



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOBIOLOGIA E  
NEUROSCIENZE COGNITIVE**

**LO SVILUPPO DELLE FUNZIONI ESECUTIVE IN RELAZIONE ALLE  
CAPACITÀ MOTORIE IN ETÀ PRESCOLARE.**

**Relatore (o Relatori):**

*Chiar.mo/a Prof./ssa LEONARDO FOGASSI*

**Controrelatore:**

*Chiar.mo/a Prof./ssa DOLORES ROLLO*

**Laureanda:**

*ANGELA CONCETTA VELLA*

**ANNO ACCADEMICO 2019-2020**



## INDICE

<b>Abstract .....</b>	<b>4</b>
<b>Capitolo 1.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Lo sviluppo cognitivo.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Plasticità cerebrale.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Imitazione e teorie.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Il ruolo dei neuroni specchio nell'imitazione.....</b>	<b>10</b>
<b>Capitolo 2.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Sistema motorio.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.1 Sviluppo pre e post-natale del sistema motorio .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2 Circuiti parieto-frontali .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Funzioni esecutive .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1 Corteccia prefrontale .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 In che modo la corteccia prefrontale è collegata alla corteccia motoria? .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Studi tra funzioni esecutive e abilità motorie .....</b>	<b>22</b>
<b>Capitolo 3.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Obiettivo.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Partecipanti .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Materiali e metodi .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Risultati.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Discussione.....</b>	<b>48</b>
<b>3.6 Conclusione.....</b>	<b>50</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>51</b>

## **Abstract**

In this study the correlations between motor skills and executive functions in preschool children were analyzed. Two tests were used: TOL and NEPSY II. TOL evaluates executive functions and NEPSY II evaluates motor skills.

Executive functions are defined as a set of cognitive processes related to the control and planning of the individual's behavior to achieve a goal. With regard to motor skills, the imitative aspect has been deepened, also in relation to the role of mirror neurons.

The sample used in this research consists of children aged 4 and 5 years. This is a period in which the child is exposed to many cognitive, perceptual and motor changes, so there is a change in synaptic connections, and this is why the concept of brain plasticity is also addressed.

## **Introduzione**

Il presente studio consiste in un'analisi del rapporto tra il dominio delle abilità motorie e quello delle funzioni esecutive in età prescolare. Il collegamento tra questi domini è stato molto approfondito in soggetti di età adulta ma molto meno nei bambini e ancor meno in bambini di età prescolare, sui quali la letteratura risulta insoddisfacente.

Il periodo che va dalla nascita fino ai 6 anni è caratterizzato da progressi e nuove acquisizioni in termini cognitivi, percettivi e motori. Alcuni studi confermano che già nell'utero vengono disposte le basi necessarie che consentono un regolare sviluppo dopo la nascita.

L'obiettivo iniziale di questo progetto era quello di indagare come l'attività laboratoriale basata sull'interazione con oggetti di materiali differenti e di complessità crescente potesse determinare la modificazione di alcune scale funzionali, oltre l'effetto della normale maturazione. Tuttavia non è stato possibile terminare il progetto a causa della chiusura delle scuole determinata dall'emergenza Covid-19. Ciò nonostante i dati ottenuti dall'applicazione di tali scale prima dell'inizio dell'attività laboratoriale sono risultati interessanti e alcuni di questi vengono descritti in questa tesi.

Nel primo capitolo verrà presentato il concetto di sviluppo collegato alla plasticità cerebrale e all'imitazione; nel secondo capitolo verranno trattate le descrizioni del sistema motorio e delle funzioni esecutive e gli studi che mostrano un collegamento tra questi due domini; nel terzo e ultimo capitolo verrà illustrato lo studio sperimentale.

A questo progetto hanno partecipato 88 bambini di età compresa tra i 4 e i 5 anni, a cui sono stati somministrati test che valutavano le capacità motorie e le funzioni esecutive, NEPSY II per le prime e TOL per le seconde. Si sono evidenziate correlazioni tra diverse sottoscale della NEPSY II e della TOL, indicando così un collegamento tra lo sviluppo dell'una e dell'altra.

# Capitolo 1

## 1. Lo sviluppo cognitivo

Studiare lo sviluppo cognitivo significa indagare i meccanismi che permettono le trasformazioni nel comportamento e lo sviluppo delle abilità nel bambino. Lo sviluppo viene inteso come un processo dinamico costituito da una sequenza di informazioni (Cassia, Valenza, Simion, 2012).

Quando si parla di sviluppo cognitivo ci si chiede cosa è innato e cosa è appreso, natura o cultura, questo dibattito risulta, ancora per molti, del tutto aperto.

Già Piaget sosteneva che lo sviluppo cognitivo del bambino avviene attraverso l'interazione con l'ambiente esterno e l'esperienza ricopre un ruolo fondamentale.

Oggi, l'approccio a cui si fa riferimento quando si parla di sviluppo nel bambino è il neurocostruttivismo. Karmiloff-Smith (1992) sostiene una visione dinamica, in cui, nel corso del tempo, il cervello del bambino subisce molteplici cambiamenti funzionali, strutturali e architettonici. Questo sostiene un cambiamento graduale dello sviluppo cognitivo, in cui le rappresentazioni dell'ambiente che il bambino ha creato si collegano e ampliano nel tempo.

Un fenomeno rilevante durante lo sviluppo post-natale è l'incremento delle ramificazioni sinaptiche al crescere dell'età. Nel processo di formazione delle connessioni sinaptiche, chiamato "sinaptogenesi", inizialmente ogni singolo neurone crea connessioni, sinapsi, con migliaia di altri neuroni. A questa fase di incremento segue una fase di potatura in cui vengono eliminate le sinapsi in eccesso, fino ad arrivare al numero tipicamente presente nell'adulto. Questo procedimento è influenzato dall'ambiente, in quanto le sinapsi attivate meno frequentemente, in risposta all'ambiente, si indeboliscono e decadono, mentre si rinforzano quelle molto attive.

Lo Sviluppo e l'apprendimento sono due facce della stessa medaglia. Non possiamo apprendere prima di possedere delle sinapsi e non appena queste si formano possono essere influenzate dalle nostre esperienze esterne. Ogni esperienza, sia ambientale che sentimentale, ogni conoscenza che non risulta

innata, contribuisce alla formazione e strutturazione delle sinapsi, del cervello e del nostro Sé, permettendoci di differenziarci da chiunque altro (LeDoux, 2002).

## **1.2 Plasticità cerebrale**

Quando si parla di apprendimento, si parla di cambiamento di un comportamento a seguito di nuove informazioni acquisite e questo cambiamento è stato dimostrato anche a livello cerebrale sia nell'uomo che nella scimmia, ma soprattutto il cambiamento avviene nell'intero arco di vita.

Il concetto di plasticità cerebrale è stato studiato a lungo, in uno studio di Ungerleider (1994) è stato dimostrato che l'allenamento quotidiano sul movimento di una sequenza manuale risulta un'area di attivazione corticale maggiore rispetto a ciò che emergeva prima del training motorio, dimostrando un cambiamento, una plasticità a seguito di un apprendimento. Tra i tanti fenomeni plastici studiati, è particolarmente interessante quello studiato nel macaco, in cui è stato dimostrato come l'uso di strumenti comportasse delle modificazioni plastiche a livello neuronale. In un esperimento di Umiltà e collaboratori (2008), su neuroni dalla corteccia premotoria ventrale di macaco, si è visto che, dopo un allenamento a utilizzare due tipi di pinze per afferrare del cibo, i neuroni motori codificavano l'afferramento di un oggetto sia con la mano che con una pinza invertita, dimostrando quindi che tali neuroni scaricavano in relazione allo scopo (afferrare), indipendentemente dall'effettore e dal movimento con cui l'afferramento avveniva. Dal punto di vista della plasticità, neuroni che inizialmente si attivavano solo in relazione ad azioni manuali, grazie all'apprendimento trattavano l'utensile come un prolungamento dell'arto superiore, trasferendovi lo stesso significato.

Nell'uomo la plasticità è altissima nell'età dello sviluppo, segnatamente nei primi tre anni di vita. Tuttavia, è stato dimostrato come nell'adulto la possibilità di apprendimento permane fino alla morte. In un esperimento fatto sull'uomo (Pascual-Leone, 1995) i partecipanti dovevano premere dei tasti del pianoforte seguendo il ritmo di un metronomo; dopo 5 giorni si vide come i soggetti seguivano in maniera perfetta il metronomo. Confrontando la mappa motoria, verificata mediante stimolazione

magnetica transcranica (TMS) della corteccia motoria prima e dopo l'allenamento in soggetti sperimentali e soggetti di controllo (che svolgevano dei movimenti, ma senza seguire un ritmo esterno), notiamo un ampliamento del campo motori di interesse che controlla i flessori ed estensori della mano. Questo effetto si vedeva solo nella mano allenata e non nella mano non allenata, dimostrando quindi la plasticità del sistema.

### **1.3 Imitazione e teorie**

L'imitazione ha un ruolo centrale nello sviluppo umano, nell'apprendimento motorio e nella comunicazione. È un fenomeno che risulta fondamentale per l'adattamento. Tra i processi imitativi, è abbastanza peculiare il fenomeno dell'imitazione neonatale. Esso è stato studiato da Meltzoff e Moore (1977), che condussero studi su neonati in cui si vide come questi, privi di esperienza visiva, fossero in grado di riprodurre gesti ed espressioni osservati negli adulti, come la protrusione della lingua, l'apertura della bocca o anche movimenti delle dita. Gli autori quindi ipotizzarono che la capacità imitativa fosse innata. L'imitazione neonatale è stata studiata anche nel macaco, dimostrando che anche in questo caso l'animale riesce a riprodurre i gesti e le espressioni osservate a poche giorni dalla nascita. Il meccanismo imitativo risulta inoltre un vantaggio evolutivo poiché permette al cucciolo di riconoscersi nella madre, seguirla e imitarla al fine della sopravvivenza.

La *active intermodal mapping theory* (AIM) di Meltzoff e Moore, secondo cui l'imitazione è un processo di raggiungimento della corrispondenza, con un bersaglio finale basato sull'innata capacità di codificare e trasformare gli input visivi-spaziali-temporali in veri e propri atti motori, si discosta dalla teoria dell'imitazione basata su scopi di Bekkering. Secondo questo autore l'imitazione implica prima una decomposizione degli schemi motori nelle loro componenti costitutive e successivamente una ricostruzione dello schema d'azione da questi componenti. Inoltre questa teoria pone l'accento sulle risorse cognitive che il soggetto ha a disposizione per elaborare il carico di informazioni a cui è sottoposto. Bekkering e colleghi (2000) fecero un esperimento per confermare la loro teoria



sull'imitazione. In questo studio, fatto su bambini di età prescolare, veniva chiesto di imitare lo sperimentatore. Vi erano 3 situazioni. Nella prima, i movimenti riguardavano il toccare l'orecchio (obiettivo) con la mano ipsilaterale, controlaterale o entrambe. Nel complesso, i partecipanti hanno prodotto errori nel 24,5% delle prove, la maggior parte dei quali si è verificata in risposta a movimenti controlaterali. Nel 40,0% delle prove controlaterali, i bambini hanno prodotto movimenti ipsilaterali, un cosiddetto errore contro-ipsi (errore CI). Al contrario, i movimenti ipsilaterali sono stati imitati correttamente. Pertanto, la maggior parte degli errori era dovuta alla scelta della mano sbagliata durante le prove controlaterali.

Seconda condizione: viene esaminata l'ipotesi che gli errori controlaterali unimanuali osservati nella prima condizione fossero dovuti a una competizione di codifica di obiettivi da parte di una delle due orecchie e una delle due mani. Pertanto, è stato deciso di riutilizzare il movimento mano-orecchio, ma riducendo al minimo il set di azioni. Quindi, i partecipanti hanno visto solo movimenti unimanuali della mano su un solo orecchio. Nel complesso, i partecipanti hanno prodotto errori sull'1,9% delle prove, solo due partecipanti hanno commesso un errore ciascuno, entrambi errori CI. Questi risultati confermano che gli errori controlaterali nell'imitazione manuale sembrano essere una conseguenza dell'organizzazione gerarchica degli obiettivi che guidano l'imitazione.

Nella prima condizione i bambini si spostavano quasi sempre verso l'orecchio corretto, o più in generale l'oggetto fisico su cui era diretto il gesto, ma spesso usavano la mano sbagliata, in particolare nei gesti controlaterali unimanuali. Al contrario, nella seconda condizione, in cui tutti i movimenti erano diretti allo stesso orecchio, i bambini usavano praticamente sempre la mano corretta, anche per i gesti controlaterali. Pertanto il modello di errore osservato nella prima condizione deriva dalla complessità dell'obiettivo, che dunque costituisce un vincolo cognitivo.

È stata creata la terza condizione in cui ai partecipanti venne richiesto di eseguire 4 movimenti unimanuali della mano omolaterale e controlaterale su dei punti posti sul tavolo. In metà dei partecipanti, il modello eseguiva i movimenti della mano su uno di due punti presenti su un tavolo

(condizione del punto), mentre per l'altra metà dei partecipanti i movimenti erano diretti verso gli stessi punti virtuali (condizione senza punto). L'uso dei punti piuttosto che delle orecchie come oggetti ha consentito la manipolazione della presenza o dell'assenza degli oggetti e quindi la disponibilità degli oggetti come possibile obiettivo dell'atto imitativo.

I bambini nella condizione del punto di questo esperimento hanno raggiunto la posizione corretta nello spazio. I partecipanti alla condizione del punto hanno prodotto un totale di errori del 22,9%. Errori CI si sono verificati nel 24,0% degli studi controlaterali, mentre errori IC si sono verificati solo nel 9,4% degli studi omolaterali. I bambini nella condizione senza punto, al contrario, hanno mostrato un modello di risultati completamente diverso. Hanno commesso errori solo nel 9,9% di tutte le prove. Questi bambini hanno commesso l'1,0% di errori CI e il 7,3% di errori IC.

Riassumendo, i risultati della terza condizione sono coerenti con l'ipotesi che gli obiettivi sono organizzati gerarchicamente nel processo di ricostruzione di un atto imitativo. L'imitazione da parte dei bambini di quattro movimenti unimanuali diretti ai punti reali su un tavolo ha infatti rivelato lo stesso schema di errore controlaterale riscontrato nella prima condizione.

