

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione - DPSS

Corso di Laurea Magistrale in Psicologia Clinica dello Sviluppo

Tesi di Laurea Magistrale

**Le radici della pianificazione: un confronto empirico delle
performance motorie e attentive in bambini in età prescolare**

***The Roots of Planning: An Empirical Comparison of Motor and Attentional
Performance in Preschool Children***

Relatrice

Prof.ssa Eloisa Valenza

Correlatrice

Dott.ssa Giulia Calignano, Ph.D.

Laureanda: Diana Delvecchio

Matricola: 2083236

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

Abstract.....	1
Introduzione.....	2
1 CAPITOLO 1 – CORNICE TEORICA	5
1.1 EMBODIED COGNITION	5
1.1.1 Prospettiva teorica	5
1.1.2 Implicazioni e possibili applicazioni dell’ <i>embodied cognition</i>	7
1.1.3 L’importanza della integrazione sensorimotoria nel corso dello sviluppo ...	8
1.2 SVILUPPO MOTORIO E COGNITIVO	10
1.2.1 Il contributo delle Neuroscienze.....	10
1.2.2 Influenza reciproca tra azioni motorie-esperienze fisiche e processi cognitivi nello sviluppo	12
1.3 PIANIFICAZIONE MOTORIA.....	13
1.3.1 Pianificazione motoria ed i movimenti <i>reach to grasp</i>	13
1.4 EFFETTO COMFORT DELLO STATO FINALE.....	15
1.4.1 L’ESC nel corso dello sviluppo	16
1.5 ANTICIPAZIONE E COMPRESIONE DELLE AZIONI	18
1.5.1 Abilità predittive.....	18
1.5.2 Lo sviluppo delle abilità predittive in infanzia.....	19
1.5.3 Lo studio delle abilità predittive in infanzia: eye-tracking e pupillometria	20
1.5.4 Modelli relativi alla comprensione delle azioni	22
1.5.5 Anticipazione e comprensione delle azioni	23
1.6 CONCLUSIONI	25
2 CAPITOLO 2 - PROGETTO DI RICERCA ESTESO	27
2.1 Introduzione.....	27
2.2 Compito esecutivo	27
2.2.1 Breve descrizione del compito e della procedura sperimentale	27
2.2.2 Domande di ricerca, ipotesi e risultati (Frontino, 2024).....	28
2.3 Compito attentivo	30
2.3.1 Breve descrizione del compito e della procedura sperimentale	30
2.3.2 Domande di ricerca, ipotesi e risultati (Frontino, 2024).....	30
2.4 Conclusioni e questioni aperte.....	33
3 CAPITOLO 3 – IL CONTRIBUTO DELLA PRESENTE TESI.....	35
3.1 LA PRESENTE RICERCA: Introduzione	35

3.2	COMPITO ESECUTIVO: Procedura e disegno sperimentale	35
3.2.1	Stimoli e materiali	39
3.3	COMPITO ATTENTIVO: Procedura e disegno sperimentale	39
3.3.1	Stimoli e materiali	40
3.4	STUDIO SPERIMENTALE: COMPITO ESECUTIVO E ATTENTIVO A CONFRONTO	43
3.4.1	Domanda di ricerca e ipotesi	45
3.4.2	Analisi dei dati.....	46
3.4.3	Risultati.....	46
3.4.4	Discussione.....	47
3.4.5	Limiti e direzioni future.....	49
4	CONCLUSIONI.....	51
	BIBLIOGRAFIA	53

Indice delle Figure

<i>Figura 1:</i>	Analisi della relazione tra prestazione motoria (asse delle ordinate: punteggi ottenuti al compito esecutivo) ed età (asse delle ascisse: espressa in mesi). Fonte: Frontino, 2024.	29
<i>Figura 2:</i>	Analisi della relazione tra prestazione motoria (asse delle ordinate: punteggi ottenuti al compito esecutivo) e difficoltà del compito (asse delle ascisse: condizioni di presa, quali Tazza e Bicchiere, in posizione Canonica o Ruotata di 180°). Fonte: Frontino, 2024.	30
<i>Figura 3:</i>	Analisi del tracciamento oculare in relazione alla rotazione dell'oggetto, condizione di presa corretta. Fonte: Frontino, 2024.	31
<i>Figura 4:</i>	Analisi del tracciamento oculare in relazione alla rotazione dell'oggetto, condizione di presa corretta. Fonte: Frontino, 2024.	32
<i>Figura 5:</i>	Analisi della dilatazione pupillare in relazione alla modalità di presa. Nell'asse delle ascisse, il tempo del filmato in ms. Nell'asse delle ordinate, la dilatazione pupillare in mm. Fonte: Frontino, 2024.....	33
<i>Figura 6:</i>	Condizioni presentate nel compito esecutivo di difficoltà gradualmente crescente.	36
<i>Figura 7:</i>	Descrizione della tazza e del bicchiere utilizzati per il compito esecutivo.	39
<i>Figura 8:</i>	Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) del bicchiere in modalità canonica.	41
<i>Figura 9:</i>	Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) del bicchiere ruotato di 180°.	41
<i>Figura 10:</i>	Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) della tazza in modalità canonica.	41
<i>Figura 11:</i>	Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) della tazza ruotata di 180°.	42

Figura 12: Effetto di interazione stimato dal modello tra Presa (Corretta vs Scorretta) e Gruppo (Pianifica vs Non pianifica) e gli intervalli di confidenza al 95%. Asse delle ascisse: condizione di visione di presa corretta (C) e scorretta (S). Asse delle ordinate: dilatazione pupillare in mm. 47

Indice delle Tabelle

<i>Tabella 1:</i> Scala di valutazione Likert per la condizione BICCHIERE CANONICO. ...	37
<i>Tabella 2:</i> Scala di valutazione Likert per la condizione BICCHIERE RUOTATO.	37
<i>Tabella 3:</i> Scala di valutazione Likert per la condizione TAZZA CANONICA.	38
<i>Tabella 4:</i> Scala di valutazione Likert per la condizione TAZZA RUOTATA.	38
<i>Tabella 5:</i> Numero di bambini per ciascun punteggio ottenuto al compito esecutivo nella condizione bicchiere ruotato (BR) e tazza ruotata (TR).	43
<i>Tabella 6:</i> Gruppo 1 (assenza di pianificazione) e gruppo 2 (pianificazione) in base alla condizione bicchiere ruotato (BR) e tazza ruotata (TR) al compito esecutivo.	44

Abstract

Secondo la prospettiva dell'*embodied cognition*, lo sviluppo cognitivo e motorio sono intrinsecamente connessi ed i processi mentali superiori emergono dalle interazioni dinamiche tra il corpo e l'ambiente. Con l'obiettivo di fornire un contributo all'interno di tale approccio, il presente lavoro di tesi, che fa parte di un progetto più esteso, esplora se l'efficienza della pianificazione motoria misurata in un compito esecutivo modula le risorse attentive quando si osservano le medesime azioni realizzate da adulti. Ciò è stato indagato in un campione di 60 bambini, di età compresa tra 13 e 39 mesi, tramite la realizzazione di due compiti sperimentali. Un compito esecutivo, valutato tramite una scala Likert a 5 punti, in cui veniva richiesto di raggiungere ed afferrare degli oggetti ruotati di 180° (bicchiere e tazza), che richiedevano un effetto comfort dello stato finale; ed un compito attentivo, con registrazione oculare tramite eye-tracker, che prevedeva l'osservazione di azioni di presa dei medesimi oggetti, eseguite da un adulto in modo corretto o scorretto. Il campione è stato poi dicotomizzato in due gruppi sulla base della prestazione al compito motorio (pianificazione vs non pianificazione) per analizzare la variazione del diametro pupillare (engagement attentivo) durante la visione delle prese. I risultati mostrano una maggiore dilatazione pupillare per la visione di prese scorrette, suggerendo come esse possano richiedere uno sforzo cognitivo maggiore rispetto alla visione di azioni eseguite correttamente. Inoltre, i risultati evidenziano un aumento significativo del diametro pupillare nel gruppo che pianifica durante le prese scorrette, e nel gruppo che non pianifica durante le prese corrette, suggerendo come le proprie competenze motorie giochino un ruolo fondamentale nel processamento delle azioni altrui.

