella tarda adolescenza) e nella prima età adulta, fasi cruciali per il consolidamento di queste abilità cognitive. Durante l'adolescenza,

infatti si assiste a un affinamento progressivo di capacità come la pianificazione complessa e anticipata e l'autoregolazione emotiva e comportamentale, supportato da una continua maturazione delle connessioni neurali nella corteccia prefrontale, che raggiunge la piena integrazione funzionale. Questo periodo è caratterizzato da un miglioramento nella capacità di mantenere obiettivi a lungo termine, di resistere alle distrazioni e di adattare flessibilmente il comportamento a contesti sociali e cognitivi sempre più complessi (Banich, 2009).

Dunque, le funzioni esecutive tendono a raggiungere piena stabilità tra la tarda adolescenza e la prima età adulta, risultando critiche per il futuro successo professionale e di vita.

## CAPITOLO II – STUDIO SPERIMENTALE

### 2.1. IPOTESI E OBIETTIVO

Negli ultimi anni, sulla base di dati provenienti da osservazioni neuropsicologiche, ricerche recenti hanno avanzato l'ipotesi di una possibile indipendenza tra i meccanismi sottostanti al controllo esecutivo dominio-generale e quelli relativi al controllo semantico, sottolineando l'implicazione e l'attivazione specifica di particolari regioni cerebrali che vengono coinvolte in maniera selettiva durante prove richiedenti un'elaborazione semantica, come il giro frontale inferiore anteriore laterale (IFG) e il giro temporale medio posteriore (pMTG) (Ralph et al., 2017).

In contrasto a tali studi, tuttavia, sono presenti ulteriori proposte che segnalano, anche durante la codifica veicolata da stimoli semantici, il coinvolgimento di aree corticali che tipicamente vengono associate al funzionamento di processi esecutivi, quali la corteccia prefrontale (PFC) o le zone parietali. Questa parziale sovrapposizione è il motivo per cui in letteratura è ancora dibattuta la distinzione funzionale tra i due sistemi e le loro rispettive basi neurali, con conseguenti complicazioni nel definire accuratamente i relativi ruoli assunti nella gestione delle informazioni semantiche e nella spiegazione di determinati deficit cognitivi, come quelli osservati nella SA, descritta come un disturbo dovuto principalmente a lesioni a carico della PFC e delle aree temporo-parietali che comportano una compromissione dei processi di controllo semantico.

Per queste ragioni, il presente studio mira a esaminare la specificità o le eventuali interconnessioni tra il sistema semantico e quello esecutivo, adoperando il paradigma sperimentale dello *Stroop* realizzato sia in una versione semantica sia in una versione basata su stimoli spaziali (la variante esecutiva), con l'obiettivo di effettuare un confronto tra le prestazioni ottenute dai partecipanti nei due diversi domini. L'utilizzo di questa metodologia ha permesso di fornire maggiori chiarimenti in merito e di valutare se tra i due tipi di processi coinvolti vi sia una condivisione di risorse cognitive e neurali, oppure se essi rispecchino due sistemi funzionalmente separati e siano modulati da differenti reti neurali.

Questo lavoro si colloca dunque all'interno di un nuovo filone di ricerca in via di definizione, in quanto l'utilizzo di un campione infantile di bambini sani consente di esplorare queste dinamiche lungo un'ottica evolutiva e la scelta di un approccio comparativo tra i due sistemi permette di evidenziare similitudini o divergenze, portando a ricadute significative sia sul piano teorico sia sul piano applicativo.

## 2.2. DISEGNO SPERIMENTALE E PROCEDURA

Lo studio prevede l'esecuzione di una batteria di compiti dalla breve durata da svolgere al tablet in aula. Una delle prove svolte dai partecipanti è lo *Stroop* test, la cui struttura è stata riadattata in modo tale da poter essere somministrata ad una popolazione infantile, presentato in due versioni differenti sulla base del tipo di informazioni contenute: una versione presenta stimoli semantici, mentre l'altra riguarda stimoli visuo-spaziali. Entrambe le varianti includono un blocco iniziale di training e prevedono due condizioni sperimentali, una congruente e una incongruente.

L'esperimento, della durata complessiva di circa 5 minuti, è stato programmato sulla piattaforma *Labvanced* e somministrato in aula, a seguito di una precisa spiegazione da parte dell'operatore, fornita collettivamente. La scelta di questa modalità operativa ha permesso di garantire la comprensione del compito da parte dei bambini e di chiarire eventuali dubbi prima di iniziare con la prova, consentendo così di strutturare il task senza includere schermate introduttive con spiegazioni, obiettivi o istruzioni, e rendendo possibile l'esecuzione immediata.