## **1.4 Il ruolo dei neuroni specchio nell'imitazione**

I neuroni specchio sono stati scoperti nella corteccia premotoria del macaco, nell'area F5. Gli esperimenti neurofisiologici dimostrano che quando gli individui osservano un'azione svolta da un altro individuo, parte della loro corteccia premotoria diventa attiva, anche in assenza di una qualche attività motoria evidente, quindi i neuroni specchio si attivano sia quando la scimmia esegue un atto motorio finalizzato, sia quando osserva un altro individuo eseguire atti motori analoghi (di Pellegrino e al. 1992, Gallese e al., 1996; Rizzolatti e al. 1996). Ma affinché il Neurone Specchio si attivi è necessaria l'effettiva interazione della mano con un oggetto bersaglio dell'azione (Rizzolatti, Craighero 2004).

Sono state fornite delle prove dirette che il sistema motorio dell'uomo ha proprietà speculari grazie a degli studi di stimolazione magnetica transcranica (TMS). La prima dimostrazione della presenza dei neuroni specchio nell'uomo in cui venne usata la TMS è contenuta in uno studio in cui i partecipanti venivano istruiti ad osservare atti motori eseguiti da uno sperimentatore (Fadiga et al., 1995). Durante l'osservazione, veniva somministrato uno stimolo magnetico in corrispondenza dell'area di rappresentazione dei movimenti della mano nell'area motoria primaria. L'esperimento ha dimostrato che la risposta elettromiografica registrata da alcuni muscoli della mano era molto più ampia quando il soggetto osservava gli atti di afferramento rispetto a quando era a riposo o quando osservava semplicemente degli oggetti. Si dimostrava così che l'osservazione di un atto motorio eseguito dalla mano di un altro individuo attiva le regioni motorie dell'osservatore, aumentandone la responsività allo stimolo magnetico.

Per quanto i neuroni specchio non siano cruciali per l'esecuzione di atti motori, diversi studi hanno confermato l'ipotesi secondo cui essi giocano un ruolo fondamentale nella capacità di imitazione. Bisogna innanzitutto distinguere il concetto di emulazione da quello di imitazione. Il primo fa riferimento a ciò che fanno le scimmie quando devono compiere un'azione, cioè la capacità di raggiungere uno scopo indipendentemente dal mezzo con cui lo fanno; l'imitazione, d'altro canto, fa riferimento anche al mezzo e al modo con cui un'azione viene eseguita. L'imitazione è presente nell'uomo e non nelle scimmie, le quali non sono in grado di copiare il movimento osservato eseguito da un dimostratore.

È bene sottolineare che i meccanismi di imitazione includono due aspetti: da una parte la comprensione dello scopo e dall'altra la comprensione dei movimenti mediante i quali questo scopo viene raggiunto. In particolare, questo studio, realizzato utilizzando la RMNf, consiste nella presentazione di videoclip che mostravano un agente reale che eseguiva degli accordi su una chitarra. Quindi i partecipanti dovevano osservare sequenze di accordi eseguiti da un chitarrista esperto e poi riprodurli. Vi era una fase di osservazione degli accordi seguita da una fase di pausa; successivamente

vi era la fase di imitazione. I risultati hanno mostrato che durante la fase di osservazione si attivava il circuito specchio parieto-frontale, cioè la corteccia premotoria ventrale e il lobulo parietale inferiore bilateralmente. Durante la fase di pausa si osservava, oltre all'attivazione del circuito specchio, anche un'attivazione della corteccia prefrontale (area 46 di Brodmann). Infine nella fase di imitazione si aveva un'attivazione maggiore del circuito specchio e in più si registrava l'attivazione della corteccia somatosensoriale e motoria, legata ovviamente all'esecuzione e alle sue conseguenze sensoriali (Buccino, 2004). Questo studio dimostra sia come il circuito specchio sia pienamente coinvolto nella funzione imitativa anche quando si tratta di riprodurre qualcosa di nuovo, sia il coinvolgimento di altre aree, evidenziando la complessità del processo imitativo.

Il coinvolgimento dei neuroni specchio nel processo imitativo è stato dimostrato anche negli uccelli. I neuroni specchio sono presenti in molti uccelli canori, e nel nucleo HVC si ritiene che essi siano coinvolti nell'apprendimento di canti per imitazione. Tali neuroni si attivano durante l'ascolto e durante il canto, in modo specifico per la propria tipologia di canto. In accordo con questo dato, la lesione dell'area HVC danneggia la capacità dell'uccello di riconoscere il canto dei conspecifici, dimostrando così un filo diretto tra questi neuroni e l'apprendimento per imitazione.

## Capitolo 2

### 2.1 Sistema motorio

Il sistema motorio è la parte del sistema nervoso che permette l'organizzazione e l'esecuzione dei movimenti. Già nel 1870 Fritsch e Hitzig scoprirono che, nella evocazione di movimenti del corpo del cane a seguito di stimolazioni elettriche, il movimento avveniva nella parte controlaterale alla stimolazione. Successivamente, attraverso tecniche di stimolazione elettrica si è definita una mappa motoria dettagliata. Nello specifico Clinton Woolsey e Wilder Penfield hanno dimostrato l'esistenza di mappe motorie con un'organizzazione topografica simile in molte specie motorie. Essi proposero un'organizzazione della corteccia motoria nella scimmia (Woolsey, 1952) e nell'uomo (Penfield, 1951) comprendente un'area motoria primaria e un'area motoria supplementare. Entrambe le aree presentavano un'organizzazione, una mappa somatotopica. È importante sottolineare che nella mappa la reale grandezza della rappresentazione a livello della corteccia non è basata sulle dimensioni reali delle diverse parti corporee, ma la rappresentazione avviene sulla base del grado di finezza del controllo motorio, creando così il cosiddetto *homunculus* motorio. Per cui, ad esempio, i settori corrispondenti alla faccia, e nello specifico la bocca, o alla mano, erano più ampi rispetto alla gamba (Kandel, 2014).

La corteccia motoria, al contrario di quanto si pensasse inizialmente, non ha una semplice suddivisione tra area motoria primaria e area motoria supplementare.

Utilizzando la parcellazione eseguita da Matelli e coll. (1991), la corteccia motoria primaria o area 4 di Brodmann corrisponde all'area F1; la corteccia premotoria o area 6 di Brodmann corrisponde alle aree F2, F3, F4, F5, F6, F7. Nel dettaglio: le aree F3 e F6 costituiscono l'area premotoria mesiale; le aree F2 e F7 costituiscono l'area premotoria dorsale; le aree F4 e F5 costituiscono l'area premotoria ventrale. Quindi abbiamo un insieme di regioni diverse interconnesse tra di loro (Di Giulio, 2008).

## 2.1.1 Sviluppo pre e post-natale del sistema motorio

Lo sviluppo del sistema motorio inizia molto presto nel periodo di gestazione, vediamo alcune fasi:

- A iniziare dalla settima settimana di sviluppo embrionale i maggiori sistemi muscolari si stanno sviluppando e comincia la prima attività motoria (degli arti).
- Dall'ottava settimana in poi si parla di feto: da un punto di vista anatomico-funzionale, il midollo e il tronco dell'encefalo sono delineati.
- Dalla quattordicesima settimana, il feto si muove nel sacco gestazionale: estende gli arti, porta le mani sul corpo e verso il capo, ha i cosiddetti *riflessi di startle*.
- Dalla sedicesima settimana: a livello motorio sono presenti movimenti coordinati, ossia azioni coinvolgenti diversi effettori, apparentemente diretti ad uno scopo.

A livello di comportamento pre- e peri-natale, ciò che si osserva è che il neonato mostra un'ampia gamma di comportamenti, per lo più di tipo riflesso, che dimostrano un elevato grado di complessità, come per esempio:

- La marcia automatica: se si poggia la porzione palmare dei piedi di un neonato su una superficie dura e lo si sbilancia leggermente in avanti, questo inizierà a mettere in atto dei movimenti di marcia. Questo pattern di comportamento è presente alla nascita, e scompare dopo i primi 2/3 mesi per poi ricomparire sotto il controllo corticale quando diventa un elemento strumentale all'automatizzazione del cammino.
- Il raddrizzamento globale in posizione verticale e rotazione: inizialmente dipende da riflessi tattili ed è presente anche in utero, scompare tra i 4 e i 7 mesi, per poi ricomparire quando il bambino è in grado di controllarlo in maniera autonoma e volontaria.
- I movimenti delle dita sono visibili molto precocemente, a partire dalla 12<sup>a</sup>-14<sup>a</sup> settimana gestazionale, ma fino ad almeno la 30<sup>a</sup>-32<sup>a</sup> settimana questa attività dipende completamente da sistemi sottocorticali, perché fino a questo periodo il tratto cortico-

discendente non è ancora completamente formato. Esso si conclude intorno alla 32<sup>a</sup> settimana, ma si mielinizzerà completamente intorno ai 3 anni.

### **2.1.2 Circuiti parieto-frontali**

La corteccia motoria riceve afferenze da due principali regioni corticali: il lobo prefrontale e il lobo parietale. Per quanto riguarda il lobo prefrontale, come vedremo più avanti, è deputato alla pianificazione delle azioni, alla *working memory*, e riveste un cruciale coinvolgimento nel riconoscimento delle intenzioni (Rizzolatti, 2006). Per quanto riguarda la corteccia parietale posteriore sappiamo che, nei primati, è divisa dal solco intraparietale (IP), in due parti: il lobulo parietale superiore (SPL) e il lobulo parietale inferiore (IPL); le connessioni delle aree facenti parte di queste due lobuli con le aree motorie rivestono un ruolo importante, insieme al lobo prefrontale, nelle trasformazioni sensorimotorie. Per questo si parla di circuiti parieto-frontali (Di Giulio, 2008) coinvolti nell'organizzazione delle azioni effettuate con differenti effettori.

Come esemplificazioni si possono brevemente descrivere due circuiti: VIP-F4 e AIP-F5.

VIP-F4: l'area F4 e l'area ventrale intraparietale (VIP) contengono neuroni visivi e bimodali, cioè neuroni che rispondono sia a stimoli visivi che tattili. Esistono, in F4, anche neuroni trimodali che rispondono anche a stimoli acustici (Kandel, 2014). Questo circuito controlla movimenti di raggiungimento e afferramento effettuati da braccio, tronco e faccia nello spazio peripersonale, quindi effettua una trasformazione dello stimolo visivo presentato all'interno di tale spazio, passando da un codice in coordinate retiniche (ancora presente nell'area VIP) ad uno scritto in coordinate somatocentriche (tipico di F4).

AIP-F5: questo circuito è deputato alle trasformazioni visuomotorie per l'afferramento di oggetti. In questo circuito l'area AIP fornisce le informazioni sulle caratteristiche fisiche dell'oggetto a F5, in modo che i neuroni visuomotori di quest'ultima area possano attivarsi e determinare la scelta del tipo di presa congruente con tali caratteristiche. Per indagare le funzioni visuomotorie dei neuroni di F5 è

stato elaborato un paradigma da Murata e colleghi (1997), in cui una scimmia aveva di fronte a se oggetti geometrici differenti, come un cubo, un anello o una sfera. Vi erano tre situazioni sperimentali: afferrare l'oggetto presentato frontalmente una condizione di piena visione, afferrarlo al buio o fissarlo solamente. La scimmia riceveva un suggerimento (un punto luminoso che cambiava colore) che le indicava l'azione da dover svolgere. La prova successiva veniva svolta al buio, quindi la scimmia doveva afferrare l'oggetto senza vederlo effettivamente ma solo sulla base delle caratteristiche prima memorizzate. Nella terza condizione, analoga alla prima, la scimmia doveva solo osservare soggetto, quindi non doveva compiere nessun movimento. I risultati mostrano che tra i neuroni registrati, circa la metà scaricano durante l'atto di afferramento dell'oggetto mentre l'altra metà rispondono in tutte e tre le condizioni, questi erano i neuroni visomotori.

## **2.2 Funzioni esecutive**

Il termine funzioni esecutive (FE) nasce nell'ambito della neuropsicologia e della psicologia cognitiva per indicare un complesso sistema di processi cognitivi relativi al controllo e alla pianificazione del comportamento dell'individuo per il raggiungimento di un obiettivo.

Le funzioni esecutive possono essere intese come un insieme di processi che consentono il controllo volontario dell'azione come ad es. pianificazione, inibizione della risposta, flessibilità nell'attenzione, automonitoraggio, memoria di lavoro; tutti questi domini cognitivi risultano interconnessi tra di loro (Costanzi, 2002; Hughes, 2002).

- Pianificazione: una capacità che consente di prefigurare una sequenza di azioni necessarie per portare a termine un compito e raggiungere una meta (Shallice, 1982; Owen, et al. 1990; Unterrainer, et al. 2005). La pianificazione ha un ruolo fondamentale in quanto permette di programmare e organizzare il comportamento, di adattarsi e di risolvere compiti complessi in situazioni mutevoli.



- Inibizione: secondo il modello di Barkeley (1997), l'inibizione è composta dalla capacità di *inibire una risposta dominante* in favore di una congruente con le esigenze e le richieste del compito; si passa dall'*inibizione della risposta in corso* (perché non più appropriata al compito) al *controllo dell'interferenza*, cioè, la capacità di resistere alla distrazione isolando la risposta adeguata dal contesto distraente.
- Attenzione: L'attenzione viene oggi suddivisa in 4 sottocomponenti distinte ma interagenti tra loro: l'*arousal*, l'attenzione sostenuta, l'attenzione selettiva e l'attenzione divisa. L'*arousal* consiste nel livello di preparazione fisiologica dell'individuo a ricevere stimolazioni ambientali (Mecacci, 2001); l'attenzione sostenuta è la capacità di mantenere un'attenzione protratta nel tempo (Pibram e McGuinness, 1975); l'attenzione selettiva si riferisce alla capacità di mantenere l'attenzione su uno stimolo in presenza di distrattori; l'attenzione divisa si riferisce all'elaborazione contemporanea di informazioni provenienti da più fonti stimolanti.
- Automonitoraggio: fa riferimento all'abilità nel modificare il proprio comportamento sulla base dei feedback interni ed esterni, con eventuale implementazioni di strategie alternative o di tipo compensativo.
- Memoria di lavoro: La memoria di lavoro fornisce la capacità di ritenere e manipolare informazioni appena presentate per un periodo di tempo limitato (Ladavas, Berti, 2014). Il modello più rappresentativo è quello di Baddeley (2000), dove la memoria di lavoro è costituita da un sistema attenzionale in cui l'esecutivo centrale supervisiona il loop fonologico, il taccuino visuospatiale e il buffer episodico. Il loop fonologico mantiene per breve tempo le informazioni uditive e verbali, il taccuino visuospatiale è impegnato nella rappresentazione dello spazio, il buffer episodico gestisce e coordina la memorizzazione e l'integrazione delle informazioni che provengono dai due sotto-sistemi con quelle della memoria a lungo termine (MLT).