Parole chiave: Pianificazione – End-State Comfort – Pupillometria – Eye-tracking – Infanzia

Introduzione

È ampiamente riconosciuta l'esistenza di un legame tra gli aspetti mentali e corporei, oggetto di discussione e dibattiti nella letteratura scientifica e filosofica (Johnson, 2006). In particolare, l'approccio della *embodied cognition* mette in evidenza come le rappresentazioni mentali siano incarnate nel corpo, in interazione bidirezionale con il contesto (Turati & Valenza, 2022). Un processo cognitivo che affonda le radici nelle abilità motorie presenti a partire dall'infanzia è rappresentato dalla pianificazione motoria, la quale implica la capacità di organizzare ed eseguire una sequenza di azioni motorie per raggiungere un obiettivo (Fuelscher et al., 2016). Tale abilità è fondamentale per un'interazione efficace con l'ambiente, che, a sua volta, può stimolare e promuovere lo sviluppo attraverso esperienze arricchenti e multimodali (ad esempio, il caregiver che offre adeguati e contingenti scambi interattivi, caratterizzati da scambi visivi, motori, linguistici che procedano di pari passo con lo sviluppo del bambino) (Smith & Gasser, 2005). Un altro aspetto da considerare riguarda il ruolo delle abilità predittive nel processamento delle azioni (Gredebäck & Falck-Ytter, 2015), sia rispetto alle azioni eseguite in prima persona (contribuendo al miglioramento della pianificazione e dell'esecuzione dei movimenti), sia durante l'osservazione di azioni eseguite da altre persone (facilitando la comprensione e l'anticipazione delle intenzioni altrui).

Con il fine di indagare le radici dello sviluppo di una componente della pianificazione motoria e delle abilità di anticipazione e comprensione delle azioni nel corso dell'infanzia, è stato strutturato il progetto di ricerca esteso di cui fa parte anche il presente lavoro di tesi. In una prima fase, il progetto è stato finalizzato ad esplorare le azioni di raggiungimento e presa di oggetti che richiedono una prensione palmare (bicchiere) e a tenaglia (tazza). Per questo, è stato sviluppato un compito di tipo esecutivo, articolato in quattro condizioni di difficoltà crescente, in cui gli oggetti sono stati presentati in posizione canonica o ruotati di 180°. Attraverso l'analisi dell'effetto comfort dello stato finale (Rosenbaum et al., 2012), che richiede di iniziare l'azione con una presa scomoda per assicurarsi una configurazione finale della mano comoda (i.e. nella condizione di bicchiere/tazza ruotati di 180°, prenderli con una presa con il pollice verso il basso per poi ruotare il polso e poter raggiungere comodamente l'obiettivo dell'azione – bere – tramite una configurazione finale con il pollice verso l'alto), sono state valutate le performance motorie di un campione di bambini tra i 13 e i 39 mesi. Sono state quindi

create apposite griglie di valutazione che includevano quattro scale Likert (una per ogni condizione), ciascuna articolata su cinque livelli.

Il secondo obiettivo del progetto è stato analizzare quali informazioni salienti vengono utilizzate dai bambini in un compito di anticipazione visiva. A tal fine, è stato progettato un compito attentivo, costituito da un filmato che mostrava possibili azioni di presa (corrette o scorrette) dei medesimi oggetti usati nel compito motorio (tazza e bicchiere), eseguite tramite modalità adattive o disadattive sempre in riferimento all'*end-state comfort effect*. Le misure di interesse sono state raccolte tramite l'utilizzo di un eye-tracker, strumento non invasivo comunemente utilizzato nella ricerca infantile per l'indagine delle abilità predittive (Zhang & Emberson, 2020), volto al raccoglimento di dati sul tracciamento oculare e sulle variazioni pupillari dei partecipanti durante la visione del filmato.

Dopo aver analizzato separatamente i risultati dei primi due compiti sperimentali, il terzo obiettivo del progetto, che costituisce la parte sperimentale di questa tesi, ha mirato ad esplorare il possibile legame esistente tra la prestazione motoria nel compito esecutivo e la prestazione attentiva nel compito visivo. Per questo scopo, sono stati considerati solo i bambini che avevano partecipato ad entrambe le procedure sperimentali (n = 60). Inoltre, sono state prese in analisi solo le condizioni relative agli oggetti ruotati di 180°, sia nel compito motorio che in quello attentivo, per approfondire lo studio della pianificazione motoria (perciò, dell'effetto comfort dello stato finale) in relazione alle abilità predittive, tema di grande rilevanza nel panorama della letteratura scientifica attuale (Schwarzer & Jovanovic, 2024).

La tesi è così organizzata.

Il primo Capitolo fornirà il quadro teorico di riferimento del progetto di ricerca esteso e di questa tesi. Innanzitutto, verrà introdotta la prospettiva dell'*embodied cognition*, la quale suggerisce come i processi cognitivi superiori emergano dalle precoci attività sensomotorie mediate dal corpo, sottolineando come azione e cognizione siano profondamente intrecciate e radicate nello sviluppo. In linea con tale prospettiva, verrà approfondito il legame tra lo sviluppo cognitivo e motorio, con particolare riferimento al contributo delle neuroscienze. Prendendo in esame le azioni di raggiungimento e presa di oggetti (*reach to grasp movements*), verrà illustrato il processo di pianificazione motoria

e la sua traiettoria evolutiva in relazione all'età e all'esperienza, evidenziando i risultati talvolta discordanti presenti nella letteratura scientifica. Particolare attenzione sarà dedicata all'effetto comfort dello stato finale, focus del progetto sperimentale. Verrà inoltre trattato il tema delle abilità predittive nell'infanzia, degli strumenti e delle misure comunemente adoperati nella ricerca infantile per il loro studio, delineando infine il ruolo del possibile legame tra il *saper fare* ed il *saper predire* nel processo di anticipazione e comprensione delle azioni, da una prospettiva neurocostruttivista.

Il secondo Capitolo introdurrà il progetto di ricerca esteso, fornendo una breve descrizione dei compiti sperimentali (esecutivo ed attentivo) e delle rispettive procedure, indagate separatamente. Verranno dunque riportati i risultati maggiormente significativi di questa prima parte del progetto, al quale ho contribuito e che hanno fornito il punto di partenza per il presente lavoro.

Nel terzo Capitolo si approfondirà la relazione tra le prestazioni motorie ed attentive, presentando il compito motorio e quello visivo in dettaglio, insieme alle rispettive procedure sperimentali. Verrà illustrato il disegno sperimentale che ha guidato lo studio del legame tra le due performance e saranno infine esposte le analisi dei dati di pupillometria, effettuate tramite un modello generalizzato ad effetti misti, con i risultati ottenuti. Essi mostrano una maggiore dilatazione pupillare per la visione di prese scorrette, suggerendo come esse possano richiedere uno sforzo cognitivo maggiore rispetto alla visione di azioni eseguite correttamente. Inoltre, i risultati evidenziano un aumento significativo del diametro pupillare nel gruppo che pianifica durante le prese scorrette, e nel gruppo che non pianifica durante le prese corrette, suggerendo come le proprie competenze motorie giochino un ruolo fondamentale nel processamento delle azioni altrui.