Le informazioni anagrafiche sono state raccolte direttamente dai genitori, in modo tale da rendere il procedimento ancora più semplice e scorrevole per i bambini, che hanno potuto concentrarsi e dedicarsi esclusivamente all'attività.

### 2.2.1. Versione Semantica

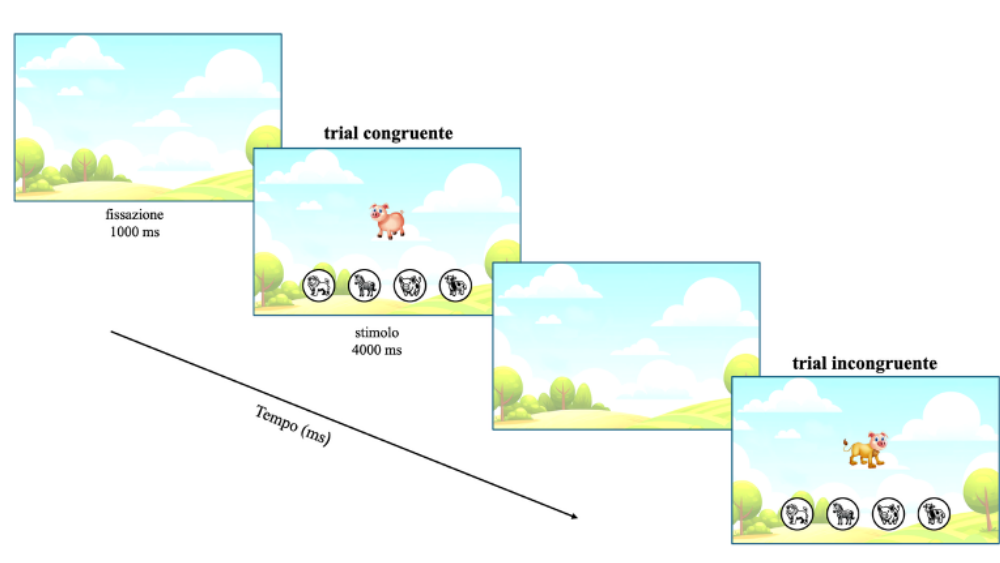
Nella versione semantica del paradigma, il compito del partecipante consiste nell'identificare e selezionare correttamente l'immagine che corrisponde al corpo dello stimolo *target*, ovvero un animale presentato al centro dello schermo durante ciascun *trial*. Sono presenti due fasi temporali distinte: una prima fase di fissazione centrale dalla durata

di 1000 ms composta da uno sfondo fisso che raffigura un ambiente naturale, privo di elementi visivi rilevanti per evitare possibili distrazioni, seguita da una schermata in cui viene presentato lo stimolo, visibile per 4000 ms, tempo massimo per fornire una risposta altrimenti considerata mancante.

Lo stimolo raffigura un animale tra quattro possibili (leone, zebra, maiale, mucca), ed è visualizzato a schermo intero di risoluzione 1280 x 800 *pixel*. Nella condizione congruente, l'immagine target rappresenta un animale con testa e corpo coerenti (ad esempio, un maiale con la testa di maiale). Nella condizione incongruente, invece, la figura presenta un'unione tra il corpo di un animale e la testa di un altro (ad esempio, una mucca con la testa di un leone) e al partecipante viene richiesto di discriminare l'animale che equivale al corpo dello stimolo presentato (caratteristica rilevante) e cliccare correttamente sulla casella corrispondente, cercando di ignorare la presenza di una testa non conforme (caratteristica irrilevante). I tasti di risposta si trovano disposti in linea sotto lo stimolo (160 x 160 *pixel*).

Sono possibili 16 diverse combinazioni dello stimolo, che risulta di forma rettangolare (255 x 180 *pixel*), di cui 4 sono congruenti e 12 incongruenti. Ognuna di esse presenta inoltre una seconda versione in cui la direzione dello stimolo appare capovolta, in modo tale da evitare un possibile effetto apprendimento nei bambini, che, nel caso in cui la testa apparisse sempre a destra, potrebbero mantenere lo sguardo fisso dall'altra parte per evitare di commettere errori.

L'esperimento si compone inizialmente di un blocco di *training* che comprende 4 prove, per permettere ai bambini di familiarizzare con il compito, in cui a seguito di ogni *trial* compare un'immagine di *feedback* positiva (una faccina sorridente) o negativa (una faccina con un'espressione triste), per restituire loro l'esito sulla base della prestazione fornita. A seguito di questa breve sessione introduttiva, ha inizio il compito sperimentale, composto in tutto da 48 *trial*, di cui metà congruenti e metà incongruenti. In questo blocco, ogni 8 *trial* viene presentata un'immagine di rinforzo, indipendentemente dalla correttezza della risposta, con lo scopo di mantenere alta la motivazione e il coinvolgimento dei bambini.