Per molto tempo lo studio delle FE si era focalizzato sulla popolazione adulta, poiché si credeva che la corteccia frontale maturasse verso l'adolescenza e che danni frontali in età evolutiva mostrassero le loro conseguenze solo in età adulta. Ma oggi sappiamo che le funzioni esecutive si sviluppano durante tutto l'arco di vita.

Le FE si differenziano in "cool" e "hot". Le FE "cool" fanno riferimento ad un'elaborazione cognitiva basata su compiti decontestualizzati, astratti e privi di significati affettivi, è un'elaborazione più lenta e controllata; sono un esempio la memoria di lavoro, l'inibizione e la pianificazione (Zelazo e Carlson, 2012 ; Tsermentseli e Polonia , 2016). Le FE "hot" fanno riferimento ad una elaborazione automatica e sono coinvolte nelle emozioni, desideri e credenze associate ad una ricompensa, un esempio è la capacità di posticipare la gratificazione (Zelazo et al., 2004; Leshem, 2016).

Le FE "hot" sono generalmente associati alla PFC ventromediale (VMPFC) e alla corteccia orbitofrontale caudale (OFC), aree strettamente connesse a strutture limbiche (p. es., amigdala, ipotalamo); queste aree forniscono input discendenti alle strutture del mesencefalo (Barbas, 2000) e sono coinvolti nell'inibizione, nell'emozione e nell'elaborazione della ricompensa, suggerendo un ruolo di autoregolazione comportamentale.

Le FE "cool" sono associate alle alla PFC dorsolaterale (DLPFC) e sono coinvolte nel controllo attentivo, nella pianificazione, nella memoria di lavoro, spaziale e nel ragionamento concettuale (Stuss e Levine , 2002 ; Fellows , 2004 ; Banfield et al. , 2004; Toplak et al. , 2005 ; Crews e Boettiger, 2009).

È nel periodo scolastico che alcune abilità delle FE raggiungono la maturità e il livello di performance e risultano essere sovrapponibili a quelle degli adulti. È l'età della scuola dell'infanzia, in cui si affina l'attenzione, inizia a formarsi la flessibilità cognitiva ed emergono la capacità di pianificazione, il riconoscimento dell'errore e la capacità di porsi un preciso obiettivo.

I ricercatori, studiando lo sviluppo del dominio delle FE *cool*, evidenziano il raggiungimento di livelli adulti nella flessibilità cognitiva tra gli 8 e 10 anni (Luciana & Nelson, 2002); allo stesso tempo hanno

evidenziato un miglioramento nel controllo inibitorio, nella vigilanza e nell'attenzione sostenuta tra gli 8 e gli 11 anni.

### **2.2.1 Corteccia prefrontale**

La corteccia prefrontale è suddivisibile in almeno due aree connesse tra di loro: la regione prefrontale laterale e la regione prefrontale orbitale e mediale. La regione prefrontale orbitale e mediale ha origini filogeneticamente antiche ed è deputata principalmente all'elaborazione di risposte emotive. La regione prefrontale laterale è invece coinvolta nella programmazione e nel controllo motorio, è connessa infatti alle aree premotorie, con la parte dorsale del cingolo anteriore, con i gangli della base, e il cervelletto. Grazie alle numerose connessioni delle regioni prefrontali risulta possibile controllare diverse abilità cognitive come le funzioni esecutive.

La regione prefrontale orbitale riceve invece afferenze dal circuito limbico ed è coinvolta nei processi mnemonici ed emotivi, in particolare risulta cruciale per il processo di gratificazione e nell'elaborazione dei segnali di rinforzo (Ladavas, 2014).

Lo studio di pazienti con lesioni frontali ha evidenziato l'importanza dei lobi frontali e in particolare della corteccia prefrontale nelle FE (Stuss e Benson, 1984; Welsh e Pennington 1988; Owen, 1997; Fletcher e Henson, 2001; Elliot, 2003; Alvarez e Emory 2006). Esistono molte ragioni per l'attribuzione di tale ruolo. Innanzitutto, la corteccia prefrontale risulta essere la regione del cervello più estesa nell'uomo rispetto alle altre aree corticali, occupando oltre un terzo dell'intera corteccia cerebrale (Smith e Jonides 1999). È inoltre una delle strutture cerebrali filogeneticamente più recenti e si sviluppa molto lentamente nel corso della crescita (Fanello, Vio e Cianchetti, 2006; Ladavas e Berti, 2014). I tentativi di descrivere le conseguenze di lesioni frontali risalgono al diciannovesimo secolo e si sono focalizzati sul piano comportamentale evidenziando alterazioni a livello di funzioni o capacità o sul versante produttivo (disinibizione, stato euforico ed impulsività). Le lesioni prefrontali dorsolaterali sono causa di una gamma di deficit tra cui deficit attentivi, della capacità di

giudizio e critica, della flessibilità cognitiva, dell'organizzazione e pianificazione, della memoria di lavoro, ecc.

I pazienti con lesioni della regione prefrontale laterale possono, in qualche caso, riportare un evento realmente accaduto in un contesto slegato dall'evento. Questo sarebbe dovuto al fatto che la corteccia prefrontale laterale è necessaria per monitorare e distinguere le memorie vere da altri contenuti mentali (Gilboa e Moscovitch, 2002). Questi pazienti, infine, presentano tipicamente delle elevatissime difficoltà di pianificazione come è stato dimostrato da Shallice (1982) con la Torre di Londra, test utilizzato nel presente progetto.

Il sistema prefrontale orbitale e mediale sarebbe, invece, coinvolto nella motivazione, nella valutazione di ricompense e punizioni e negli aspetti riguardanti le emozioni e i processi decisionali. Ladavas e Berti (2014) hanno evidenziato che i pazienti con lesioni orbitofrontali sono incapaci di prendere decisioni "economiche", cioè decisioni in cui bisogna costruirsi una rappresentazione delle diverse alternative di scelta per poi scegliere l'opzione più vantaggiosa.

Le aree prefrontali sono connesse con i sistemi motori corticali e sottocorticali, con i sistemi sensoriali e con le strutture limbiche e mesencefaliche coinvolte nei meccanismi di ricompensa, nelle emozioni e nella memoria (Ladavas e Berti, 2014). Per questo motivo la corteccia prefrontale sembra svolgere un ruolo principale nel controllo esecutivo flessibile e adattivo e, di conseguenza, una lesione in quest'area spiega il comportamento disorganizzato e impulsivo nei soggetti coinvolti, caratterizzato dall'incapacità di cambiare strategie di azioni o di pensiero per fronteggiare situazioni nuove (Lezak, 1983).

Secondo Milner e Petrides (1984) la corteccia prefrontale laterale è responsabile dei processi cognitivi di ordine superiore come la flessibilità cognitiva, la capacità di ricordare la successione temporale di eventi recenti, la pianificazione, la capacità di regolare il comportamento in relazione agli stimoli esterni e di imparare dall'esperienza. La corteccia prefrontale laterale è implicata nella pianificazione

di azioni sequenziali e nei processi di elaborazione di strategie orientate al raggiungimento di scopi (Pennington e Ozonoff, 1996).

### **2.2.2 In che modo la corteccia prefrontale è collegata alla corteccia motoria?**

La corteccia prefrontale laterale, oltre al coinvolgimento nel ruolo delle FE, risulta attivarsi anche durante l'esecuzione di movimenti. Facendo riferimento agli studi più recenti, ricordiamo il lavoro di Yamagata et al. (2012), dove sono stati registrati neuroni nella LPF dorsale (DLPF) e ventrale (VLPF), in cui le scimmie eseguivano dei movimenti sulla base di regole apprese. Ciò che emerge è che vi sono neuroni in DLPF che mostravano una grande selettività per l'obiettivo comportamentale, cioè vi era un'attivazione anche durante l'esecuzione del movimento.

Questo esperimento ha mostrato un collegamento tra aree premotorie e prefrontali in cui, sebbene la corteccia premotoria abbia un ruolo prevalentemente motorio e la corteccia prefrontale un ruolo più astratto, questi ruoli sono parzialmente condivisi dalle due regioni.

Un altro recente studio di Simone et al. (2015) evidenzia il coinvolgimento della LPF nel controllo delle funzioni sensomotorie. Il paradigma sperimentale prevedeva un compito go/no-go in cui la scimmia aveva il compito di afferrare tre oggetti di differente grandezza e forma in diverse condizioni; nella condizione no-go la scimmia aveva solo il compito di fissare l'oggetto, nella condizione go doveva afferrare l'oggetto dopo un segnale. La condizione go è stata eseguita anche al buio.

I risultati mostrano che, anche in questo caso, ci sono neuroni nella VLPF che scaricano durante l'esecuzione di azioni di raggiungimento-afferramento, anche quando l'azione è svolta al buio, quindi anche in assenza del controllo visivo dell'interazione mano-bocca.

Registrando da neuroni della VLPF Bruni e colleghi (2015) hanno elaborato un paradigma che richiedeva alle scimmie di eseguire due diverse sequenze di azioni, cioè afferrare per mangiare (un comportamento naturale) e afferrare per posizionare (un comportamento appreso).

I risultati hanno mostrato una percentuale di attivazione di neuroni maggiore per il movimento appreso rispetto al comportamento più naturale.

Attraverso questi studi è possibile ipotizzare che il coinvolgimento della VLPF nei compiti di afferramento è relativo al ruolo di mantenimento dell'obiettivo motorio finale e nel ricevere un feedback dai circuiti parieto-premotori.

### **2.3 Studi tra funzioni esecutive e abilità motorie**

Esistono studi a sostegno dell'idea che le aree implicate nei compiti che prevedono l'uso delle funzioni esecutive siano strettamente correlate ai percorsi motori. Entrambi i sistemi includono i gangli della base, che sono coinvolti nell'inibizione dei movimenti indesiderati (Thach et al., 2000).

All'interno dei gangli della base, il globus pallidus agisce con la substantia nigra per inibire i neuroni del talamo ventrale. Il globus pallidus tramite il talamo, proietta all'area motoria supplementare che è coinvolta in una serie di attività motorie, comprese le complesse funzioni motorie in preparazione al movimento. I gangli della base e il cervelletto svolgono ruoli importanti nella pianificazione, inizio ed esecuzione del movimento e si ritiene che l'azione inibitoria dei gangli della base integri l'azione eccitatoria del cervelletto (Bradshaw, 2001). Dato il forte legame tra le aree neurali che sono state identificate come attive nei compiti di interferenza, ci si può aspettare che le prestazioni su tali compiti siano correlate alle prestazioni motorie.

Risultano carenti in letteratura gli studi effettuati su bambini in età prescolare, per questo motivo riporto degli esperimenti con un campione di età diversa rispetto al mio lavoro di tesi.

Nonostante questa premessa, ricerche recenti hanno dimostrato che gli interventi volti a migliorare le capacità motorie migliorano aspetti specifici delle funzioni esecutive. Koutsandreou et al. (2016) hanno mostrato che un intervento motorio di 10 settimane ha migliorato la memoria di lavoro nei bambini di 9-10 anni. Anche Alesi et al. (2016) hanno riscontrato effetti positivi dell'attività motoria del calcio su aspetti specifici della memoria di lavoro, nello specifico l'intervento ha migliorato la memoria di lavoro visuospatiale.

Nonostante comunque la carenza di ricerche, riportate in letteratura, in età prescolare e scolare, in un recentissimo studio (Van der Fels, 2019) si è cercato di definire la relazione tra le FE e le abilità motorie nei bambini di 8-10 anni. Sono stati analizzati i dati di 732 bambini, utilizzando il Coordination test e il test Bruininks-Oseretsky per valutare le competenze motorie, e alcune sottoscale della Wechsler per le FE, nello specifico si indagava la memoria di lavoro e l'attenzione visuospatiale. I bambini sono stati testati riguardo alle loro capacità motorie e alle funzioni cognitive da esaminatori addestrati, usando protocolli standardizzati entro un periodo di due settimane. Le capacità motorie sono state valutate durante una o due lezioni di educazione fisica attraverso dei circuiti con test somministrati in ordine casuale. I compiti relativi alle funzioni esecutive sono stati valutati a scuola. Questo studio ha dimostrato che le capacità motorie grossolane erano significativamente correlate alla memoria di lavoro verbale, alla memoria di lavoro visuospatiale e all'inibizione della risposta.

Uno studio che esamina, in modo simile a quello riportato in questa tesi, le correlazioni tra funzioni esecutive e le abilità motorie, è stato fatto con un campione di 5 e 6 anni, dimostrando, anche in questo caso, che il funzionamento cognitivo (nello specifico la memoria di lavoro, la pianificazione e l'inibizione) correla con la pianificazione motoria (Stockel e Hughes, 2015).

L'evidenza neuropsicologica, come già citato nel paragrafo 2.5 e 2.6, ha evidenziato il ruolo della corteccia frontale nella pianificazione e nell'esecuzione del comportamento (Kolb e Wishaw, 2009). I pazienti con lesione del lobo frontale presentano una serie di disturbi motori e cognitivi. Nel dominio motorio, la lesione del lobo frontale potrebbe portare a deficit nelle funzioni motorie grossolane (ad esempio, postura e andatura alterate) e / o controllo motorio fine (ad esempio, allungamento e afferramento compromessi). Nel dominio cognitivo alcune delle funzioni più comunemente interrotte includono: iniziazione, pianificazione, azione intenzionale, automonitoraggio, autoregolamentazione e volontà (Stuss, 2011).

## **Capitolo 3**

### **3.1 Obiettivo**

Inizialmente, l'obiettivo di questa ricerca consisteva nel verificare gli effetti di laboratori extrascolastici in bambini di età prescolare. Si voleva evidenziare il collegamento tra neuroscienze e pedagogia e per farlo si è pensato di utilizzare un'attività che prevedeva l'uso di oggetti, quali ad esempio il materiale per le costruzioni. Si voleva verificare come l'uso di questi oggetti potesse favorire un vantaggio nello sviluppo dei bambini in diversi domini cognitivi. A causa dell'emergenza per il Covid-19 questo progetto è rimasto incompleto, per cui non è possibile effettuare una comparazione tra pre e post-test.

Tuttavia abbiamo deciso di utilizzare i dati raccolti nella fase pre-test per evidenziare le correlazioni che esistono nei diversi domini cognitivi e per verificare le eventuali differenze in relazione all'età. Nel mio lavoro di tesi mi sono concentrata sulle capacità motorie e di imitazione e sulle funzioni esecutive.

### **3.2 Partecipanti**

Lo studio completo coinvolgeva 160 bambini, di età compresa tra i 2 e i 5 anni, suddivisi equamente per le varie fasce d'età e in gruppo sperimentale e gruppo di controllo. Sono stati scelti, in modo casuale, 16 bambini da 10 scuole di Parma e provincia, facenti parte del gruppo di scuole coordinate dalla Federazione Italiana Scuole Materne (FISM).