1 CAPITOLO 1 – CORNICE TEORICA

1.1 EMBODIED COGNITION

1.1.1 Prospettiva teorica

La prospettiva dell'*embodied cognition*, che fa da background teorico alla presente ricerca, sostiene che lo sviluppo delle funzioni e dei processi mentali è intrinsecamente connesso alle interazioni del corpo con l'ambiente (Turati & Valenza, 2022). Questo approccio teorico-pratico comprende studi e metodologie provenienti da diversi ambiti di ricerca, quali la psicologia, la filosofia, le neuroscienze (Leitan & Chaffey, 2014), ma anche la robotica e l'intelligenza artificiale. Esso supera le tradizionali scienze cognitive, e riformula completamente il metafisico dualismo mente-corpo che ha caratterizzato per molto tempo il dibattito filosofico e religioso delle tradizioni occidentali (Johnson, 2006). Infatti, considerare un dualismo "mente-corpo" significa assumere l'esistenza di due entità distinte, mentre bisogna innanzitutto prendere in esame come essi interagiscono, ponendo dunque in risalto l'importanza delle caratteristiche e delle proprietà fisiche del corpo nell'emergere dei processi e delle abilità cognitive (Shapiro, 2007). Il corpo non è semplicemente un luogo in cui risiede una mente isolata (Johnson, 2006), così come le azioni non sono semplici prodotti di operazioni mentali (Engel et al., 2013): invece, esse sono talmente intrecciate alla cognizione da seguire entrambe uno sviluppo dinamico e sensibile all'ambiente. Diventa quindi fondamentale fare riferimento ad una mente *nel* corpo (Johnson, 2006), in quanto è esso stesso, con le sue caratteristiche, capacità percettive e abilità motorie, ma anche con i suoi vincoli, a definire di cosa si possa fare esperienza, del modo in cui viverla e, di conseguenza, del modo in cui si possa formare una intrecciata matrice di ragionamento, memoria, linguaggio, emozioni (Español et al., 2022, pp. 1–20; Johnson, 2006).

Le prospettive analizzate sinora implicano, pertanto, che i processi cognitivi superiori emergono a partire dalle attività sensoriali e motorie mediate dal corpo. Non è quindi possibile considerare la cognizione semplicemente in termini di stimolazioni e segnali di nervi afferenti ed efferenti, in quanto alcuni ricercatori sostenitori dell'approccio dell'*embodied cognition* suggeriscono di estendere i processi cognitivi all'ambiente stesso in cui l'organismo vive (Shapiro, 2007): diventa più corretto parlare di un sistema mente-corpo in interazione con il contesto in cui è inserito. Alcuni autori

(Engel et al., 2013) sono infatti giunti a proporre, al fine di superare ulteriormente la prospettiva cognitiva tradizionale, un ampliamento della terminologia associata alle “rappresentazioni”, le quali richiamerebbero prevalentemente degli stati interni alla mente. Gli autori suggeriscono, invece, di utilizzare il termine “*directives*” per fare riferimento a delle predisposizioni all’azione, le quali sono incarnate in pattern di attività dinamica, arrivando in questo modo ad includere non solo il sistema cognitivo, ma anche il corpo e parte dell’ambiente con cui esso interagisce. Questo permetterebbe di abbracciare maggiormente le dinamiche di una mente *embodied* (Engel et al., 2013).

Riguardo alla modalità con cui queste esperienze corporee vengono rappresentate nel cervello, vi sono differenti approcci. Secondo Lakoff e Johnson (Johnson, 2006), ad esempio, tali pattern esperienziali costituiscono schemi simili ad immagini (*image schemas*), che vengono riattivati ed elaborati nel corso del processamento della conoscenza astratta, fino alla formazione dei concetti (Johnson, 2006). Diversamente, altre teorie, maggiormente validate da studi psicologici e neurologici, suggeriscono che tali rappresentazioni si trovino all’interno di un “sistema esperienziale” cerebrale, comprendente diversi sottosistemi quali propriocettivo, sensorimotorio, emotivo ed introspettivo: nel corso della cognizione, tali esperienze verrebbero ricostruite, o meglio, simulate (Barsalou, 1999, in Leitan & Chaffey, 2014). Viene pertanto evidenziato come l’utilizzo di concetti nella descrizione del mondo rifletta la natura del proprio corpo umano e la sua modalità di interazione con e nell’ambiente. Questo implica che i concetti contengono al loro interno informazioni e fatti riguardo alle particolarità sensorimotorie di chi li possiede, ovvero che i termini utilizzati per riferirsi alla mente e alle attività mentali si baserebbero direttamente sulle esperienze sensorimotorie. In sintesi, queste teorizzazioni suggeriscono che ad un qualche livello la conoscenza emerga dalle esperienze soggettive situate nel corpo, ed in particolare che essa venga abilitata dall’attivazione delle rappresentazioni corrispondenti, e non viceversa come proposto dalla logica convenzionale (Leitan & Chaffey, 2014). Ad esempio, la comprensione del concetto di MELA attiverebbe informazioni specifiche riguardo alla *propria* esperienza con le mele: come sono fatte al tatto, che suono producono, quale gusto hanno quando vengono morse ecc. Ma questo si applicherebbe anche nel corso della comprensione di concetti emotivi: FELICITÀ, ad esempio, includerebbe informazioni modalità-specifiche riguardo alla propria esperienza corporea (interna ed esterna) quando si prova questa

emozione, e le personali associazioni di tale parola sulla base di esperienze udite, agite, sentite (Davis et al., 2021). Senza il proprio vissuto corporeo (con tutto ciò che ne deriva), sembrerebbe mancare qualcosa alla totale comprensione di un concetto. Una volta riattivato alla mente questo concetto, esso simulerebbe quindi una esperienza della felicità, richiamando risorse neurali coinvolte nell'esperienza corporea di tale emozione. Tuttavia, questo può essere sì fatto a partire dalla propria memoria, ma anche tramite l'utilizzo di informazioni in quel momento rilevanti. È infatti possibile considerare come il contesto possa influenzare l'attivazione del contenuto incarnato (ad esempio, pensare a lanciare una mela coinvolge esperienze corporee diverse rispetto a mangiarla), rendendo quindi dinamica e flessibile la comprensione dei concetti in modo contesto-dipendente. A prescindere dalle specifiche differenze teoriche, è essenziale considerare che la mente è dotata di rappresentazioni distribuite, perciò di diverse configurazioni di connessioni neurali che comprendono e coinvolgono sia esperienze percettive che psicologiche (Turati & Valenza, 2022).

1.1.2 Implicazioni e possibili applicazioni dell'*embodied cognition*

Alla luce di quanto enunciato finora, numerose sono le possibili applicazioni dell'*embodied cognition*, quali terapie, interventi e pratiche – in ambito clinico, educativo, sportivo, sociale e della psicologia della salute – che si fondano su questi principi teorici e considerano il sistema mente-corpo-cervello in interazione bidirezionale con l'ambiente (Leitan & Chaffey, 2014). Harbourne & Berger (2019) mettono in evidenza che interventi volti a favorire lo sviluppo delle abilità motorie, se condotti senza l'inclusione di strategie che promuovano il problem solving, i movimenti auto-prodotti e l'esplorazione degli oggetti, potrebbero avere un effetto negativo sull'avanzamento cognitivo. Invece, sfruttare una prospettiva basata sulla cognizione incarnata potrebbe permettere di ottenere risultati migliori in entrambe le abilità.