**Figura 1.** Versione semantica del compito di *Stroop*: illustrazione della schermata di fissazione seguita dalla schermata di presentazione dello stimolo in un trial congruente e uno incongruente.

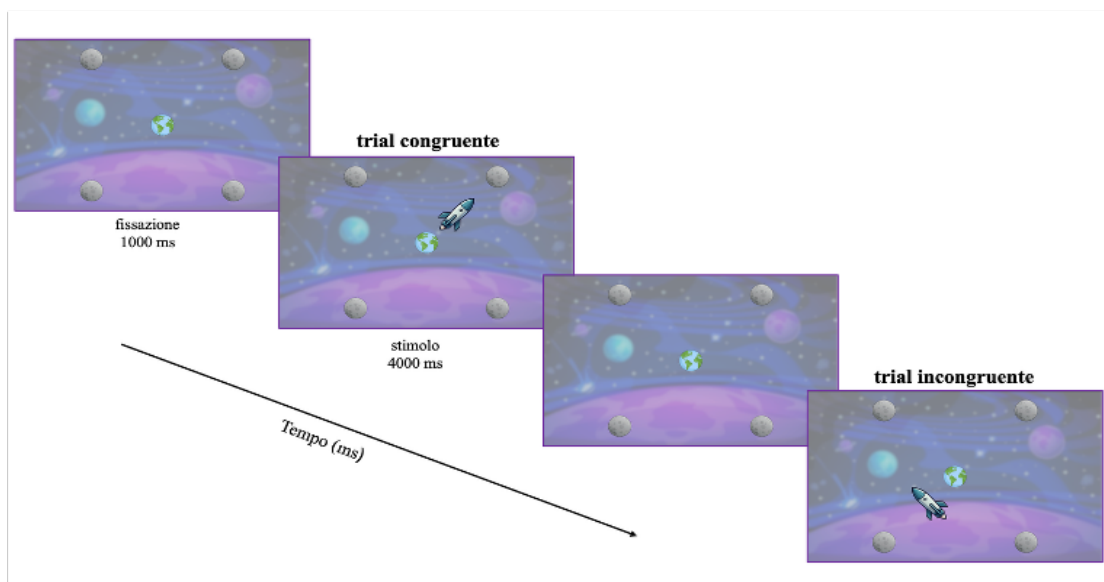
### 2.2.2. Versione Esecutiva

In questa versione, il compito rappresenta una variante spaziale del paradigma di *Stroop*, in cui i partecipanti devono discriminare la direzione dello stimolo, ignorando la posizione spaziale di questo. Anche per questa versione, è presente un primo periodo di fissazione centrale dalla durata di 1000 ms, in cui viene visualizzato uno sfondo spaziale con un elemento centrale (il pianeta Terra), in modo tale da orientare lo sguardo del partecipante verso il centro dello schermo al momento della comparsa dello stimolo, seguito dalla schermata di visualizzazione dello stimolo per un massimo di 4000 ms.

Lo stimolo in questione è un missile di 160 x 160 *pixel*, che indica verso una delle 4 lune (100 x 100 *pixel*) posizionate agli angoli di un quadrato ideale centrato sullo schermo, che risulta di 620 x 620 *pixel*, rispetto allo schermo totale di 1280 x 800 *pixel*. La Luna in alto a sinistra è centrata a 330 *pixel* dal margine sinistro dello schermo, mentre quella in alto a destra è centrata a 950 *pixel* dal medesimo margine. Di conseguenza, i rispettivi bordi più vicini al lato sinistro si trovano approssimativamente a 280 *pixel* (sinistra) e a 900 *pixel* (destra).

Nella condizione congruente, la direzione indicata dal razzo (ad esempio, verso la Luna situata in alto a destra) coincide con la sua posizione effettiva sullo schermo, dove appare posizionato nel medesimo quadrante spaziale che indica (in questo caso, in alto a destra sopra la Terra). Nella condizione incongruente, la direzione verso cui punta il missile non corrisponde alla sua posizione reale nello schermo (ad esempio, lo stimolo si trova nel quadrante inferiore sinistro, ma indica la Luna posizionata in alto a destra), situazione in cui il bambino deve rispondere unicamente in base alla sua direzione.

La struttura di questa versione coincide con quella precedente: è prevista inizialmente una fase di *training* costituita da 4 *trial* in cui viene fornito un *feedback* immediato a seguito della risposta data, seguita dall'effettivo compito sperimentale composto da 48 *trial*, di cui metà congruenti e metà incongruenti, bilanciati rispetto alle 4 possibili posizioni in cui il missile può comparire. I *trial*, dunque, sono stati strutturati in modo da garantire una distribuzione equa dello stimolo *target* tra le diverse aree dello schermo, in modo tale da controllare l'instaurarsi di una possibile preferenza nella selezione della risposta.