L'analisi da me svolta si è focalizzata su 88 bambini di età compresa tra 4 e 5 anni.

### **3.3 Materiali e metodi**

Nella fase iniziale del progetto sono stati somministrati ai bambini dei test, descritti di seguito, per poter effettuare una valutazione dei diversi domini cognitivi.



## TOL

La Torre di Londra è un test ideato da Shallice e McCarthy nel 1982. La TOL valuta le funzioni esecutive, nello specifico misura le capacità di mettere in atto processi di decisione strategica e di pianificare soluzioni efficaci rivolte alla risoluzione di problemi.

Il test è costituito da 6 palline forate di tre diversi colori e tre aste di diversa altezza in cui infilare le palline; il bambino, dopo aver osservato il modello dovrà riprodurre la medesima composizione seguendo delle regole. Lo sperimentatore dovrà contare il numero delle mosse e i diversi tempi di decisione ed esecuzione. Il tempo di decisione permette di misurare il tempo di pianificazione iniziale della strategia da adottare per la riproduzione della stessa configurazione osservata. Questo tempo si calcola dalla presentazione del problema al momento del tocco della prima pallina. Il tempo di esecuzione permette di misurare il tempo di pianificazione successiva, calcolata tra il tocco della prima pallina e il completamento della sequenza di singole mosse necessarie per portare il problema alla soluzione.



*Immagine 1: Esempio item della TOL*

Per quanto riguarda le regole che il bambino deve rispettare per lo spostamento delle palline: può muovere una sola pallina alla volta, la pallina deve muoversi da un'asta all'altra e non può toccare il piano, nell'asta piccola può essere inserita una sola pallina, 2 nell'asta media e 3 in quella più alta.

Il test della Torre di Londra risulta molto efficace nella valutazione di deficit di pianificazione, attenzione sostenuta e decisione strategica. Questo è stato dimostrato da molti studi che, anche utilizzando la PET, hanno evidenziato l'attivazione della corteccia prefrontale, l'area deputata ai

questi compiti e alle funzioni esecutive (Shallice, 1982).

## NEPSY II

La NEPSY-II fornisce una valutazione neuropsicologica delle abilità cognitive di soggetti dai 3 ai 16 anni di età, in relazione a specifici domini cognitivi. La batteria è composta da 33 test che fanno riferimento a 6 differenti domini cognitivi: Attenzione e Funzioni esecutive, Linguaggio, Memoria e Apprendimento, Funzioni sensorimotorie, Percezione sociale, Elaborazione visuospatiale.

Per il nostro progetto sperimentale abbiamo utilizzato solo il dominio dell'attenzione visiva e delle funzioni sensorimotorie.

Il primo test somministrato (immagine 1) riguarda l'attenzione visiva, valuta la velocità e l'accuratezza con cui il bambino è capace di focalizzare e di mantenere l'attenzione su stimoli target visivi che si trovano inseriti dentro una serie di altri stimoli. Il bambino, quindi, deve individuare gli stimoli target nel minor tempo possibile.

A1 - Attenzione visiva (Visual Attention - NEPSY-II)

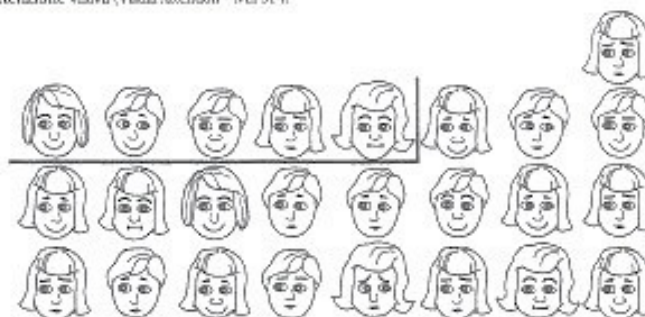


Immagine 1: esempio item attenzione visiva

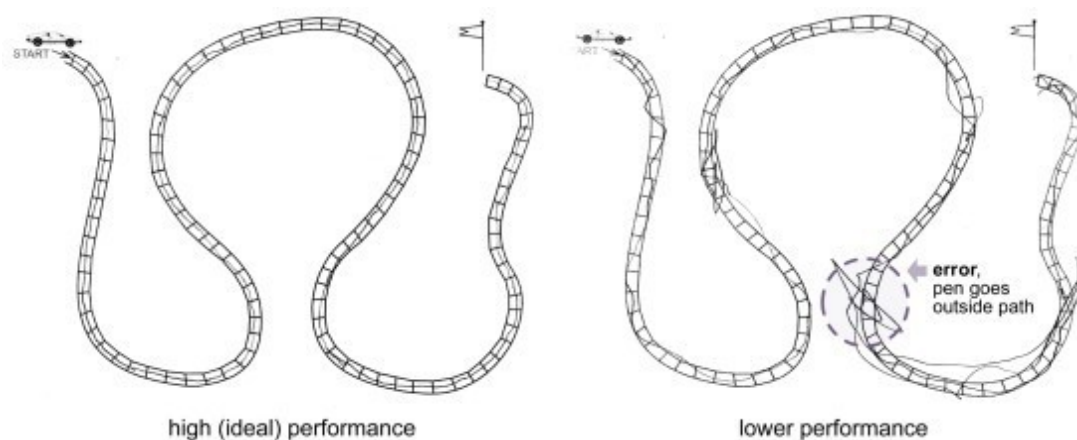
Il secondo, terzo e quarto test riguardano il dominio delle funzioni sensorimotorie.

Nello specifico il secondo (immagine 2) valuta la capacità di imitazione delle posture manuali, che implica l'analisi visuo-spaziale delle posture mostrate dall'esaminatore, una programmazione motoria e la considerazione dei feedback motori nella pianificazione. Qui misuriamo i punteggi per la mano dominante e per quella non dominante, nonché il punteggio totale dato dalla somma dei due punteggi precedenti.



*Immagine 2: item della scala di imitazione delle posture manuali*

Il terzo test (immagine 3) valuta la precisione visuomotoria, e si calcola la velocità e l'accuratezza grafomorfa. Il bambino deve tracciare tre percorsi di difficoltà graduale, all'interno di un tracciato. Vengono considerati gli errori (fuoriuscita del margine), le violazioni (sollevamento della mano), il tempo e l'impugnatura che può essere matura/intermedia/immaturo.



*Immagine 3: esempio del test di precisione visuomotoria*

Il quarto e ultimo test valuta l'abilità di imitare una serie di sequenze motorie ritmiche del movimento. In questo caso si attribuisce un punteggio per il numero di sequenze motorie corrette. Un esempio della sequenza gestuale: "Batti le mani e poi Pugno destro e Palmo sinistro". Ogni sequenza doveva essere ripetuta per 5 volte.

I test utilizzati nel progetto di questa tesi ricordano i test utilizzati nei pazienti aprassici, caratterizzati da un deficit della pianificazione, organizzazione, coordinazione e sincronizzazione e gestuale.

### 3.4 Risultati

L'analisi statistica è stata eseguita tramite RStudio e sono state verificate la normalità e l'omoschedasticità attraverso il test di Shapiro-Wilk e il test di Levene. Successivamente, attraverso i boxplot, è stata valutata la significatività delle diverse sottoscale in relazione alle differenti età.

Per quanto riguarda le correlazioni tra le varie sottoscale, invece, è stato utilizzato il Coefficiente di correlazione di Spearman, illustrando in seguito le correlazioni più alte attraverso dei plot.

#### Nepsy II

La Figura 1 mostra il tempo utilizzato dai soggetti per l'esecuzione del compito di attenzione visiva, in relazione all'età. Nell'asse delle ordinate è rappresentato il tempo, in secondi, utilizzato dai bambini per eseguire il compito di riconoscimento dei target, nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età. Si può notare una mediana molto più alta per i bambini di 5 anni, e questo potrebbe dipendere dalla difficoltà del compito, che risulta diverso tra i 4 e 5 anni.

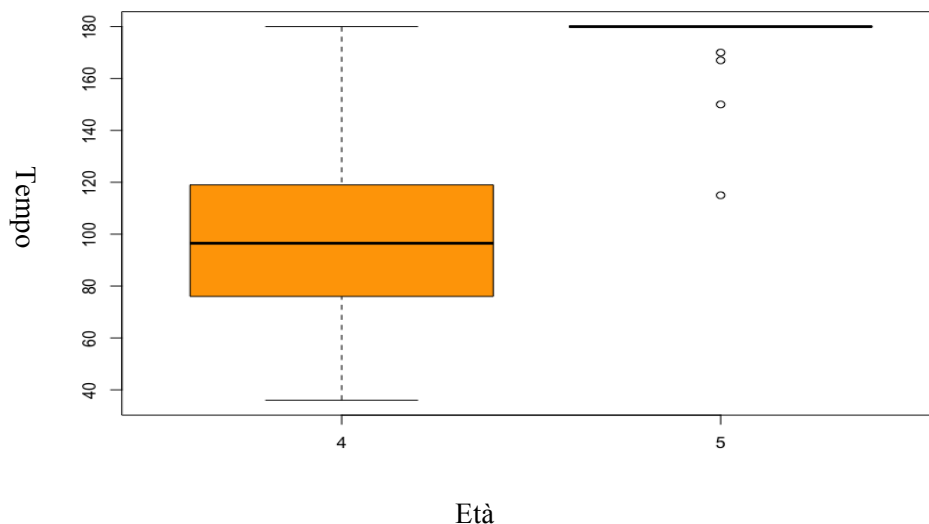


Fig. 1: Tempo utilizzato per individuare i target in relazione all'età.

La Figura 2 mostra l'accuratezza con cui è stato eseguito il compito di ricerca visiva, cioè indica il numero degli item selezionati dai bambini. Nell'asse delle ordinate è rappresentato il numero di target esatti riconosciuti dai bambini, nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età.

Anche in questo caso la prestazione migliore è per i bambini di 4 anni, probabilmente sempre a causa della maggiore difficoltà del compito per i bambini di 5 anni. Valutando la significatività si è ottenuto un p-value  $< 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

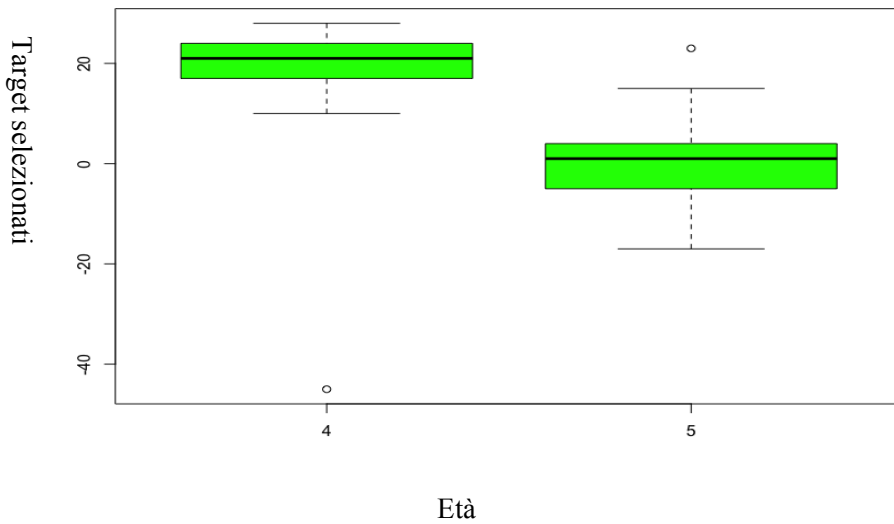
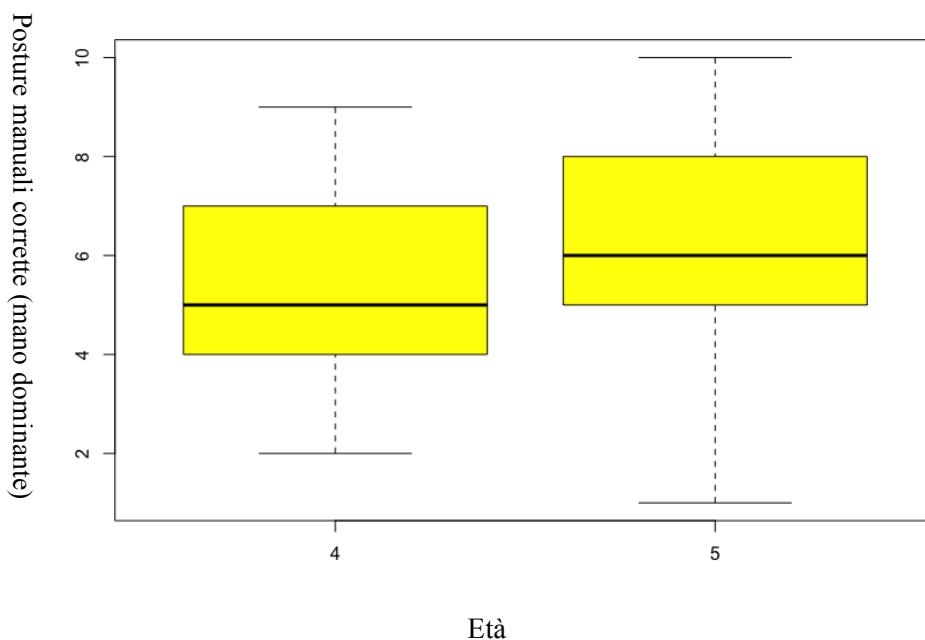


Fig. 2: Numero di target selezionati in relazione all'età.

La Figura 3 mostra il punteggio delle sequenze di imitazione manuale effettuate con la mano dominante, in relazione all'età. Nell'asse delle ordinate è rappresentato il punteggio delle posture manuali della mano dominante eseguite correttamente dai bambini (da 0 a 12), nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età.