Una recente rassegna di Castro-Alonso et al. (2024) ha proposto sei differenti percorsi di ricerca interconnessi che evidenziano gli effetti potenziati che si possono avere dall'interazione dinamica tra cervello, corpo e ambiente sull'apprendimento e insegnamento. Essi comprendono: l'attività fisica, la quale aiuta nell'integrazione neuronale, favorendo una migliore connettività cerebrale; l'apprendimento generativo,

che implica la creazione di connessioni personali con le conoscenze esistenti; l'*offloaded cognition*, che distribuisce l'elaborazione cognitiva alle mani e agli oggetti; il processamento specializzato, il quale distribuisce il processamento cognitivo alle mani e agli oggetti osservati, fornendo nuove informazioni; la segnalazione, degli elementi o delle aree di apprendimento più rilevanti; ed infine, la cognizione sociale, la quale permette la comunicazione non verbale. In particolare, i primi tre percorsi di ricerca fanno riferimento all'esecuzione di azioni, il quarto ed il quinto comprendono l'osservazione di azioni, mentre il sesto contiene meccanismi attivati da entrambe le componenti. Gli autori concludono enfatizzando l'importanza ricoperta da tutti questi elementi all'interno del campo della *embodied cognition*, suggerendo le innumerevoli possibili applicazioni pratiche di questi concetti al fine di migliorare l'efficacia dell'apprendimento (Castro-Alonso et al., 2024). Non vengono esplicitati specifici gruppi di età di riferimento, in quanto tali teorizzazioni sono rilevanti nel corso di tutta la vita nei diversi contesti. Tuttavia, partendo dal presupposto per cui l'intelligenza emerge dall'interazione tra un corpo (agente) ed un ambiente, e considerando che le esperienze precoci sono dettate dallo sviluppo dei sistemi sensoriali e motori (Smith & Gasser, 2005), è possibile affermare che questi processi affondano le loro radici nell'infanzia e nelle prime esperienze. Diventa quindi fondamentale, per la promozione di uno sviluppo flessibile, creativo ed esteso dell'intelligenza e della mente umana (incarnata), che un bambino possa esplorare l'ambiente fisico, sociale e linguistico all'interno del quale si trova in interazione (Rat-Fischer et al., 2024; Smith & Gasser, 2005).

In sintesi, è emersa la natura multidimensionale del sistema mente-corpo, la quale permette di rendere conto della varietà di approcci teorici e metodologici compresi nella prospettiva dell'*embodied cognition* (Johnson, 2006), ragion per cui diventa necessaria una collaborazione dialettica tra le diverse discipline al fine di esplorare sempre più affinemente l'emergere di questa conoscenza incarnata, fin dalle prime fasi di vita (Lux et al., 2021).

1.1.3 L'importanza della integrazione sensorimotoria nel corso dello sviluppo

Le attività sensorimotorie, promosse da una attiva esplorazione dell'ambiente, assumono un ruolo fondamentale sullo sviluppo neurale: infatti, l'esercizio di appropriate

contingenze sensorimotorie permette lo sviluppo dei circuiti neurali del sistema visivo e l'acquisizione delle abilità visuomotorie (Engel et al., 2013). Come enunciato precedentemente, numerose teorizzazioni – con diversi gradi di enfasi – hanno sottolineato l'importanza delle esperienze sensorimotorie sul processamento concettuale e linguistico degli adulti, anche ampliando il discorso ai sistemi emotivi. Wellsby & Pexman (2014) propongono la rilevanza che possa assumere una prospettiva focalizzata sull'intero arco di vita, ma in particolar modo sull'infanzia, andando ad esplorare in che modo i bambini utilizzano precocemente le informazioni di tipo sensorimotorio al fine di acquisire conoscenze sul mondo e sull'ambiente che li circonda. Nello specifico, focalizzandosi sulle attività riguardanti lo svolgimento di un'azione, sia da parte dell'infante stesso che attraverso l'osservazione dell'azione svolta da qualcun altro. Le principali origini di queste competenze sono da ricercare nella vita intrauterina, in quanto i movimenti osservati nel corso della vita neonatale sono presenti anche nella vita fetale (Craighero, 2024). Tuttavia, in seguito alla nascita, l'infante si trova a dover riorganizzare i propri movimenti in base alle caratteristiche del nuovo ambiente in cui si trova, in particolare quelli delle braccia. I neonati iniziano quindi ad esplorare attivamente nuove strategie di movimenti, a partire dalle informazioni visive, le quali necessitano di essere combinate con quelle propriocettive, in un graduale processo di integrazione sensorimotoria che permetta loro di interagire in modo efficace con l'ambiente circostante.

Le esperienze precoci sono estremamente multimodali (Smith & Gasser, 2005), derivanti innanzitutto dai sensi tattili, visivi, propriocettivi: le modalità tramite cui i diversi sistemi, correlati nel tempo, raccolgono informazioni dall'ambiente interagendo con esso, consente loro di “mapparsi” l'un l'altro e permette il graduale emergere di regolarità sempre più di alto livello, in un processo dinamico di un sistema in esplorazione attiva del contesto. Uno studio longitudinale (Bornstein et al., 2013) di 14 anni, su 374 bambini a partire dai 5 mesi di vita, ha dimostrato che le precoci competenze motorie in infanzia influenzano le successive abilità di funzionamento intellettuale nel corso dello sviluppo, predicendo i risultati accademici in adolescenza. Partendo dal presupposto per cui l'esplorazione e la conoscenza del mondo sono strettamente interconnessi, ne consegue che un infante con più sviluppate abilità motorie tenderà a spostarsi di più nel contesto, a ricercare e manipolare gli oggetti che esso offre, cercando maggiori

opportunità di stimolazioni percettive e cognitive, arrivando a comprendere di essere agente delle proprie azioni (Adolph & Hoch, 2019). Ma non solo: bambini con precoci competenze avanzate saranno anche più predisposti a ricercare maggiori condivisioni sociali e comunicative con l'ambiente. Se vi è un caregiver sensibile, pronto a cogliere i suoi segnali, allora verranno promossi scambi interattivi caratterizzati da attenzione condivisa, esposizione al linguaggio, attività motorie sempre più complesse, fornendo un adeguato scaffolding e supportando il bambino nei suoi progressi (Smith & Gasser, 2005). Con un effetto a cascata, tutti questi importantissimi momenti promuoveranno l'apprendimento del bambino nei vari domini, influenzando conseguentemente il rendimento scolastico anche nel corso dello sviluppo (Bornstein et al., 2013; Cadoret et al., 2018).

Un aspetto fondamentale di questo processo riguarda il fatto che, nel momento in cui gli infanti possono raggiungere un oggetto, significa che possono beneficiare di nuove esperienze ed opportunità a partire dai propri movimenti (Smith & Gasser, 2005): le possibilità di sviluppo risiedono in loro stessi, diventa però necessario incontrare un ambiente che promuova le loro predisposizioni intrinseche.

1.2 SVILUPPO MOTORIO E COGNITIVO

1.2.1 Il contributo delle Neuroscienze

In linea con quanto enunciato precedentemente, è possibile dunque affermare che lo sviluppo motorio è: incarnato (*embodied*), in quanto le opportunità di azione dipendono dalle caratteristiche fisiche del corpo dell'infante, che cambiano nel tempo; incorporato nell'ambiente (*embedded*), considerando il suo ruolo cruciale nel fornire e limitare le possibilità di movimento ed esplorazione di azione; inculturato (*enculturated*), ovvero modellato dalle pratiche sociali e culturali, e dalle interazioni con gli altri all'interno dello specifico contesto culturale; infine, esso è abilitante (*enabling*), in quanto nuove abilità motorie aprono nuove finestre per l'esplorazione e l'apprendimento, promuovendo a cascata lo sviluppo in vari domini psicologici (Adolph & Hoch, 2019). Pertanto, le abilità motorie sono fondamentali per l'intero sviluppo psicologico. In aggiunta, diventa importante adottare la prospettiva teorica dei sistemi dinamici, secondo cui un comportamento emerge come risultato dell'interazione delle caratteristiche (vincoli)

dell'individuo, dell'ambiente e del compito (Colombo-Dougovito, 2017; Turati & Valenza, 2022). In particolare, un'azione motoria è il risultato di processi di coordinazione tra diversi sistemi dinamici, quali il sistema nervoso, il corpo con le proprie caratteristiche biomeccaniche, e l'ambiente, in un gioco interattivo di continui feedback. Questo implica che i movimenti e le abilità motorie devono essere costantemente adattati alle nuove condizioni corporee (Adolph & Hoch, 2019).