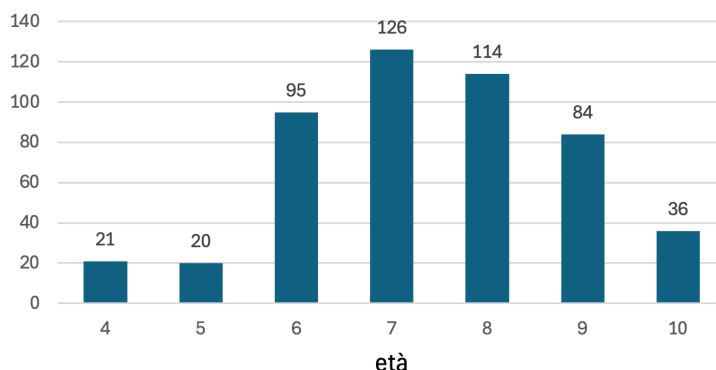


**Figura 2.** Versione esecutiva del compito di *Stroop*: illustrazione della schermata di fissazione seguita dalla schermata di presentazione dello stimolo in un trial congruente e uno incongruente.

### 2.3. PARTECIPANTI

Il campione sperimentale comprende 496 bambini sani con un *range* di età compreso tra i 4 e i 10 anni, di cui 239 femmine e 257 maschi. Riguardo al grado di scolarizzazione, 41 partecipanti frequentano la scuola dell'infanzia, mentre i restanti sono iscritti alle diverse classi della scuola primaria.

La raccolta dati è stata effettuata all'interno di varie scuole dell'infanzia e scuole elementari del comune di Padova e, visto il coinvolgimento di minori, la partecipazione alla ricerca è avvenuta esclusivamente previa visione del consenso informato, firmato dai genitori, in assenza del quale i bambini non sarebbero stati inclusi nello studio.



**Figura 3.** Grafico illustrativo della distribuzione dei partecipanti in base all'età.

### 2.4. ANALISI DEI DATI

Per analizzare i dati, sono state tenute in considerazione le misure *summary* di entrambe le versioni del compito, limitatamente alla condizione incongruente, in quanto rappresentano i due indici più rappresentativi del processo inibitorio che si è voluto prendere in analisi.

In quest'analisi, il valore di riferimento considerato per le due versioni corrisponde a una misura composta, la CRR (*Correct Response Rate*), calcolata secondo la formula  $iRT/ACC$ , scelta in quanto permette di integrare la velocità di risposta e il livello di accuratezza, tenendo dunque conto del numero degli errori. È stato preferito questo

indicatore rispetto agli iRT, che riporta esclusivamente la velocità di risposte corrette, dato che consente una valutazione più sensibile delle prestazioni del campione infantile, oggetto di analisi.

Inoltre, nell'analisi sono stati scartati tutti i *trial* appartenenti al blocco di addestramento precedente alla fase sperimentale.

L'analisi statistica è stata eseguita tramite l'uso del software Excel e del *software* Jamovi 2.6.44.0.

La prima analisi è stata effettuata per valutare se la media tra la prestazione ottenuta nel dominio esecutivo differisca significativamente da quella conseguita nella prova semantica, usando un t test a campioni appaiati. Tale tipologia di t test si basa sul calcolo della differenza tra i valori ottenuti nelle due condizioni e verifica se questa differenza ha una distribuzione diversa da zero.

Non sono presenti casi di *casewise deletion* poiché sono disponibili entrambi i dati per ogni partecipante.