La mediana è più alta nei bambini dei 5 anni, ciò significa che riescono ad imitare un numero di gesti superiore.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p = 0.008$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

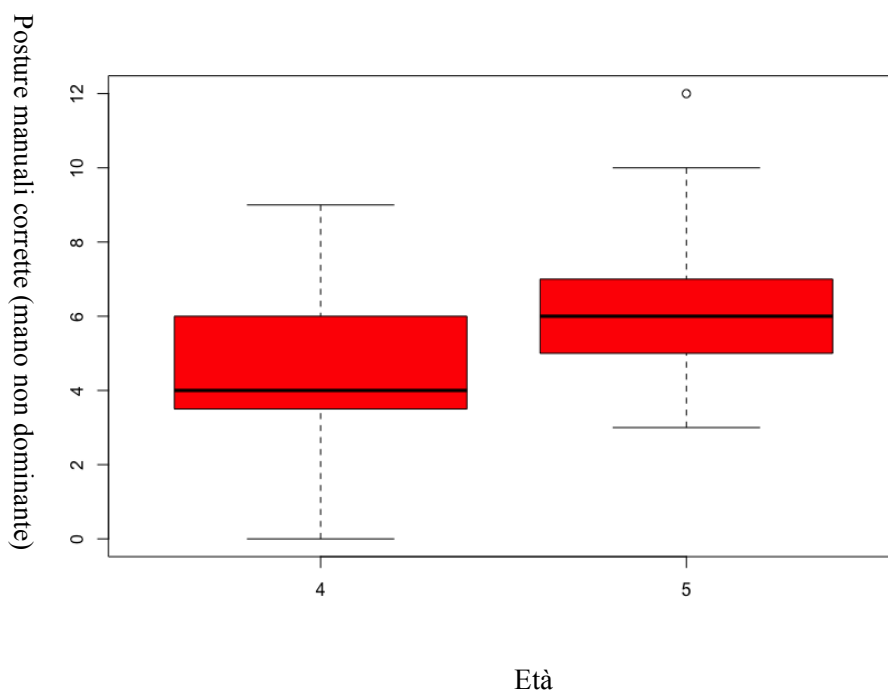


*Fig. 3: Punteggio delle posture manuali eseguite correttamente con la mano dominante in relazione all'età.*

La figura 4 mostra il punteggio delle sequenze di imitazione manuale effettuate con la mano non dominante, in relazione all'età.

Anche in questo caso la mediana è più alta nei bambini dei 5 anni, ciò significa che riescono ad imitare un numero di gesti superiore.

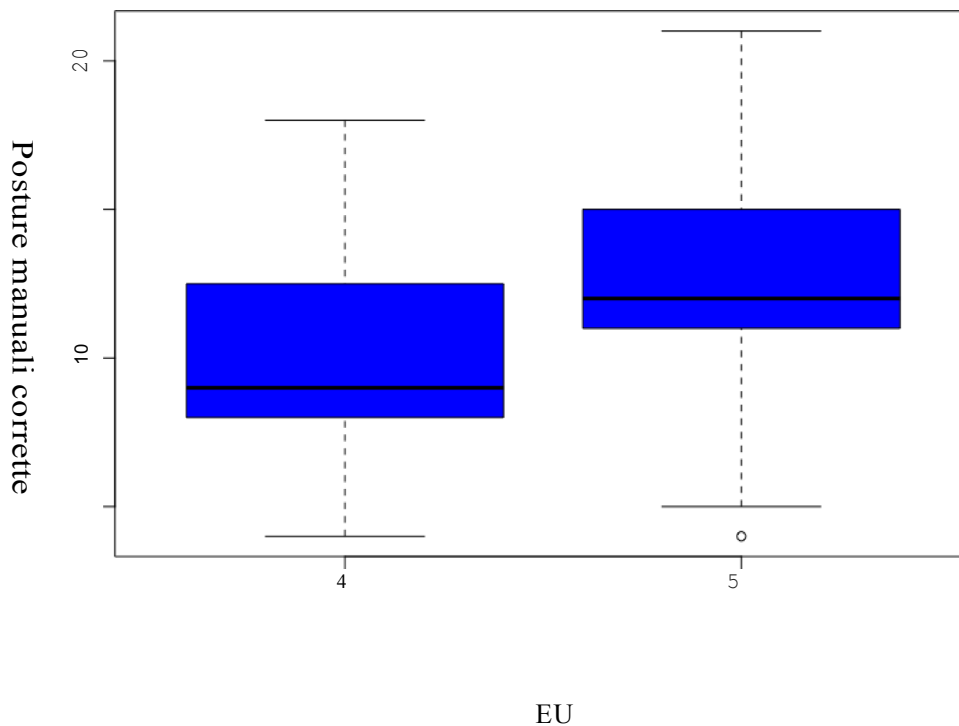
Valutando la significatività si è ottenuto un  $p < 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.



*Fig 4: Punteggio delle posture manuali eseguite correttamente con la mano non dominante in relazione all'età.*

La figura 5 mostra il punteggio totale dell'imitazione delle posture manuali effettuate con entrambe le mani, in relazione all'età. Nell'asse delle ordinate è rappresentata la somma del punteggio delle posture manuali di entrambe le mani eseguite correttamente dai bambini (da 0 a 24), nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età. La mediana è più alta nei bambini di 5 anni, ciò significa che riescono ad imitare un numero di posture superiore.

Valutando la significatività si è ottenuto un p-value  $< 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.



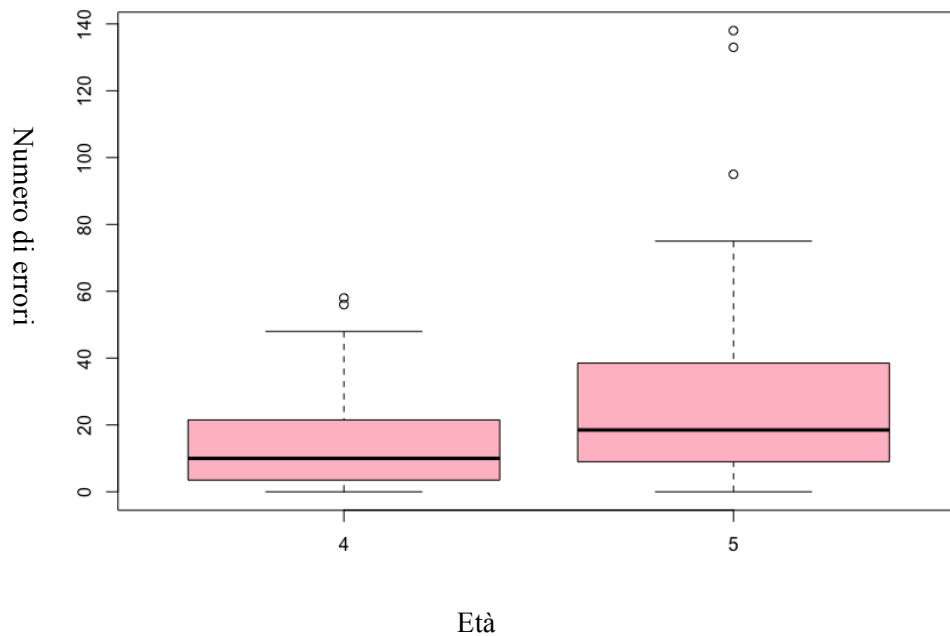
*Fig. 5: Punteggio delle posture manuali eseguite correttamente sia con la mano dominante che non, in relazione all'età.*



La figura 6 mostra il punteggio, in termini di errori, nel compito di precisione visuomotoria, in relazione all'età.

La mediana è leggermente più alta nei bambini di 5 anni, ciò significa che commettono un numero maggiore di errori.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p < 0,05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

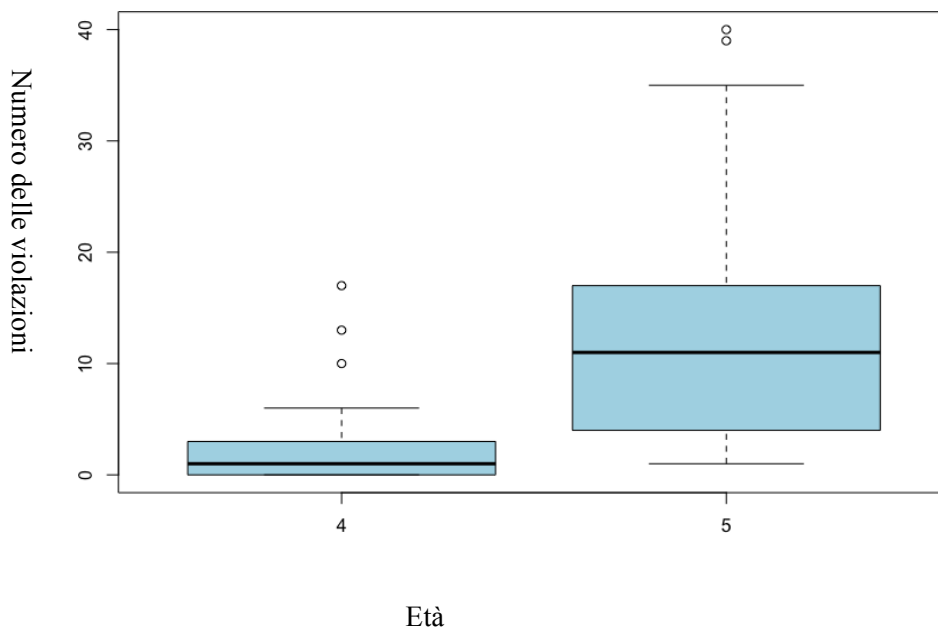


*Fig. 6: Numero di errori nel compito di precisione visuo-motoria in relazione all'età.*

La figura 7 mostra il punteggio delle violazioni nel compito di precisione visuomotoria, in relazione all'età.

La mediana è più alta nei bambini di 5 anni, ciò significa che commettono un numero di violazioni maggiore. Per violazioni intendiamo, per esempio, sollevare la matita durante il tracciato e/o ruotare il foglio.

Valutando la significatività, si è ottenuto un  $p < 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.



*Fig. 7: Numero di violazioni delle regole nel compito di precisione visuo-motoria in relazione all'età.*

La Figura 8 mostra il tempo impiegato nel compito di precisione visuomotoria, in relazione all'età. .

Nell'asse delle ordinate è rappresentato il tempo per il compito di precisione visuomotoria (da 0 a 360 secondi), nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età.

La mediana è più alta nei bambini di 5 anni, ciò significa che impiegano un tempo maggiore.

Valutando la significatività si è ottenuto un p-value  $< 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

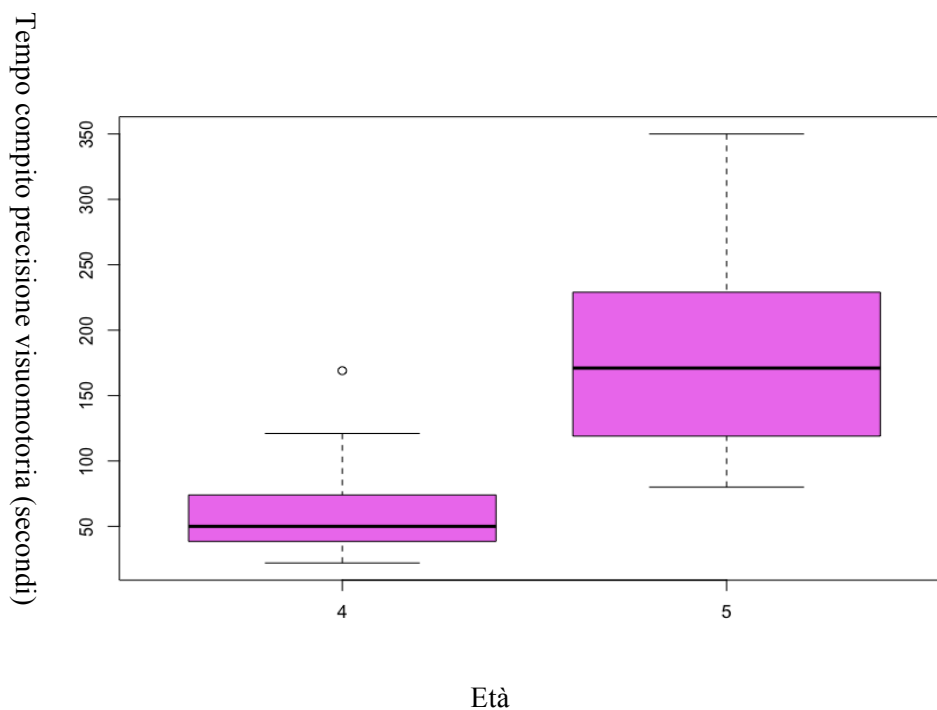
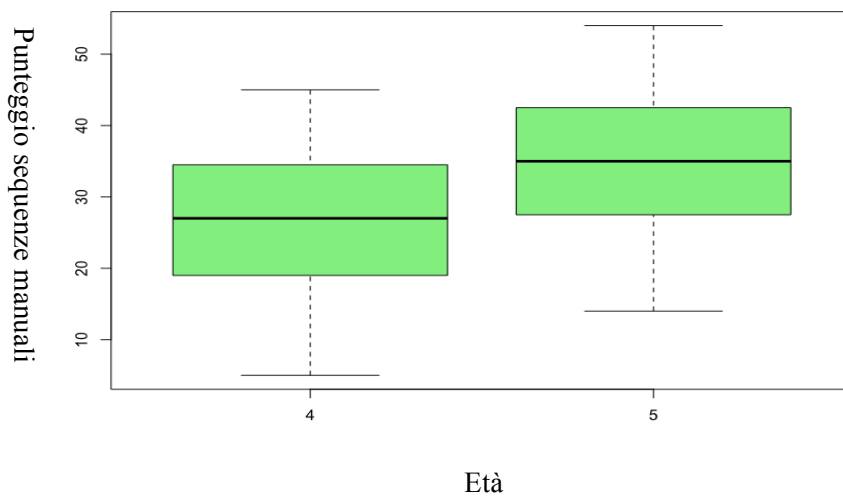


Fig. 8: Tempo utilizzato nel compito di precisione visuo-motoria in relazione all'età.

La Figura 9 mostra il punteggio totale nel compito di imitazione delle sequenze manuali, in relazione all'età. Nell'asse delle ordinate è rappresentato il punteggio totale per il compito di imitazione delle sequenze motorie (da 0 a 60), nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età.

La mediana è leggermente più alta nei bambini di 5 anni, ciò significa che riescono ad imitare un numero di sequenze superiore.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p < 0.05$ , quindi c'è differenza nei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.



*Fig. 9: Punteggio totale delle sequenze motorie, eseguite correttamente, in relazione all'età.*

## Torre di Londra

La Figura 10 mostra il punteggio grezzo nel test TOL, in relazione all'età. Nell'asse delle ordinate è rappresentato il punteggio grezzo (che va da 0 a 36), nell'asse delle ascisse è rappresentata l'età. Questo parametro valuta la capacità di pianificare, cioè di predisporre una procedura finalizzata al raggiungimento di un obiettivo e di controllare l'esecuzione della procedura stessa fino al raggiungimento del risultato.