Diventa quindi essenziale, a questo punto, citare il fondamentale contributo delle Neuroscienze nella considerazione del legame tra cognitivo e motorio, legame che si riflette in termini cerebrali (Rizzolatti et al., 2002). A partire dalla scoperta del Sistema dei Neuron Specchio – la quale ha evidenziato la presenza di particolari classificazioni di neuroni che rispondono sia durante l'osservazione di un'azione che durante lo svolgimento della stessa (Rizzolatti & Craighero, 2004) – si è enormemente ampliato il dibattito scientifico e le implicazioni della relazione esistente tra questi diversi aspetti. Jeannerod (2001) riporta che il sistema motorio cerebrale non si attiva soltanto durante lo svolgimento fisico di azioni, ma anche nel corso di processi cognitivi come immaginare di compiere azioni. Questo suggerisce che il nostro cervello utilizzerebbe un meccanismo di simulazione neurale per connettere pensieri ed azione, al fine di facilitare la preparazione all'azione e permettere una più profonda comprensione delle intenzioni altrui. Hatsopoulos e Suminski (2011) evidenziano l'importante ruolo della corteccia motoria primaria sia nel controllo motorio volontario che in risposta agli stimoli sensoriali, mettendo in luce l'eterogeneità delle sue risposte. Engel et al. (2013) riportano come lo sviluppo dei circuiti neurali – sia nel sistema visivo che in quello motorio – dipende fortemente dall'attiva esplorazione dell'ambiente. In particolare, specifiche azioni ripetute permettono lo sviluppo di particolari contingenze sensorimotorie, arrivando a strutturare l'architettura funzionale dei rispettivi circuiti neurali (Craighero, 2024). Hardwick et al. (2018) hanno effettuato un lavoro di revisione relativamente alle correlazioni neurali dell'azione e della simulazione motoria, considerando nello specifico: l'abilità di immaginare di svolgere un'azione (*motor imagery*), l'osservare azioni svolte da altre persone (*action observation*) e l'esecuzione di un'azione (*movement execution*). Sulla base della loro analisi, gli autori concludono che queste tre abilità sono associate all'attivazione di reti neurali simili, in quanto sono presenti delle sovrapposizioni nelle aree cerebrali attivate nel corso dell'esecuzione e della simulazione

di azioni, implicando che le stesse aree cerebrali possono essere coinvolte in processi cognitivi e motori. Nonostante ciò, presentano comunque delle differenze significative nel reclutamento delle aree corticali e subcorticali.

In conclusione, le Neuroscienze hanno permesso e permettono tuttora di mettere in luce l'importante legame tra i processi cognitivi e motori. Questa connessione suggerisce un meccanismo di simulazione neurale che possa facilitare la comprensione delle intenzioni altrui e promuovere un'efficace interazione con l'ambiente.

1.2.2 Influenza reciproca tra azioni motorie-esperienze fisiche e processi cognitivi nello sviluppo

L'acquisizione di posture motorie statiche (come sedersi e stare in piedi) e dinamiche (gattonare e camminare) favorisce l'esplorazione dell'ambiente, offrendo crescenti opportunità di apprendimento (Franchak, 2020). Questo processo influenza la cognizione spaziale, lo sviluppo della percezione, l'esplorazione visuo-motoria degli oggetti e, a cascata, lo sviluppo del linguaggio e della memoria spaziale. Ad esempio, l'abilità di sedersi autonomamente permette al bambino di avere le braccia libere, consentendogli di raggiungere ed afferrare gli oggetti presenti nel contesto (Harbourne & Berger, 2019; Turati & Valenza, 2022) e permettendogli di dedicare la sua attenzione all'esplorazione attiva dell'ambiente. Conseguentemente, incrementando i processi attentivi e percettivi e migliorando la comprensione. Tuttavia, il contrario è altrettanto vero, in quanto precoci ritardi nello sviluppo motorio sono generalmente associati a ritardi nella cognizione, riflettendosi anche in compiti visivi. Ad esempio, Harbourne & Berger (2019) riportano che infanti che non hanno ancora raggiunto l'abilità di sedersi autonomamente mostrano una durata maggiore di fissazione degli oggetti rispetto a bambini con sviluppo tipico, evidenziando un tempo più lungo necessario per processare informazioni visive durante lo svolgimento di un nuovo compito motorio. Craighero (2024) enfatizza il concetto di *reaffERENCE* (Jékely et al., 2021, in Craighero, 2024), secondo cui le azioni auto-iniziate e le loro conseguenze sensoriali sono fondamentali per lo sviluppo percettivo e motorio nei neonati, favorendo l'integrazione sensorimotoria. Lo stretto legame tra azione e percezione richiede non soltanto un accurato sviluppo motorio, ma anche una esperienza percettiva sufficiente. Da un punto di vista sia comportamentale che neuronale, afferrare

un oggetto o osservare qualcun altro afferrare tale oggetto vengono codificati ad un qualche livello simile. In aggiunta, bisogna considerare che gli oggetti stessi presentano delle specifiche proprietà, qualità (fisiche, ma non solo) che suggeriscono le possibili azioni appropriate per manipolarlo: queste *affordances* (Gibson, 1977, in Rosenbaum et al., 2012) sono dinamiche, nel senso che dipendono dal soggetto che vi interagisce, formando la percezione di ciò che è possibile fare con gli oggetti. Questo mette ulteriormente in luce, pertanto, l'importanza dell'ambiente e delle capacità del soggetto stesso nel determinare le possibilità di interazione e di comportamento.

Esplorando l'ambiente, gli infanti producono spontaneamente dei movimenti che rappresentano sia dei task che delle opportunità di apprendimento (Smith & Gasser, 2005). Inizialmente, le azioni tendono ad essere grossolane, instabili, prive di coerenza e di una precisa forma o direzione. Man mano che acquisiscono esperienza, i bambini, a partire dalla biomeccanica del proprio corpo, raggiungono l'oggetto desiderato (*reaching*), seppur casualmente. La ripetizione di questi momenti di contatto promuoverà una graduale acquisizione dei pattern motori, favorendo l'emergere di abilità motorie sempre più efficaci. Conseguentemente, il bambino svilupperà la capacità di afferrare l'oggetto (*grasping*) in modo sempre più rapido ed accurato (Craighero, 2024; Karl et al., 2019).

1.3 PIANIFICAZIONE MOTORIA

1.3.1 Pianificazione motoria ed i movimenti *reach to grasp*

La pianificazione motoria è un complesso processo che riguarda la capacità di prevedere ed organizzare le azioni motorie, selezionando un determinato movimento a partire da infinite possibilità, al fine di raggiungere l'obiettivo desiderato (Fuelscher et al., 2016). Per studiare il suo sviluppo, in infanzia viene generalmente valutato il *tool use*, ovvero la capacità dei bambini di utilizzare degli oggetti (strumenti) e agire sull'ambiente per raggiungere uno scopo. Questo implica il dover effettuare una scelta, in continua evoluzione, tra diverse azioni, apprendendo dagli errori fino a trovare la strategia più efficace (Comalli et al., 2016; Keen, 2011). Le intenzioni dei bambini, in particolare al di sotto dei tre anni, possono essere osservate e valutate considerando la specifica forma dell'azione intrapresa (ad esempio la tipologia di presa sull'oggetto) o considerando la

cinematica del movimento, come la sua velocità e precisione (Keen, 2011). A questo proposito, è stato osservato che infanti di 10 mesi mostrano dei comportamenti basati su un futuro stato degli eventi: infatti, essi aggiustano la cinematica del movimento, modificando la velocità di raggiungimento dell'oggetto sulla base dello scopo dell'azione. Ad esempio, mostrano un rallentamento quando devono svolgere un compito di precisione (infilare una palla in un tubo) rispetto ad un compito di non-precisione (lanciare la palla), pattern in linea con quanto riscontrato negli adulti (Claxton et al., 2003). Questo sembra dimostrare che già all'età di 10 mesi i bambini possiedano, ad un qualche livello, una rappresentazione del futuro stato degli eventi non immediatamente presente alla percezione.