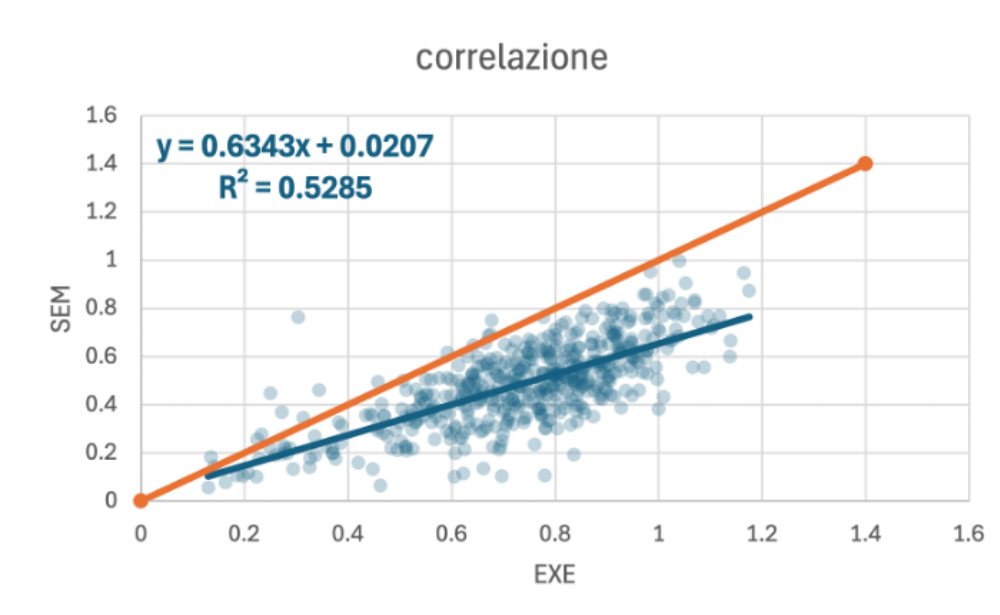
Una seconda analisi è stata svolta per indagare sulla correlazione tra la *performance* esecutiva e quella semantica, e dunque osservare la tendenza di una variabile a cambiare in funzione dell'altra. L'analisi fatta è una regressione lineare, preferita alla matrice di correlazione, in quanto, oltre a permettere di vedere se l'intercetta presenti uno *shift* (risulti diversa da 0) e restituire il valore di p, quantifica quanto il valore semantico cambi in relazione alle variazioni del valore esecutivo.

L'ultima analisi si concentra sulla valutazione della traiettoria evolutiva, tramite la correlazione con l'età, per stabilire se le due traiettorie risultino simili. È stata effettuata un'ANOVA a misure ripetute, che ha permesso di visualizzare l'effetto dell'età nei due livelli (esecutivo e semantico) del fattore dominio, il cui grafico è stato eseguito su Excel.

## 2.5. RISULTATI

Il t test a campioni appaiati ha mostrato che la differenza tra le medie delle due condizioni risulta altamente significativa ( $t = 40.1$ ,  $p < .001$ ). Inoltre, l'elevato valore della  $d$  di Cohen ( $=1.80$ ), che misura la dimensione dell'effetto, indica che l'effetto presente è di ampia entità.

I risultati della regressione lineare mostrano una relazione significativa e solida tra le prestazioni nel compito esecutivo e quelle nel compito semantico. Il coefficiente di correlazione  $R = 0.727$  indica, infatti una forte relazione positiva tra le due variabili e il coefficiente di determinazione  $R^2 = 0.529$  suggerisce che circa il 53% della varianza nelle prestazioni al compito semantico è spiegata dalle prestazioni al compito esecutivo. Inoltre, il predittore esecutivo ha una stima di  $0.6343$ , con un errore standard molto basso ( $0.0270$ ), un alto valore  $t$  ( $t = 23.53$ ) e una significatività statistica molto forte ( $p < .001$ ), indicando che il compito esecutivo è un predittore altamente significativo della *performance* nel compito semantico: all'aumentare della *performance* nel compito esecutivo, aumenta anche quella nel compito semantico.



**Figura 4.** *Scatter plot* (grafico a dispersione) che raffigura la correlazione tra EXE (variabile indipendente) e SEM (variabile dipendente).

L'ANOVA a misure ripetute restituisce i seguenti valori:

### ANOVA a Misure Ripetute

Effetti Entro i Sggetti

	Somma dei Quadrati	gdl	Media Quadratica	F	p	$\eta^2_p$
DOMINIO	0.0640	1	0.06398	6.99	0.008	0.014
DOMINIO * AGE_Y	0.2022	1	0.20216	22.08	<.001	0.043
Residuo	4.5222	494	0.00915			

Nota. Somma dei quadrati Tipo 3

[4]