La mediana è leggermente più alta nei bambini di 5 anni, ciò significa che i bambini di 5 anni hanno maggiormente sviluppate le funzioni esecutive come la pianificazione.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p=0.1522$ , quindi non c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

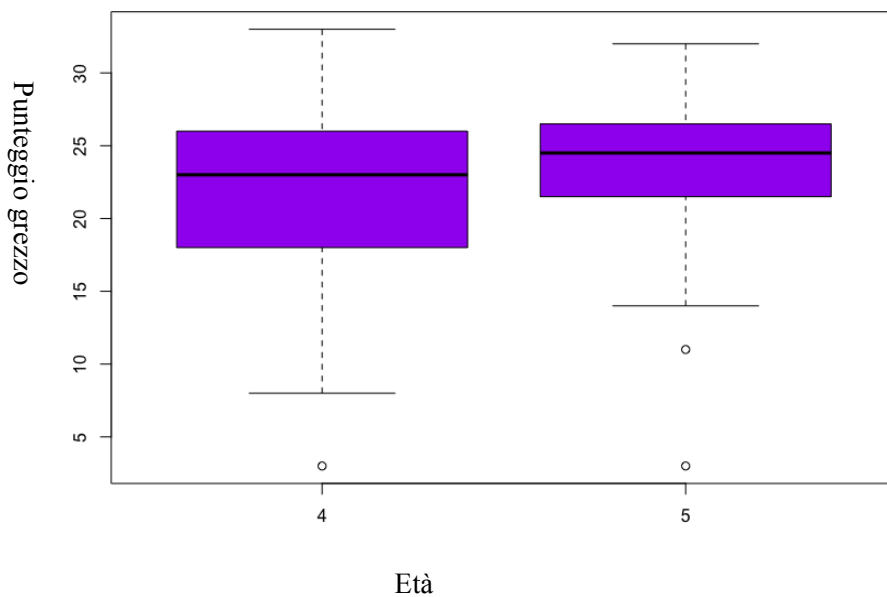


Fig. 10: Punteggio grezzo della TOL in relazione all'età.

La Figura 11 mostra il numero delle mosse, in relazione all'età. La mediana ha valori simili per le diverse età, ma il terzo quartile ha una distribuzione leggermente maggiore, tuttavia nel *boxplot* che rappresenta i 4 anni sono presenti diversi *outliers*, quindi possiamo dire che i due punteggi, in linea generale, si equivalgono.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p > 0.05$ , quindi non c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

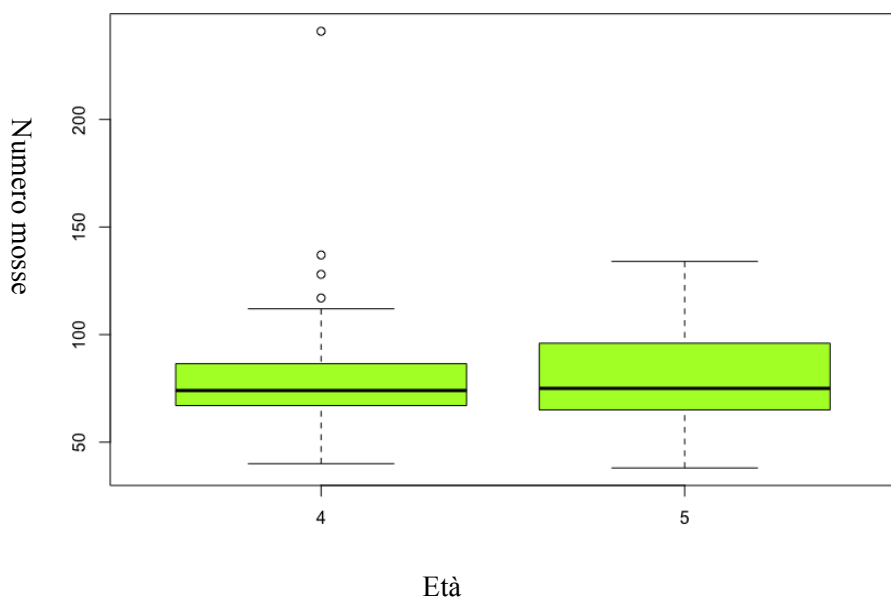


Fig. 11: Punteggio del numero di mosse utilizzate in relazione all'età.

La Figura 12 mostra le violazioni delle regole, in relazione all'età. Nell'asse dell'ordinata sono rappresentate le violazioni (non c'è un limite massimo di errori che possono essere commessi), nell'asse dell'ascissa è rappresentata l'età. Questa variabile da indicazioni sulla capacità di comprendere e tenere a mente le regole presentate per l'esecuzione del compito.

La mediana è più alta nei bambini di 4 anni, ciò significa che commettono un numero maggiore di violazioni.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p < 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

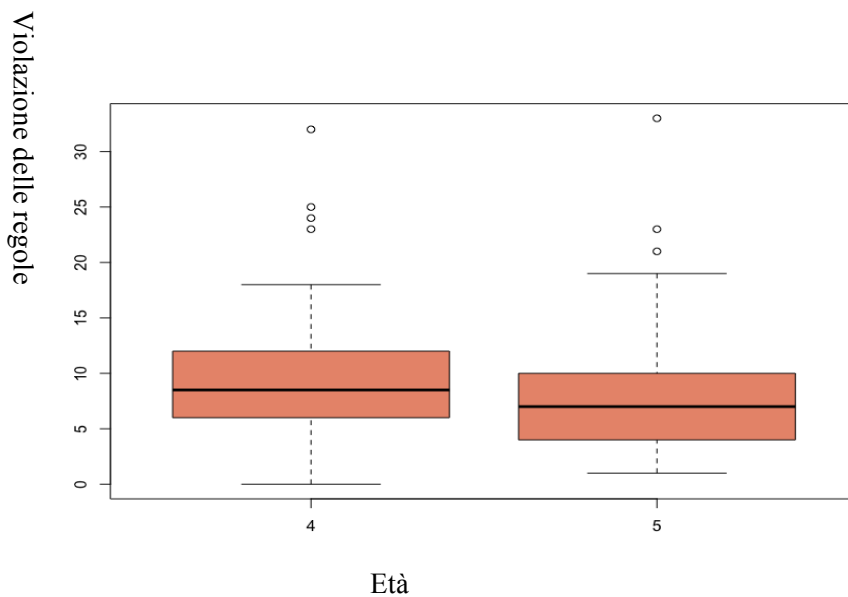


Fig. 12: Punteggio delle violazioni delle regole in relazione all'età.

La Figura 13 mostra il tempo di decisione, in relazione all'età. In soggetti che forniscono un numero basso di risposte corrette, un tempo di decisione breve indica una tendenza ad agire senza un'opportuna pianificazione, quindi suggerisce un comportamento impulsivo. Se invece il tempo risulta maggiore, può indicare incertezza e difficoltà di pianificazione. In soggetti con alto punteggio di risposte esatte, un tempo di decisione breve suggerisce rapidità di ragionamento e pianificazione, al contrario se il tempo risulta maggiore.

La mediana è leggermente più alta nei bambini di 4 anni, ciò significa che impiegano più tempo a decidere quale strategia utilizzare.

Valutando la significatività si è ottenuto un  $p < 0.05$ , quindi c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

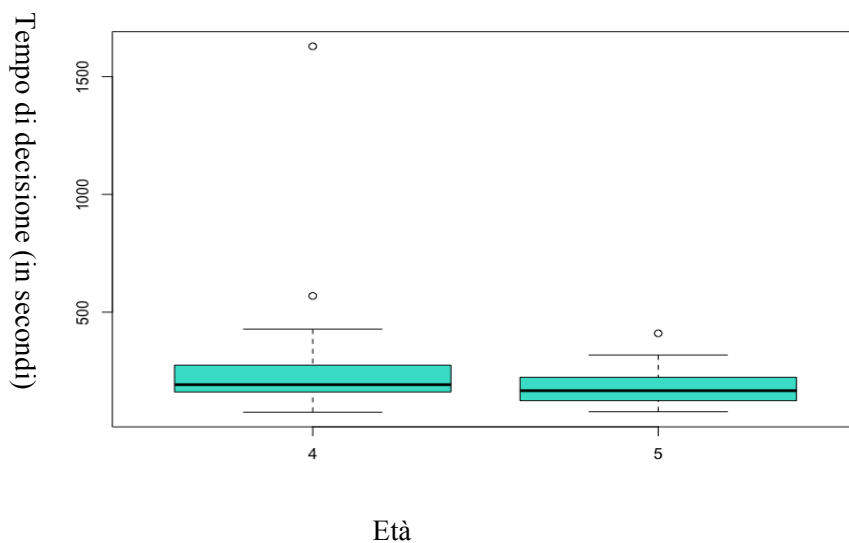


Fig. 13: Tempo di decisione in relazione all'età.



La Figura 14 mostra il tempo di esecuzione, in relazione all'età. Anche in questo caso, in bambini che forniscono poche risposte corrette, il tempo di esecuzione breve indica un comportamento impulsivo, mentre un tempo lungo indica incertezza e difficoltà nell'esecuzione del compito. In bambini che forniscono un alto punteggio di risposte corrette, un tempo di esecuzione breve suggerisce rapidità di ragionamento e viceversa per un tempo lungo.

La mediana è leggermente più alta nei bambini di 4 anni, ciò significa che impiegano più tempo nel mettere in atto la strategia scelta. Valutando la significatività si è ottenuto un  $p > 0.05$ , quindi non c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

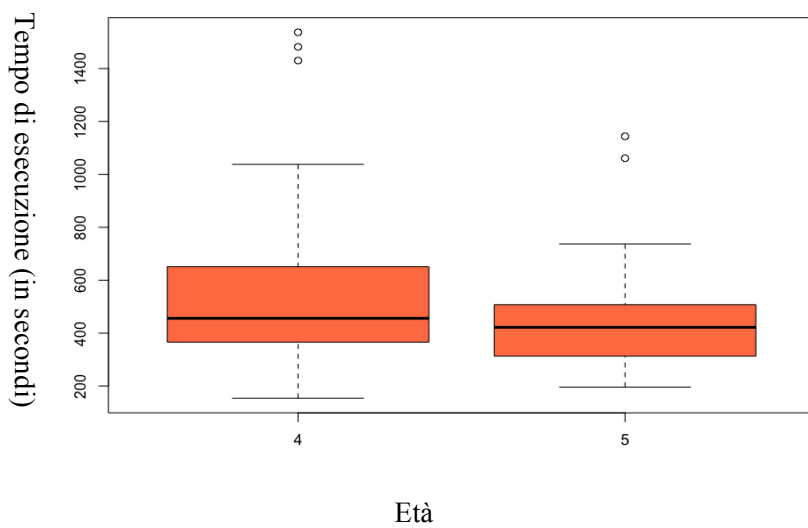


Fig. 14: Tempo di esecuzione in relazione all'età.

La Figura 15 mostra il tempo totale, cioè la somma del tempo di decisione e esecuzione, in relazione all'età. La mediana è leggermente più alta nei bambini di 4 anni, ciò significa che impiegano più tempo a decidere quale strategia utilizzare e mettere in atto.

Valutando la significatività si è ottenuto un p-value  $> 0.05$ , quindi non c'è differenza dei punteggi ottenuti tra i bambini di 4 e 5 anni.

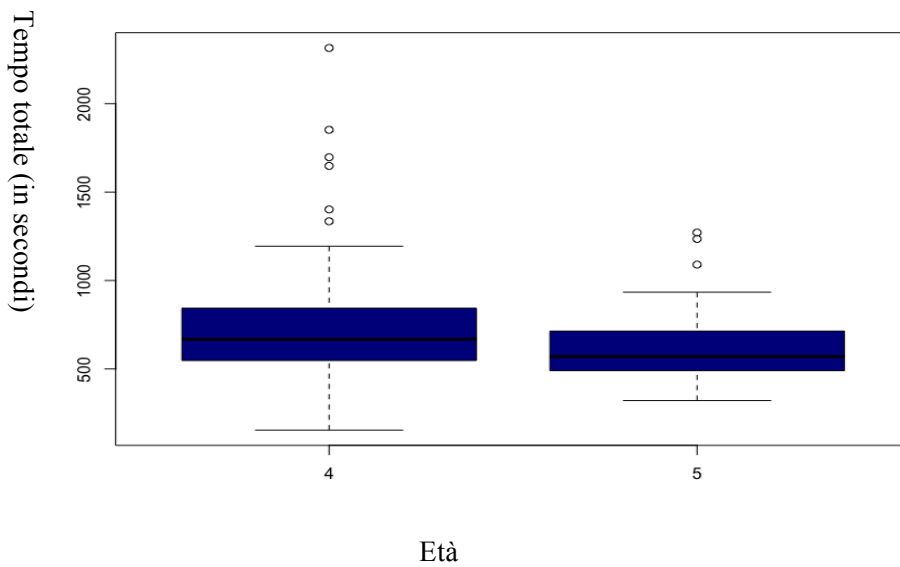


Fig. 15: Tempo totale (somma del tempo di decisione ed esecuzione) in relazione all'età

Per quanto concerne le correlazioni, la Tab.1 evidenzia le correlazioni tra le sottoscale della Nepsy II e della TOL. In blu sono indicate le correlazioni positive e in rosso le negative, le caselle vuote indicano assenza di correlazioni:

	<b>Attenzione visiva: tempo</b>	<b>Attenzione visiva: accuratezza</b>	<b>imitazione motoria: mano dominante</b>	<b>Imitazione motoria: mano non dominante</b>	<b>Compito visuo motorio: errori</b>	<b>Compito visuo motorio: tempo</b>	<b>Compito visuo motorio: violazioni</b>	<b>Sequenz motorie totale</b>
<b>Punteggio grezzo</b>					-0,27			0.34
<b>Numero mosse</b>			0,21					
<b>Violazione delle regole</b>			-0,23			-0,25	-0,21	-0,25
<b>Tempo decisione</b>	0,29	-0,25	-0,21	-0,31		-0,24		
<b>Tempo totale</b>	0,25	0,23						

Tab. 1: Correlazioni tra le sottoscale della TOL e della NEPSY II

A seguire sono riportati dei grafici esemplificativi che rappresentano le correlazioni più significative. Sull'asse dell'ascissa troviamo le sottoscale della TOL, sull'asse dell'ordinata le sottoscale della NEPSY II.