L'efficienza del processo di pianificazione motoria aumenta all'aumentare dell'età e dell'esperienza (Fuelscher et al., 2016; Krajenbrink et al., 2020). Tale miglioramento sembrerebbe inoltre essere associato ad un perfezionamento nella capacità di rappresentare internamente le azioni (*motor imagery*), implicando che le due abilità seguano una traiettoria di sviluppo simile (Fuelscher et al., 2016). In aggiunta, il contesto ambientale e le opportunità che esso fornisce assumono un ruolo fondamentale nel potenziamento della pianificazione motoria (Keen, 2011). Ulteriore rilevanza assume l'espressione precoce e consistente della preferenza di una mano, in quanto essa è associata ad un precoce sviluppo di abilità motorie più sofisticate rispetto ai pari che non mostrano una preferenza (Michel et al., 2016). Infatti, acquisire la preferenza per una mano con maggiore pratica acquisita permetterebbe ai bambini di concentrarsi sulla presa, manipolazione e comprensione delle proprietà degli oggetti, abilità che si rifletterebbero successivamente – come evidenziato da studi longitudinali – da avanzamenti nello sviluppo cognitivo, ad esempio nel linguaggio espressivo e nella costruzione e gestione di oggetti.

Durante l'esecuzione di un'azione orientata al raggiungimento di un oggetto, gli infanti si dirigono verso di esso in maniera grossolana, modificando l'orientamento e la configurazione della propria presa solo dopo l'avvenuto contatto con il target, basandosi quindi sulle sue proprietà fisiche (Karl et al., 2019). Successivamente, indicativamente verso l'anno di età, la velocità e la direzione che caratterizzano i movimenti dei bambini iniziano a migliorare. Questo comporta che essi si dirigano verso il target desiderato adeguando la configurazione della mano sulla base dell'osservazione delle caratteristiche

immediatamente presenti (come la forma dell'oggetto), processo che prende il nome di pianificazione di primo ordine (Rosenbaum et al., 2012). Infine, la presa può essere adattata considerando le richieste dell'azione successiva, andando quindi oltre lo scopo immediato (Krajenbrink et al., 2020), e costituendo la pianificazione di secondo ordine. Karl et al. (2019) sottolineano che le differenze riscontrabili nella maturità di azioni *reach to grasp* nel corso dello sviluppo potrebbero essere connesse al fatto che le due componenti del movimento risponderebbero diversamente a fattori di tipo contestuale (come richieste di maggiore precisione). Questo comporterebbe un maggior affinamento di una rispetto all'altra.

Un indicatore di pianificazione motoria di secondo ordine, che comporta il possedere una rappresentazione interna e matura dell'azione, è l'effetto comfort dello stato finale (Krajenbrink et al., 2020).

1.4 EFFETTO COMFORT DELLO STATO FINALE

The End-State Comfort Effect (ESC) fa riferimento alla tendenza ad adottare una presa inizialmente scomoda con l'obiettivo di terminare in una posizione finale comoda ed efficace da un punto di vista biomeccanico (Fuelscher et al., 2016; Krajenbrink et al., 2020; Rosenbaum et al., 1990). Ad esempio, un bicchiere viene tipicamente preso con una presa con il pollice in su. Tuttavia, se il bicchiere viene posizionato in maniera capovolta, questo comporta fare una scelta: diventa infatti necessario iniziare la presa in modo scomodo ed inusuale, con il pollice in giù, affinché una volta effettuata la rotazione si termini la presa in modo comodo, con il pollice in alto (Comalli et al., 2016). Questo processo non è immediatamente presente alla percezione, ed è per questo motivo che la sua efficacia riflette un piano di sequenze di azioni con uno scopo preciso in mente. La presa iniziale e dello stato finale sono caratterizzate da una modulazione dinamica, contestuale e specifica in base all'oggetto (Rounis et al., 2017). Pereira et al. (2019), all'interno della loro rassegna, evidenziano come lo studio dello sviluppo della pianificazione motoria nell'infanzia sia piuttosto recente all'interno della ricerca scientifica: infatti, gli articoli inclusi nella review relativamente all'*end-state comfort effect*, secondo gli specifici criteri di inclusione richiesti, sono stati trovati solo a partire dal 1999.

1.4.1 L'ESC nel corso dello sviluppo

Andando ad esaminare come si sviluppa la pianificazione motoria di secondo ordine nel corso dell'infanzia, Weigelt & Schack (2010) hanno mostrato, tramite il *dowel placing task* (compito sperimentale che implica il dover raggiungere un tassello posizionato orizzontalmente e successivamente inserire una sua estremità in un disco bersaglio), un graduale miglioramento della pianificazione dell'effetto comfort dello stato finale in età prescolare, in particolare considerando un campione sperimentale dai 3 ai 5 anni. Questi risultati divergono da studi precedenti (e.g. Adalbjornsson et al., 2008), e gli autori riportano le seguenti possibili motivazioni: la considerazione di una traiettoria graduale dello sviluppo sensorimotorio, le dimensioni del campione, specifici requisiti di precisione e la complessità del compito. Inoltre, bisogna tenere a mente che un ridotto ESC analizzato in infanzia non significa necessariamente che essi abbiano ancora una pianificazione immatura (Krajenbrink et al., 2020), in quanto non solo le condizioni dei compiti potrebbero influenzare i risultati, ma anche il possibile utilizzo di strategie alternative, che in taluni casi potrebbero anche essere sub-ottimali (e.g. bambini con un probabile DCD, Fuelscher et al., 2016). Gli autori raccomandano quindi di fare attenzione nel corso dello studio di questo processo. In linea con i risultati precedentemente ottenuti, Knudsen et al. (2012) hanno invece utilizzato il *bar-transport task* e l'*overturned-glass task* in bambini dai 3 agli 8 anni, evidenziando un miglioramento all'aumentare dell'età nel primo compito, pattern riscontrato anche nel secondo compito ma con un effetto meno marcato. Gli autori hanno suggerito che questa differenza potesse essere riconducibile alla familiarità dei bambini con il bicchiere, mettendo quindi in luce il ruolo dell'esperienza pregressa. Krajenbrink et al. (2020) hanno invece fatto compiere il *hexagonal knob task* (HKT) a 311 bambini di età compresa tra 5-12 anni. In esso, veniva loro chiesto di ruotare un pomello – sfruttando la scelta implicita dell'effetto comfort dello stato finale – a partire da diverse angolazioni di difficoltà crescente (60°, 120°, 180°, 240°). Gli autori hanno riscontrato che la maggior parte dei bambini di tutte le età hanno completato correttamente i compiti più semplici, ma all'aumentare della difficoltà del compito (maggiore rotazione richiesta) si è evidenziato un aumento dei tempi di reazione e di movimento.