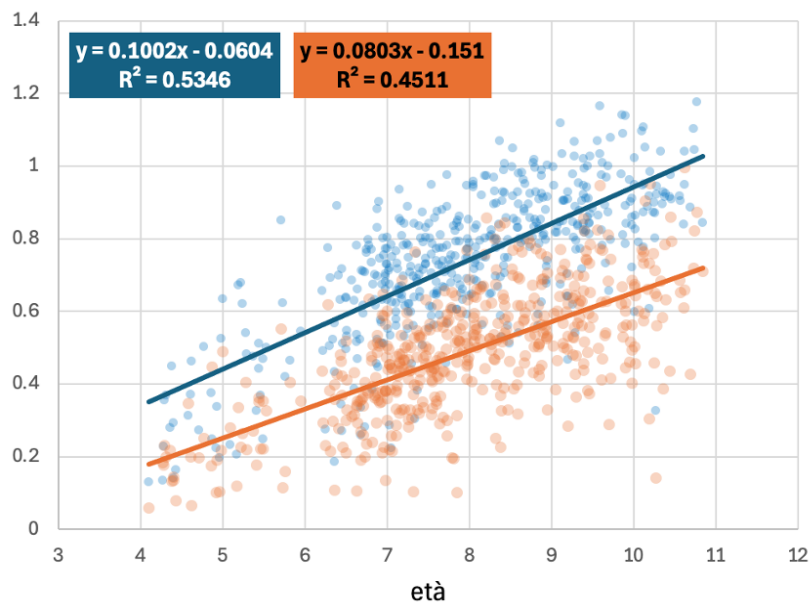
Effetti Tra Soggetti

	Somma dei Quadrati	gdl	Media Quadratica	F	p	$\eta^2_p$
AGE_Y	16.6	1	16.6366	662	<.001	0.573
Residuo	12.4	494	0.0251			

Nota. Somma dei quadrati Tipo 3

**Figura 5.** Tabella relativa ai risultati dell'ANOVA a misure ripetute.

Oltre all'effetto del dominio, già visto tramite il t test, si nota un effetto significativo dell'età e che questo cambia nei due livelli, come dimostrato:



**Figura 6.** Grafico illustrativo della traiettoria evolutiva di entrambi i domini.

Inoltre, l'*effect size* dell'età conferma che le due abilità sono simili.

### CAPITOLO III – DISCUSSIONE

Il presente studio sperimentale ha inteso indagare la natura del rapporto tra controllo esecutivo e controllo semantico in età evolutiva, attraverso l'utilizzo di un paradigma *Stroop* riadattato per bambini dai 4 ai 10 anni, presentato in due versioni distinte: una versione esecutiva, basata su stimoli spaziali, e una versione semantica, incentrata sulla discriminazione di immagini di animali. Le due varianti del compito sono state somministrate mediante *tablet* in ambiente scolastico e sono state rese comprensibili e facili da svolgere, allo scopo di valutare eventuali differenze prestazionali tra i due domini, la loro correlazione e il modo in cui tali capacità si sviluppano nel tempo.

L'analisi statistica effettuata ha prodotto tre risultati principali. Il primo è emerso attraverso un t-test a campioni appaiati, che ha mostrato una differenza altamente significativa tra le prestazioni nel compito esecutivo e quelle nel compito semantico, a vantaggio del primo. Il secondo risultato deriva da una regressione lineare, la quale ha evidenziato una forte correlazione positiva tra le performance nei due compiti, mentre l'ultimo, ottenuto mediante un'ANOVA a misure ripetute, ha rilevato che entrambe le abilità migliorano con l'età, evidenziando traiettorie di sviluppo parallele.

Il t-test a campioni appaiati ha mostrato che i bambini hanno ottenuto risultati significativamente migliori nella versione esecutiva dello *Stroop* rispetto a quella semantica, con un effetto di dimensioni molto ampie. Una possibile interpretazione di questo risultato riguarda la presenza di una maggiore difficoltà nella gestione del conflitto semantico da parte dei partecipanti, che tuttavia non implica necessariamente una dissociazione tra i due domini. È infatti plausibile valutare tale differenza come conseguenza del carico cognitivo aggiuntivo richiesto dal compito semantico, che può essere modulato da variabili come la familiarità lessicale e l'esperienza linguistica, oltre all'inibizione della dimensione irrilevante. In questa prospettiva, la differenza osservata può non riflettere l'attivazione di due sistemi di controllo distinti, ma piuttosto la diversa complessità dei processi rappresentazionali coinvolti.

Tuttavia, l'esito del t-test da solo non consente di determinare se tale differenza sia prodotta da una maggiore difficoltà intrinseca del compito semantico oppure se derivi da

caratteristiche individuali dei partecipanti. Dunque, per comprendere se l'esito ottenuto sia dovuto alla struttura del *task* o sia regolato dalle abilità dei bambini, è necessario integrare questo primo dato con il risultato della seconda analisi. Il secondo risultato, ottenuto attraverso una regressione lineare tra le prestazioni nel compito esecutivo e in quello semantico, ha messo in luce una forte correlazione positiva, suggerendo un legame sostanziale tra i due domini. La spiegazione di questo risultato può avvenire secondo due direzioni alternative.

La prima ipotesi è che il compito semantico sia intrinsecamente più difficile, cioè che tutti i partecipanti, a prescindere dalle loro capacità cognitive, incontrino maggiori difficoltà nel portarlo a termine. In questo caso, la relazione tra i due compiti rifletterebbe semplicemente una penalizzazione uniforme: ogni partecipante otterrebbe nel compito semantico una prestazione costantemente più bassa, di una quantità fissa, rispetto a quella ottenuta nel compito esecutivo. In termini grafici, questo scenario si tradurrebbe in una retta di regressione parallela alla bisettrice (la retta che prevede la stessa prestazione nelle due versioni), ma traslata verso il basso, con un'intercetta negativa che rappresenterebbe appunto la difficoltà aggiuntiva del compito semantico.