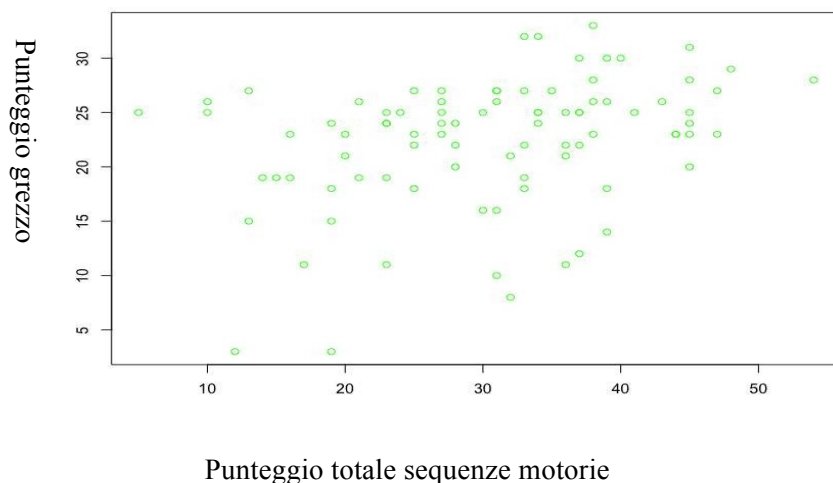


Fig. 16: Correlazioni tra punteggio grezzo e punteggio delle sequenze motorie.

La Figura 16 mostra una correlazione media tra il punteggio grezzo della TOL e il totale delle sequenze motorie della Nepsy. Il cor.test evidenzia una correlazione positiva ( $R=0.34$ ).

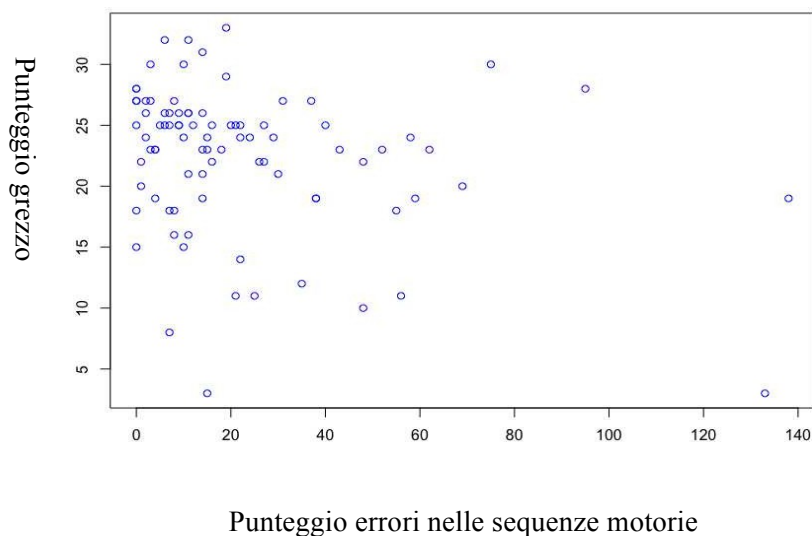


Fig. 17: Correlazioni tra punteggio grezzo e gli errori nel compito di precisione visuomotoria.

La Figura 17 mostra una correlazione bassa tra il punteggio grezzo della TOL e gli errori nella precisione visuomotoria della Nepsy. La correlazione è negativa ( $R = -0.27$ ).

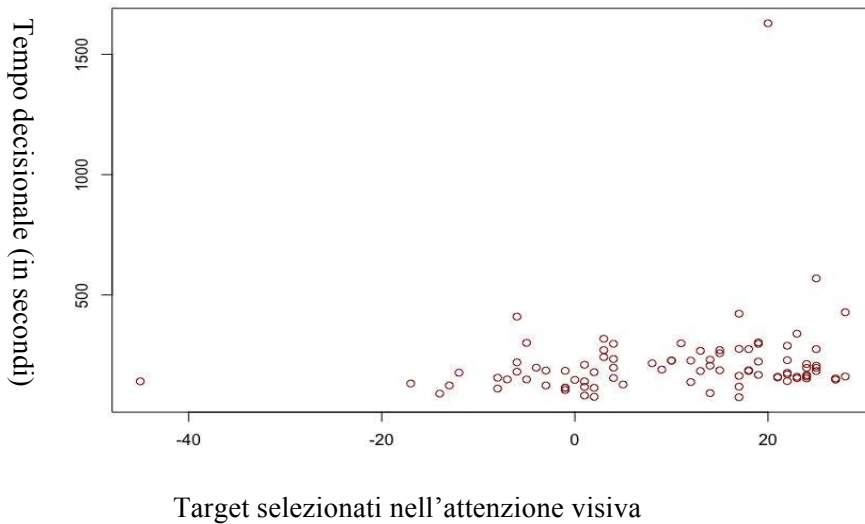


Fig. 18: Correlazioni tra il tempo decisionale e il numero di target selezionati nel compito di attenzione visiva.

La Fig. 18 mostra una correlazione debole tra il tempo decisionale della TOL e l'accuratezza nel compito di attenzione visiva della Nepsy. La correlazione è negativa ( $R = -0.25$ ).

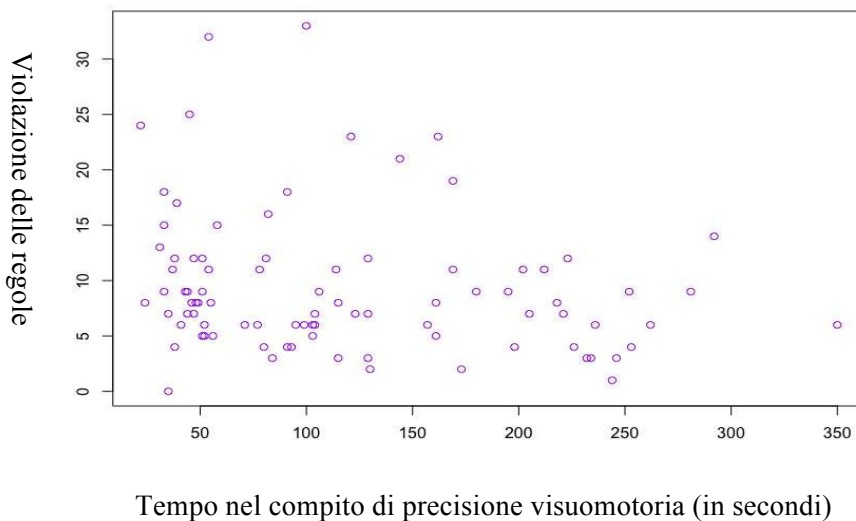


Fig.19: Correlazione tra le violazioni delle regole e il tempo utilizzato nel il compito di precisione visuomotoria.

La Figura 19 mostra una correlazione debole tra le violazioni delle regole della TOL e il tempo nel compito di precisione visuomotoria della Nepsy. La correlazione è negativa ( $R = -0.25$ ).

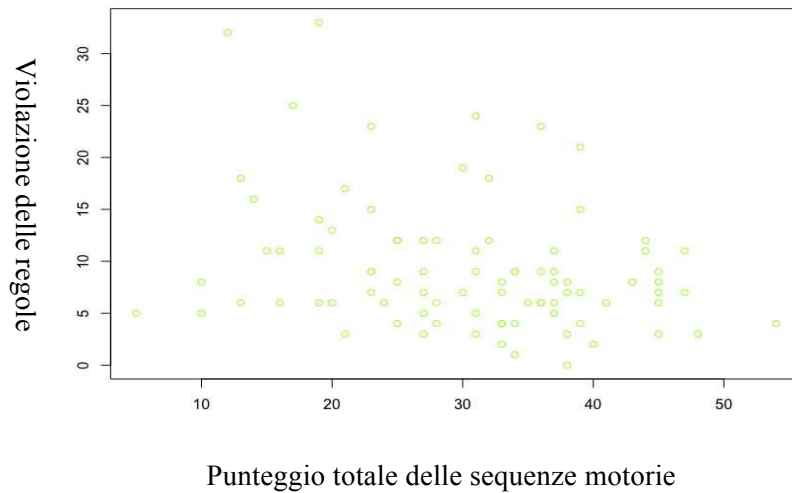


Fig.20: Correlazioni tra le violazioni delle regole e il punteggio totale delle sequenze motorie

La Figura 20 mostra la correlazione debole tra le violazioni delle regole della TOL e il totale delle sequenze motorie della Nepsy. La correlazione è negativa ( $R = -0.25$ ).

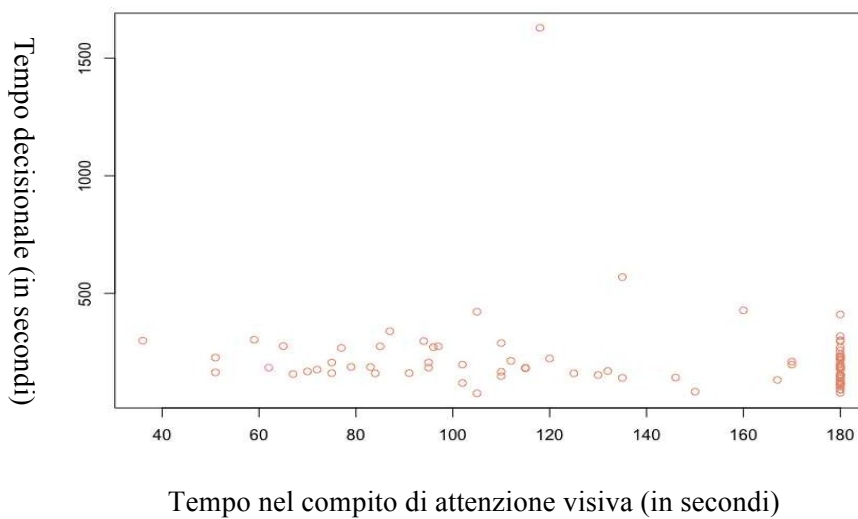


Fig. 21: Correlazioni tra il tempo decisionale e il tempo utilizzato nel compito di attenzione visiva.

La Figura 21 mostra una correlazione media tra il tempo decisionale della TOL e il tempo nel compito di attenzione visiva della Nepsy. La correlazione è positiva ( $R= 0.29$ ).

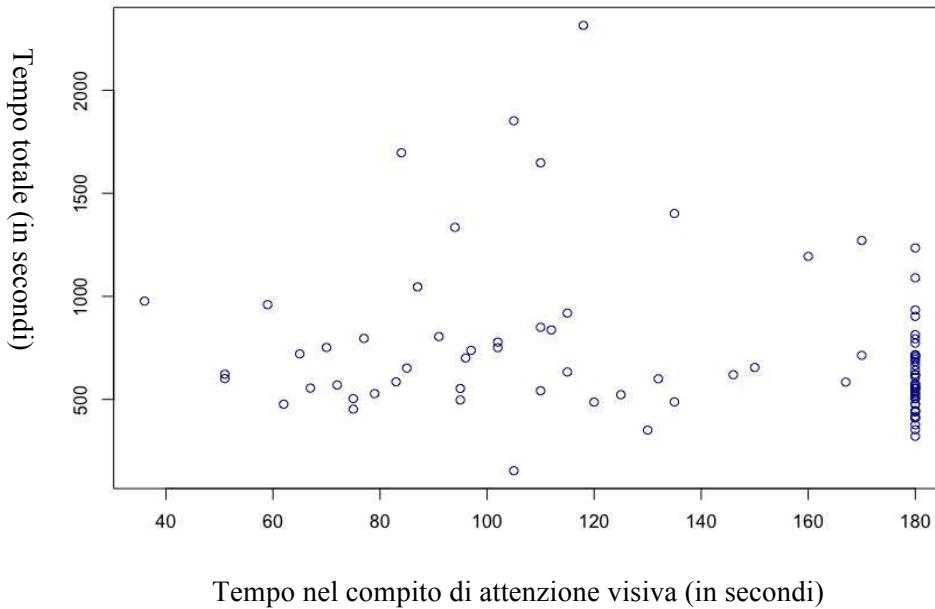


Fig.22: Correlazioni tra il tempo totale e il tempo utilizzato nel compito di precisione visuomotoria.

La Figura 22 mostra una media correlazioni tra il tempo totale della TOL e il tempo nel compito di precisione visuomotoria della Nepsy. La correlazione è positiva ( $R= 0.29$ ).

### 3.5 Discussione

La ricerca ha evidenziato delle correlazioni tra il dominio motorio e il dominio delle funzioni esecutive nei bambini di età prescolare, come già riportato in letteratura soprattutto nell'adulto.

In generale i risultati mostrano un andamento migliore nelle performance relative sia al test TOL sia al test NEPSY II, in relazione all'età.

Per quanto riguarda, invece, le correlazioni tra le diverse sottoscale, come già detto, le correlazioni sono risultate in molti casi piuttosto basse; questo potrebbe anche dipendere non solo dalla difficoltà nel somministrare i test a bambini così piccoli, che possono essere facilmente distratti, ma anche dai test stessi, poiché “misurano” più aspetti delle FE, quindi un campo molto vasto. Stesso discorso vale per le abilità motorie. Il mancato utilizzo di tutte le scale di valutazione della NEPSY II potrebbe essere stato una fonte di errore, portando a risultati non affidabili circa la valutazione dello sviluppo cognitivo. La NEPSY II nasce infatti come batteria di test per una valutazione neuropsicologica rispetto a più domini cognitivi, pertanto l'utilizzo di un altro test maggiormente mirato alla valutazione delle sole abilità motorie, o l'utilizzo di tutti e quattro i test della NEPSY II per la valutazione delle funzioni sensorimotorie, forse avrebbe costituito una scelta più adeguata.

Osservando le abilità cognitive in relazione alle diverse età, si è evidenziato il collegamento direttamente proporzionale tra età e sviluppo delle capacità di pianificazione e imitazione, come evidenziato nella fig. 9, che mostra come le sequenze motorie siano migliori nei bambini di 5 anni. Queste ultime prevedono non solo l'imitazione motoria e quindi capacità motorie, ma anche una memoria a breve termine, una pianificazione e una inibizione della risposta, poiché quando il bambino osserva lo sperimentatore eseguire la sequenza motoria, egli dovrà solo osservare e inibire il riflesso di imitazione immediata, come riportato in letteratura dagli studi di Stockel e Hughes (2015).

Inoltre in letteratura un numero crescente di evidenze indica la presenza di cambiamenti pronunciati nel controllo esecutivo tra l'infanzia e la prima età adulta, che implicano cambiamenti nel pensiero e nell'azione con lo scopo di raggiungere obiettivi futuri, ulteriore prova che le attività motorie



producono un effetto positivo nelle FE, come citato in letteratura negli studi di Alesi (2016) e Koutsandreou et al. (2016); altri risultati mostrano che le prestazioni a livello adulto su diversi compiti della funzione esecutive vengono raggiunte a diverse età dell'infanzia e dell'adolescenza (Diamond, 2002; Huizinga, Dolan e Van der Molen, 2006; Welsh, 2002). I risultati del presente lavoro su bambini nella fascia dell'infanzia, quindi, evidenziano l'inizio di questo sviluppo che affronterà ulteriori forti cambiamenti in età successive.