Comalli et al. (2016) riportano che la maggioranza della letteratura evidenzia come la performance dei bambini in età prescolare sia peggiore rispetto a bambini più grandi e agli adulti, considerando differenti possibili compiti di comfort dello stato finale. Questo implicherebbe che tale presa sarebbe osservabile a partire da circa i 3 anni e raggiungerebbe l'efficacia paragonabile a quella di un adulto intorno ai 12 anni (mentre altri autori affermano che in taluni compiti verrebbe raggiunta già a 9 anni, e.g. Stockel et al., 2011, in Comalli et al., 2016), tenendo in considerazione un forte sviluppo nell'età compresa tra i 5 e gli 8 anni. Tuttavia, gli autori mettono in risalto l'estrema variabilità infantile nell'esecuzione di compiti di questa tipologia, sia a livello interindividuale che intraindividuale, non dimostrando l'effetto in maniera consistente per tutti i trial richiesti. Non tenere in considerazione questa ampia variabilità potrebbe impedire di evidenziare adeguatamente le radici della pianificazione che si iniziano a mostrare in età prescolare (e ben prima, se pur attraverso modalità differenti). Infatti, è stata riscontrata la presenza di abilità di pianificazione di primo ordine a partire da circa il primo anno di vita, con diversi gradi di efficacia, sempre evidenziando un graduale miglioramento associato all'età. McCarty et al. (1999) hanno fornito un cucchiaino contenente del cibo ad un campione di bambini di 9, 14 e 19 mesi, andando a valutare come essi lo afferravano per raggiungere l'obiettivo desiderato. È emerso che a 9 mesi gli infanti tendevano ad adoperare la mano per cui mostravano una preferenza, spesso prendendo il cucchiaino tramite una presa scomoda, mentre a 19 si osservava una presa maggiormente strategica, in cui veniva considerata la posizione del cucchiaino prima di decidere come e con quale mano impostare l'azione. A 14 mesi, invece, si evidenziava una modalità intermedia, in cui gli infanti tendevano ad utilizzare la mano dominante ma effettuando correzioni, quando ritenute necessarie dopo aver preso il cucchiaino. Jovanovic & Schwarzer (2011) hanno similmente riscontrato la presenza di strategie di pianificazione a 19 mesi di vita, con un evidente miglioramento dai 3 anni. Wunsch et al. (2013) enfatizzano la presenza di molta varietà nella letteratura di riferimento, in cui talvolta le ricerche giungono a risultati discordanti. Questo potrebbe essere spiegato da diversi aspetti: in primis, la complessità del compito, che implica quanti step sono necessari per portare a termine un'azione, con l'idea che una maggiore complessità riduca le risorse cognitive disponibili per la messa in atto di strategie di pianificazione per l'ESC; i gradi di rotazione richiesti nell'esecuzione del compito; la precisione richiesta nello svolgimento del task; la

familiarità con l'oggetto ed il compito specifico, per cui una pianificazione più efficace sarebbe legata ad un maggiore livello di expertise in tale compito. In aggiunta, anche elementi quali la motivazione dei partecipanti e la procedura sperimentale in sé possono influenzare la prestazione motoria osservata, rendendo ulteriormente conto della eterogeneità dei risultati presenti in letteratura. Pereira et al. (2019) all'interno del loro lavoro di revisione, sottolineano quanto lo sviluppo della pianificazione motoria legato all'effetto comfort sia estremamente interconnesso allo sviluppo sensorimotorio, evidenziando ancora una volta lo stretto legame tra motorio e cognitivo. Tale abilità, per garantire l'esecuzione più efficiente di movimenti, richiede di rappresentare le diverse e complesse relazioni tra la mano, le proprietà fisiche dell'oggetto, le caratteristiche del proprio corpo e lo scopo dell'azione, considerando quindi sia la presa dello strumento che l'azione successiva necessaria al raggiungimento dell'obiettivo desiderato (Comalli et al., 2016). Schwarzer & Jovanovic (2024) sottolineano, però, che la questione relativa a come le esperienze motorie influenzano i processi di predizione rimane un tema aperto che necessita di approfondimento.

Perciò, diventa a questo punto fondamentale considerare il ruolo delle capacità predittive nello svolgimento di azioni dirette ad uno scopo.

1.5 ANTICIPAZIONE E COMPRESIONE DELLE AZIONI

1.5.1 Abilità predittive

L'abilità di generare predizioni, quindi di riuscire ad anticipare lo scopo dell'azione prima che essa venga compiuta, permette di dare una continuità agli eventi quotidiani, perciò di interagire efficacemente con l'ambiente circostante (Gredebäck & Falck-Ytter, 2015). I movimenti oculari predittivi sono coinvolti nello svolgimento delle proprie azioni quotidianamente, ma sono strettamente connessi anche all'osservazione di azioni dirette ad un scopo svolte dagli altri (Flanagan & Johansson, 2003). Nello studio di questi autori, i partecipanti hanno infatti mostrato programmi motori oculari simili durante l'esecuzione in prima persona e l'osservazione dello stesso compito. Questo implica che vi sia un meccanismo di risonanza tra il sistema motorio dell'osservatore e quello dell'esecutore, in linea con quanto precedentemente enunciato relativamente al sistema dei neuroni specchio (cfr. par. 1.2.1 ; Gallese et al., 1996).

1.5.2 Lo sviluppo delle abilità predittive in infanzia

Fin dalla nascita, gli infanti mostrano l'abilità di percepire ed estrarre regolarità statistiche dall'ambiente: inoltre, nel momento in cui le azioni osservate fanno parte del repertorio comportamentale del bambino, si verifica un potenziamento nell'acquisizione delle corrette inferenze percettive (Monroy et al., 2017; Schwarzer & Jovanovic, 2024; Valenza & Turati, 2019). Lo sviluppo delle abilità predittive visive è estremamente precoce (Gredebäck & Falck-Ytter, 2015; Gredebäck & Von Hofsten, 2004), è associato ad un graduale miglioramento con l'età ed è strettamente interconnesso con lo sviluppo motorio. Il raggiungimento di tappe motorie quali gattonare, il mantenere la posizione eretta e, soprattutto, il camminare, consente al bambino una maggiore esplorazione del contesto. Questo gli permette di raggiungere gli oggetti osservati e desiderati (Franchak, 2020) e promuove ricchi scambi interattivi con il caregiver. Grazie alla locomozione, gli elementi presenti nell'ambiente vengono visti da nuove e differenti prospettive. Con l'obiettivo di colmare il gap presente in letteratura relativo alla possibile influenza della locomozione sull'encoding visuo-spaziale, Gehb et al. (2023) hanno suddiviso un campione di 30 infanti di 6-7 mesi in tre condizioni (attiva, passiva e di controllo), valutando le loro abilità predittive pre- e post- training. Gli autori, contrariamente alle aspettative, hanno riscontrato un miglioramento nel *visual prediction task* solo da parte degli infanti appartenenti alla seconda condizione, in cui venivano passivamente mossi all'interno di un percorso mentre acquisivano le stesse informazioni visive del primo gruppo. Questo suggerirebbe innanzitutto che gli input visivi ottenuti tramite un'esperienza passiva di movimento potrebbero incrementare la predizione visiva; in secondo luogo, che in tale condizione i bambini si siano potuti concentrare sull'acquisizione di regolarità statistiche dall'ambiente, senza dover dividere la loro attenzione anche con lo svolgimento del compito motorio, come avvenuto nel gruppo locomozione attiva.

In generale, la letteratura scientifica riporta quanto le diverse esperienze motorie possano incrementare i modelli interni motori degli infanti, giocando quindi un ruolo nella generazione di conoscenza concettuale, a partire dalla quale le predizioni ed inferenze vengono formate e costantemente aggiornate (Elsner & Adam, 2021; Schwarzer & Jovanovic, 2024). Considerando il controllo motorio prospettico e le funzioni esecutive

negli infanti, Gottwald et al., (2016) suggeriscono che entrambi i processi si sviluppino a partire da una fonte comune orientata al controllo dell'azione. Nello specifico, gli autori hanno identificato delle correlazioni positive tra il controllo motorio prospettico e due delle tre principali componenti delle funzioni esecutive, quali la memoria di lavoro e l'inibizione. Sulla base di una prospettiva *embodied*, gli autori concludono con l'idea che lo sviluppo delle funzioni esecutive affondi le radici nel controllo motorio prospettico durante l'infanzia.