La seconda interpretazione, invece, quella supportata dai dati raccolti e che fornisce chiarimenti sul risultato del precedente t-test, è che la differenza tra le prestazioni nei due compiti non sia costante né riconducibile alla difficoltà strutturale della prova semantica, ma rifletta una differenziazione proporzionale alle caratteristiche individuali dei partecipanti. Da questo punto di vista, il compito semantico non è un artefatto metodologico che prescinde dalle competenze presenti, ma risulta più sensibile alle differenze di abilità possedute dai bambini.

In altri termini, si può affermare che esiste una relazione sistematica tra le due prestazioni in quanto al crescere della prestazione nel compito esecutivo cresce anche quella nel compito semantico. Questo andamento proporzionale dimostra che i due compiti condividono risorse cognitive comuni e che la differenza osservata è modulata dalle competenze individuali, permettendo di scartare l'ipotesi di una diversa complessità oggettiva del *task*.

Il terzo risultato, ottenuto tramite un'ANOVA a misure ripetute, ha evidenziato un effetto principale dell'età significativo, con un *effect size* molto grande. La stessa analisi ha comunque anche evidenziato una differenza nella traiettoria evolutiva dei due domini, data dalla significatività dell'interazione DOMINIO\*AGE\_Y. Questo risultato (visibile nella Figura 5) indica che, sebbene entrambe le prestazioni migliorino con l'età, il compito esecutivo presenta una pendenza leggermente più marcata rispetto a quello semantico e questo può riflettere una maggiore linearità e stabilità nello sviluppo delle funzioni esecutive generali, che tendono a consolidarsi progressivamente già in età prescolare, mentre il controllo semantico potrebbe risultare più variabile e sensibile a fattori esperienziali specifici, come il livello di esposizione linguistica o la qualità del contesto scolastico. Va però notato che questa differenza ha un *effect size* molto minore rispetto all'effetto medio dell'età. Questo dato è particolarmente rilevante in quanto suggerisce che l'influenza dell'età sulle prestazioni sia fondamentalmente comparabile nei due differenti domini, confermando l'ipotesi secondo cui il controllo esecutivo e quello semantico si sviluppino in modo simile e parallelo durante il periodo scolastico, e che presumibilmente condividano un substrato neurale comune. Dunque, nonostante la differenza di pendenza, i dati relativi alla forte correlazione tra le due abilità e il fatto che entrambe migliorino con l'età supportano comunque l'idea di meccanismi condivisi o strettamente interconnessi, anche se la maturazione potrebbe procedere a ritmi leggermente diversi o essere influenzata da fattori esterni specifici.

In sintesi, i risultati promuovono l'idea che le due abilità siano affini, condividano un percorso evolutivo comune, e che le differenze osservate nel profilo di crescita possano essere spiegate non da una separazione strutturale tra i due sistemi, ma da una diversa sensibilità allo sviluppo e all'esperienza.

Dunque, a livello neurale, se il controllo semantico fosse supportato da un sistema neurale separato, come previsto dalla CSC, ci si potrebbe aspettare una divergenza nello sviluppo o nella prestazione tra i due compiti, ma dai risultati di questa analisi ciò non è emerso. Le aree identificate nel modello CSC, come il PMTG e la vPFC, possono effettivamente essere attivate in compiti semantici, ma la loro attivazione non costituisce prova definitiva di un

sistema di controllo autonomo in quanto tali regioni potrebbero assumere un ruolo d'interfaccia e supportare il controllo esecutivo nell'orientamento tra contenuti semantici.

In quest'ottica, il pMTG e la vPFC non sarebbero zone deputate al controllo, ma piuttosto regioni che modulano le informazioni semanticamente rilevanti in coattivazione con le aree tradizionalmente implicate nel controllo esecutivo, integrandosi funzionalmente in questo più ampio *network* di controllo.

Pertanto, il presente studio sostiene l'idea che i processi di controllo condividano meccanismi comuni, e che eventuali differenze emerse nei compiti semantici derivino dalla natura dei contenuti elaborati piuttosto che da un'organizzazione funzionale dissociata.

È inoltre importante sottolineare che la letteratura attualmente disponibile sul controllo semantico è ancora limitata (spesso basata su studi con adulti e pazienti neurologici) che non permettono di distinguere con chiarezza tra meccanismi di controllo, rappresentazione e inferenza semantica e l'uso di compiti di controllo inibitorio come strumenti per valutare il controllo semantico non consente di isolare con precisione i processi specifici coinvolti, sovrapponendo le due dimensioni.