Grazie ai test utilizzati (come la TOL) abbiamo visto che vi è un'interazione di diversi compiti e diversi processi cognitivi per il raggiungimento di un obiettivo finale in cui il bambino passa dall'osservazione alla pianificazione, dal ragionamento al problem solving. Il compito della Torre di Londra, come è stato visto, richiede una pianificazione e un controllo cognitivo sostenuto del comportamento verso un obiettivo. Deve essere creata una rappresentazione mentale del percorso dallo stato iniziale allo stato finale e ciò richiede che i passaggi intermedi multipli siano organizzati come delle operazioni con sotto-obiettivi. Inoltre, poiché ogni operazione viene eseguita mentalmente, la rappresentazione dello stato del problema deve essere modificata e possibili operazioni alternative devono essere valutate. I risultati positivi dimostrano che queste capacità risultano già sviluppate nei bambini di 4 e 5 anni.

Un aspetto del controllo motorio che è stato al centro dell'attenzione negli ultimi anni è la pianificazione motoria anticipatoria. Gli adulti neurologicamente sani afferreranno un oggetto con una postura di presa iniziale che consente una posizione comoda e controllabile alla fine del movimento (Rosenbaum et al., 1990). Negli ultimi anni un certo numero di ricercatori ha cercato di delineare la traiettoria evolutiva della pianificazione motoria anticipatoria. Lo sviluppo della pianificazione motoria anticipatoria non è lineare, ma segue una funzione positivamente accelerata, con un notevole aumento delle prestazioni quando i bambini hanno un'età compresa tra 5 e 8 anni, con prestazioni di pianificazione motoria anticipatoria che si avvicinano ai livelli degli adulti dopo i

10 anni di età. Questa potrebbe essere una spiegazione del fatto che i punteggi ottenuti risultano relativamente bassi.

### **3.6 Conclusione**

Questo lavoro ha evidenziato dei collegamenti tra le funzioni esecutive e le abilità motorie, già esistenti e dimostrate in letteratura nell'uomo di età adulta, meno nei bambini molto piccoli.

Molte correlazioni che sono state riportate nei bambini di età prescolare, seppur esistenti, risultano basse, come già sottolineato. Questo fattore potrebbe dipendere anche dal tipo di test somministrato.

Infine, risulterebbe necessario approfondire con ulteriori ricerche e studi questi domini e abilità, magari utilizzando un campione più grande e maggiori fasce d'età, anche con bambini di 8 anni, età in cui le FE dovrebbero risultare più simili a quelle dell'uomo. Se il progetto iniziale fosse stato portato a termine, quindi potendo avere un confronto tra una situazione post-laboratoriale e quella di partenza, avremmo sicuramente potuto valutare se un laboratorio condiviso, che prevedeva delle attività di manipolazione manuale e di interazione con oggetti di materiali differenti, aveva la potenzialità di sviluppare o modificare in modo significativo gli altri domini cognitivi come le funzioni esecutive, come ad esempio si può vedere nello studio riportato nel paragrafo 2.7. La possibilità futura di poter intervenire a livello scolastico in una situazione auspicabilmente priva di rischi epidemici ci metterà in grado di rispondere a questo interrogativo.

## Bibliografia

- . Alesi M, Bianco A, Luppina G, Palma A, Pepi A, (2016). Improving children's coordinative skills and executive functions: the effects of a football exercise program. *Percept Mot Skills*. 122(1):27–46.
- . Alvarez, J., e Emory, E. (2006). Executive functions and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16, 17-42.
- . Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- . Banfield, J., Wyland, C. L., Macrae, C. N., Münte, T. F., and Heatherton, T. F. (2004). “The cognitive neuroscience of self regulation,” in *The Handbook of Self- Regulation*, eds R. F. Baumeister and K. D. Vohs (New York, NY: Guilford), 62–83.
- . Barbas, H. (2000). Proceedings of the human cerebral cortex: from gene to structure and function connections underlying the synthesis of cognition, memory, and emotion in primate prefrontal cortices. *Brain Res. Bull.* 52, 319–330. doi: 10.1016/s0361-9230(99)00245-2
- . Barkeley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65- 94.
- . Bekkering, H., Wohlschlager, A., & Gattis, M. (2000). Imitation of Gestures in Children is Goal- directed. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 53, 153-164.

- . Bradshaw, J. L. (2001). Developmental disorders of the frontostriatal system: Neuropsychological, neuropsychiatric and evolutionary perspectives. NY, US: Psychology Press.
  
- . Bruni, S., Giorgetti, V., Bonini, L., and Fogassi, L. (2015). Processing and integration of contextual information in monkey ventrolateral prefrontal neurons during selection and execution of goal-directed manipulative actions. *J. Neurosci.* 35, 11877–11890. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1938-15.2015
  
- . Buccino G, Vogt S, Ritzl A, Fink GR, Zilles K, Freund HJ, et al. (2004). Neural circuits underlying imitation of hand actions: an event related fMRI study. *Neuron*; 42:323-34.
  
- . Costanzi F. (2002). Funzioni Esecutive e Disturbo da Deficit di Attenzione/Iperattività: rassegna della letteratura. *Psichiatria dell'Infanzia e dell'Adolescenza*, 69, 147-158.
  
- . Crews, E. T., and Boettiger, C. A. (2009). Impulsivity, frontal lobes and risk for addiction. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 93, 237–247. doi: 10.1016/j.pbb.2009.04.018
  
- . De Renzi, E. e Lucchetelli, F. (1988), ideational apraxia, in *Brain*, 111, pp. 1173-1185.
  
- . Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466–503). New York: Oxford University Press.

- . Di giulio, C. Esposito, E. Florio, T. Fogassi, L. Oliveri, M. Perciavalle, V. Zoccoli, G. (2008),  
Fondamenti anatomofisiologici della psiche.
  
- . di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. (1992) Understanding motor  
events: a neurophysiological study. *Exp. Brain Res.* 91: 176-180.
  
- . Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders. *British Medical Bulletin*, 65, 49–  
59
  
- . Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action  
observation: a magnetic stimulation study. *Journal of neurophysiology*, 73(6), 2608-2611.
  
- . Fancello, G. S., Vio, C. e Cianchetti, C. (2006). Test TOL - Torre di Londra (Test di  
valutazione delle funzioni esecutive). Trento: Erikson.
  
- . Fellows, L. K. (2004). The cognitive neuroscience of human decision making: a review and  
conceptual framework. *Behav. Cogn. Neurosci. Rev.* 3, 159–172. doi:  
10.1177/1534582304273251
  
- . Fletcher, P. C. e Henson, R. N. A. (2001). Frontal lobes and human memory: insights from  
functional neuroimaging. *Brain*, 124, 849-881.
  
- . Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. and Rizzolatti, (1996) G. Action recognition in the  
premotor cortex. *Brain* 119: 593-609.

- . Gilboa, A. e Moscovitch, M. (2002). The cognitive neuroscience of confabulation: a review and a model. In A.D. Baddeley, M.D. Kopelman & B.A. Wilson (Eds.), *Handbook of memory disorders* (2nd ed ., pp. 315-342). London: John Wiley & Sons.
  
- . Hughes, C., & Graham, A. (2002). Measuring executive functions in childhood: Problems and solutions? *Child and Adolescent Mental Health*, 7, 131-142.
  
- . Huizinga, M., Dolan, C. V., & Van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017–2036.
  
- . Kandel, E., Schwartz, J., & Jessel, T. (2014). *Principles of Neural Science*, ed. 4.
  
- . Karmiloff – Smith, A. (1992). *Oltre la mente modulare*. Il Mulino.
  
- . Kolb, B., and Wishaw, I. Q. (2009). *Fundamentals of Human Neuropsychology*, 6th Edn. New York, NY: Worth Publishers.
  
- . Koutsandré'ou F, Wegner M, Niemann C, Budde H. (2016). Effects of motor versus cardiovascular exercise training on children's working memory. *Med Sci Sports Exerc.* 48(6):1144–1152.

- . Làdavas, E., & Berti, A. (2014). *Neuropsicologia*. Bologna: Il Mulino. (pp.80-83).
  
- . Le Doux, J., (2002). *Il sé sinaptico. Come il nostro cervello ci fa diventare quello che siamo*, Milano, Raffaello Cortina.
  
- . Leshem, R. (2016). Using dual process models to examine impulsivity throughout neural maturation. *Dev. Neuropsychol.* 41, 125–143. doi: 10.1080/87565641.2016.1178266
  
- . Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological assessment* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.
  
- . Luciana M, Nelson CA. (2002). Assessment of neuropsychological function in children using the Cambridge Neuropsychological Testing Automated Battery (CANTAB): Performance in 4 to 12 year-olds. *Developmental Neuropsychology.* ;22: 595–623.
  
- . Macchi Cassia, V., Valenza, E., & Simion, F. (2012). *Lo sviluppo della mente umana. Dalle teorie classiche ai nuovi orientamenti*. Il mulino.
  
- . Matelli M. , Luppino G. , e Rizzolatti G., (1991). “Architecture of superior and mesial area 6 and the adjacent cingulate cortex in the macaque monkey”, *J. Comp. Neurol.*, 311,4,445–462.
  
- . Mecacci, L. (2001). *Manuale di psicologia generale*. Firenze: Giunti Editore.
  
- . Meltzoff, A. N., & Moore, M.K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 75-78.

- . Milner, B. e Petrides, M. (1984). Behavioural effects of frontal lesions in man. *Trends in neurosciences*, 7 (11), 403-407.
  
- . Owen, A. M., Downes, J. D., Sahakian, B. J., Polkey, C. E. e Robbins, T. W. (1990). Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 28, 1021-1034.
  
- . Owen, A. M. (1997). The functional organization of working memory processes within human lateral frontal cortex: the contribution of functional neuroimaging. *European Journal of Neuroscience*, 9, 1329-1339.
  
- . Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L. G., Brasil-Neto, J. P., Cammarota, A., & Hallett, M. (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of neurophysiology*, 74(3), 1037-1045.
  
- . Penfield, W. e Welch, K. (1951). The supplementary motor area of the cerebral cortex; a clinical and experimental study. *AMA Arch Neurol Psychiatry* 66(3): 289-317.
  
- . Pennington, B.F., Ozonoff, S. (1996). “Executive functions and developmental Psycho pathology”, *Journal of Child Psychology and allied disciplines*, 37,51-87.
  
- . Pribram, K. H. e McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82, 116-149.



- . Rosenbaum, D. A., Marchak, F., Barnes, H. J., Vaughan, J., Slotta, J. D., & Jorgensen, M. J. (1990). Constraints for action selection: overhand versus underhand grips. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and performance XIII* (pp. 321–342). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- . Rizzolatti G., Craighero L., (2004). “The mirror Neurons System”. *Ann. Rev. Neuroscience*, 27,169-92.
- . Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. and Fogassi, L. (1996) Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cog. Brain Res.*, 3: 131-141.
- . Rizzolatti, G. e Sinigaglia, C. (2006) *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*. Cortina.
- . Shallice T., (1982). Specific Impairments of Planning, *Phill. Transactions of the Royal Society of London*, 298, 199-209.
- . Simone, L., Rozzi, S., Bimbi, M., and Fogassi, L. (2015). Movement-related activity during goal-directed hand actions in the monkey ventrolateral prefrontal cortex. *Eur. J. Neurosci.* 42, 2882–2894. doi: 10.1111/ejn.13040
- . Smith, E. E. e Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- . Stockel, T., Hughes, C., M., L., (2015). The relation between measures of cognitive and motor

functioning in 5- to 6-year-old children. *Psychological Research*,

- . Stuss, D. T. e Benson, D. F. (1984). Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95 (1), 3-28.
- . Stuss, D. T., and Levine, B. (2002). Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annu. Rev. Psychol.* 53, 401–433. doi: 10.1146/annurev.psych.53.100901.135220
- . Stuss, D. T. (2011). Traumatic brain injury: relation to executive dysfunction and the frontal lobes. [Research Support, Non-U.S. Gov't Review]. *Curr. Opin. Neurol.* 24, 584–589. doi: 10.1097/WCO.0b013e32834c7eb9
- . Thach, W. T., Mink, J. W., Goodkin, H. P., & Keating, J. G. (2000). Combining versus gating motor programs: Differential roles for cerebellum and basal ganglia? In M. S. Gazzaniga (Ed.), *Cognitive neuroscience: A reader*. Oxford: Blackwell.
- . Toplak, M. E., Jain, U., and Tannock, R. (2005). Executive and motivational processes in adolescents with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Behav. Brain Funct.* 1, 1–12. doi: 10.1186/1744-9081-1-8
- . Tsermentseli, S., and Poland, S. (2016). Cool versus hot executive function: a new approach to executive function. *Encephalos* 53, 11–14.
- . Ungerleider, L. G. (1994). *Transient and enduring effects of experience: functional studies of*

- . Unterrainer, J. M., Rahm, B., Halsband, U. e Kaller, C. P. (2005). What is in a name: comparing the Tower of London with one of its variants. *Cognitive Brain Research*, 23, 418-428.
- . Umiltà, M. A., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., Jezzini, A., ... & Rizzolatti, G. (2008). When pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 2209-2213.
- . Van der Fels, I.M.J., Smith, J., de Bruijn, A.G.M., Bosker, R.J., Konigs, M., Oosterlaan, J., Visscher, C., Hartman, E., (2019). Relations between gross motor skills and executive functions, controlling for the role of information processing and lapses of attention in 8-10 year old children. In "Plos One".
- . Welsh, M. C. (2002). Developmental and clinical variations in executive functions. In D. L. Molfese & V. J. Molfese (Eds.), *Developmental variations in learning: Applications to social, executive function, language, and reading skills* (pp. 139–185). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- . Welsh, M. C. e Pennington, B. F. (1988). Assessing frontal lobe functioning in children: views from developmental psychology. *Developmental Neuropsychology*, 4, 199-230.
- . Woolsey, C.N., Settlage, P.H., Meyer, D.R., Sencer, W., Pinto Hamuy, T. e Travis, A.M. (1952). Patterns of localization in precentral and "supplementary" motor areas and their relation to the concept of a premotor area. *Res Publ Assoc Res Nerv Ment Dis* 30: 238-64.

- . Yamagata, T., Nakayama, Y., Tanji, J., and Hoshi, E. (2012). Distinct information representation and processing for goal-directed behavior in the dorsolateral and ventrolateral prefrontal cortex and the dorsal premotor cortex. *J. Neurosci.* 32, 12934–12949. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2398-12.2012
  
- . Zelazo, P. D., and Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: development and plasticity. *Child Dev. Perspect.* 6, 354–360.
  
- . Zelazo, P. D., Craik, F. I. M. e Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica*, 115, 167-183.