Sul piano applicativo, questa metodologia può risultare utile in contesti educativi e clinici. In ambito scolastico, i compiti *Stroop* digitalizzati potrebbero essere integrati come strumenti di *screening* rapido per monitorare lo sviluppo del controllo cognitivo nei primi anni dell'istruzione primaria e in ambito neuropsicologico questa valutazione potrebbe consentire una migliore identificazione di profili atipici. In particolare, lo studio di pazienti con lesioni selettive in regioni frontali o rispetto a pazienti con danni nelle aree CSC potrebbe fornire indicazioni decisive circa la modularità o l'integrazione dei sistemi.

Per quanto riguarda le prospettive future di ricerca, potrebbe essere utile estendere questo tipo di indagine a campioni clinici (es. bambini con ADHD, DSA o disturbi del linguaggio) al fine di validare l'efficacia discriminativa del paradigma. Sarebbe inoltre utile un approccio longitudinale, che permetta di monitorare l'evoluzione nel tempo delle due abilità, osservandone lo sviluppo reciproco e verificando se i bambini che presentano inizialmente difficoltà in una delle due dimensioni tendano a mostrare traiettorie

convergenti di miglioramento, coerentemente con la correlazione osservata, oppure se emergano profili di divergenza nello sviluppo.

In aggiunta, studi futuri potrebbero avvalersi dell'integrazione tra misure comportamentali e *neuroimaging* funzionale (es. fMRI o EEG), per indagare in modo più diretto le reti neurali coinvolte, distinguendo con maggiore precisione i contributi delle aree frontali, parietali e temporali. L'impiego di studi di *neuroimaging* con disegno comparativo, che analizzino l'attivazione cerebrale durante compiti esecutivi e semantici nello stesso soggetto, permetterebbe di verificare la selettività delle aree considerate nella teoria CSC rispetto al dominio semantico e di osservare le eventuali connessioni funzionali con la rete frontoparietale, contribuendo a chiarire se si tratti di aree di modulazione rappresentazionale o regioni sottostanti al controllo. Tali analisi potrebbero essere ulteriormente rafforzate dall'uso di tecniche di connettività funzionale, che offrono una visione più dinamica dei *network* coinvolti.

Da un punto di vista metodologico, il disegno sperimentale potrebbe essere ulteriormente migliorato attraverso l'introduzione di una condizione neutra o *baseline* comune a entrambe le versioni del compito, così da meglio isolare la componente semantica da quella esecutiva. Inoltre, potrebbe essere utile raccogliere variabili individuali aggiuntive, come il livello linguistico, l'indice di sviluppo lessicale, le abilità attentive o la memoria di lavoro, e misure contestuali in modo tale da spiegare parte della varianza residua nelle prestazioni. L'esplorazione di variabili socioculturali e ambientali, in particolare l'impatto del bilinguismo, della scolarizzazione precoce e del contesto linguistico familiare, potrebbe fornire indicazioni più specifiche sull'efficienza del sistema semantico.

In conclusione, le future direzioni di ricerca, orientate verso studi longitudinali, l'utilizzo di neuroimmagini e l'indagine su campioni clinici, saranno cruciali per affinare ulteriormente la nostra comprensione di questa complessa interazione e per superare le attuali ambiguità teoriche, promuovendo una visione più integrata e funzionale dei meccanismi del controllo cognitivo.

## **BIBLIOGRAFIA**

Anderson, V. (1998). Assessing executive functions in children: Biological, psychological, and developmental considerations. *Neuropsychological rehabilitation*, 8(3), 319-349.

Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current directions in psychological science*, 18(2), 89-94.

Carlson, S. M. (2003). The development of executive function in early childhood: executive function in context: development, measurement, theory and experience.

Cohen, J. D., 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.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64(1), 135-168.

Duncan, J. (2010). The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour. *Trends in cognitive sciences*, 14(4), 172-179.

Isquith, P. K., Crawford, J. S., Espy, K. A., & Gioia, G. A. (2005). Assessment of executive function in preschool-aged children. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 11(3), 209-215.

Jefferies, E. (2013). The neural basis of semantic cognition: converging evidence from neuropsychology, neuroimaging and TMS. *Cortex*, 49(3), 611-625.

Macdonald, J. A., Beauchamp, M. H., Crigan, J. A., & Anderson, P. J. (2014). Age-related differences in inhibitory control in the early school years. *Child Neuropsychology*, 20(5), 509-526.

Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current directions in psychological science*, 21(1), 8-14.

Montefinese, M., Hallam, G., Thompson, H. E., & Jefferies, E. (2020). The interplay between control processes and feature relevance: Evidence from dual-task methodology. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 73(3), 384-395.

Ralph, M. A. L., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature reviews neuroscience*, 18(1), 42-55.