1.5.3 Lo studio delle abilità predittive in infanzia: eye-tracking e pupillometria

La ricerca scientifica sulla predizione in infanzia è meno avanzata rispetto agli studi nella popolazione adulta, in quanto vi sono diversi aspetti metodologici di cui tenere conto. Uno dei principali strumenti utilizzati per studiarla si basa sul paradigma della violazione dell'aspettativa (*Violation of Expectations, VOE*), in cui il bambino viene familiarizzato con un evento e successivamente viene presentato con altri eventi che potrebbero essere simili al precedente oppure violarlo in un aspetto fisico o concettuale (Jackson & Sirois, 2022). Maggiori tempi di fissazione da parte dell'infante sarebbero associati all'identificazione della violazione verificatasi, e rifletterebero dunque un suo tentativo di comprensione concettuale. Tuttavia, Zhang e Emberson, (2020), nel loro lavoro di revisione, riportano come questo paradigma non permetterebbe di indagare appieno tutte le sottocomponenti della predizione. Essi sottolineano invece come la pupillometria possa essere un valido e non invasivo strumento nella ricerca infantile. A questo proposito, bisogna innanzitutto considerare che le misure dei tempi di fissazione sono cumulative, pertanto diversi meccanismi di attenzione potrebbero portare allo stesso tempo totale di osservazione; invece, le misure della dimensione pupillare forniscono una variabile continua durante tutta la presentazione dello stimolo. Questo permette di indagare come la dilatazione della pupilla cambia nel tempo, consentendo quindi di visualizzare l'andamento temporale del processo di elaborazione delle informazioni (Hepach & Westermann, 2016). I cambiamenti pupillari possono essere categorizzati in tonici e fasici. I primi riguardano delle variazioni lente e sostenute del diametro pupillare, in quanto vengono raccolti continuamente nell'arco di lunghi periodi di tempo: essi tendono ad essere associati ad un comportamento esplorativo e ad un aumento nella distraibilità. I secondi, invece, fanno riferimento a delle variazioni rapide e transitorie del diametro

pupillare, manifestando una risposta più immediata della pupilla in risposta ad uno stimolo: questi sono associati all'attenzione focalizzata e all'ottimizzazione della performance in un compito (Zhang & Emberson, 2020).

La pupilla reagisce alla luminosità, restringendosi all'aumentare della luce presente nell'ambiente. Di conseguenza, diventa fondamentale impostare un adeguato setting sperimentale, facendo attenzione alla luminosità della stanza e dello schermo, ma anche degli stimoli presentati (Hepach & Westermann, 2016). Inoltre, essa viene modulata dalla cognizione, in particolare dalle variazioni in diretta nelle richieste del compito (*task evoked pupil response*, TEPR), con un aumento della dilatazione pupillare generalmente associato a maggiore sforzo cognitivo, oppure a sorpresa (Cheng et al., 2019). Nello studio di Krüger et al. (2020) un campione di bambini da 1 a 6 anni di vita e di adulti ha mostrato una reazione di sorpresa, evidenziando un aumento nella dilatazione pupillare, durante la visione di immagini di animali associate ad un suono non corrispondente (e.g. l'immagine di un cavallo associata al verso del muggire). Pertanto, la pupillometria permetterebbe di esplorare lo sviluppo delle abilità cognitive sia in quelli che gli autori definiscono "età buia" ("*dark ages*", 1-3 anni), che in infanzia e per tutto l'arco di vita, fornendo la possibilità di tracciare una traiettoria evolutiva e riempiendo il gap presente in letteratura. Zhang et al. (2019), con l'obiettivo di esplorare lo sviluppo delle abilità predittive, hanno utilizzato la pupillometria e modelli computazionali in infanti di 6 mesi e adulti tramite un task di apprendimento implicito di associazioni tra suoni ed immagini. Gli autori hanno riscontrato delle risposte pupillari (PDR) più ampie durante i trials che violavano le aspettative in entrambi i gruppi di età; in più, hanno messo in luce delle simili traiettorie di apprendimento, in quanto sia gli infanti che gli adulti hanno generato degli errori di predizione e li hanno sfruttati per aggiustare le proprie predizioni verso lo stimolo corretto. Questo suggerisce una continuità nello sviluppo dei processi predittivi.

Considerando inoltre che la pupillometria viene generalmente ottenuta tramite l'utilizzo di un eye-tracker, è possibile innanzitutto valorizzare la sua elevata risoluzione temporale; in secondo luogo, sfruttare la combinazione di differenti misure raccolte (e.g. i tempi di fissazione), permettendo di esplorare come i diversi processi cognitivi interagiscono nel corso di uno stesso compito (Laeng et al., 2012), ma anche come si sviluppano nei vari trial (Zhang & Emberson, 2020). Affinché si possa ottenere una

misurazione precisa della dimensione pupillare, è necessario che gli infanti rimangano tendenzialmente fermi: per questo motivo, viene consigliato l'utilizzo di stimoli che catturino e mantengano la loro attenzione sullo schermo (Hepach & Westermann, 2016).

In conclusione, sono emersi gli innumerevoli vantaggi nell'utilizzo della pupillometria e le opportunità che essa può offrire nello studio delle abilità cognitive in infanzia e nel corso dello sviluppo. È un campo di ricerca tuttora in crescita ed ampliamento: ad esempio l'implementazione di sempre più recenti avanzamenti nelle tecnologie eye-tracking ha anche permesso lo sviluppo di un eye-tracker mobile, il quale permette di misurare come la visione degli infanti cambia a seconda della postura adottata, considerando appieno l'attenzione visiva come un processo embodied (Franchak, 2020). Questo, alla luce del fatto che le abilità di percezione visiva non si limitano ai movimenti oculari, ma implicano la partecipazione di tutto il corpo (Quadrelli, 2022). Per la consultazione di linee guida e principi basilari da adoperare nella procedura di disegno di esperimenti con l'utilizzo della pupillometria, si può fare riferimento a Mathôt & Vilotjević (2022, p. 3073).

1.5.4 Modelli relativi alla comprensione delle azioni

Tutti gli elementi ed i processi *embodied* precedentemente enunciati sono estremamente importanti non solo nel miglioramento delle predizioni delle proprie azioni, ma anche nella comprensione delle azioni altrui (Schwarzer & Jovanovic, 2024). Durante l'osservazione di un'azione volta al raggiungimento di un oggetto, si anticipa ciò che accadrà spostando il proprio sguardo verso tale oggetto prima che venga afferrato dalla mano (Gredebäck & Falck-Ytter, 2015). Questa abilità richiama il coinvolgimento del sistema motorio, tuttavia sono presenti in letteratura due differenti ipotesi e correnti riguardo alla modalità tramite cui esso viene attivato ed in riferimento ai processi cognitivi di base (Quadrelli, 2022). La prima, denominata ipotesi della ricostruzione dell'azione (*reenactment account*), sostiene che la comprensione dell'azione preceda la sua predizione, ovvero che la codifica dello scopo preceda la simulazione motoria (Csibra, 2007, in Gredebäck & Falck-Ytter, 2015). Questo implica, pertanto, che il sistema motorio venga attivato tramite un processo top-down, ovvero che la comprensione delle azioni si basi su conoscenze pregresse e aspettative, portando alla

loro interpretazione tramite principi di razionalità. Secondo l'ipotesi della corrispondenza diretta (*direct-matching hypothesis*), invece, l'osservazione e previsione delle azioni altrui riflette la diretta ed automatica attivazione di un programma motorio, il quale racchiuderebbe la comprensione dello scopo dell'azione e lo spostamento dello sguardo verso di esso (Flanagan & Johansson, 2003). Quindi, un processo di tipo bottom-up, basato sulla simulazione incarnata, in cui avverrebbe una risonanza tra il proprio sistema motorio e l'azione osservata. "L'individuo che osserva può comprendere le azioni eseguite da altre persone poiché ne conosce l'esito quando lui stesso le compie." (Quadrelli, 2022, p. 79). Quadrelli (2022) propone la possibilità di adottare un approccio neurocostruttivista (Karmiloff-Smith, 1998; Valenza & Turati, 2019) che permetta di superare questa dicotomia. Secondo questa prospettiva teorica è infatti possibile considerare lo sviluppo come un processo dinamico ed interattivo di un sistema mente-corpo-cervello in relazione bidirezionale con l'ambiente. La comprensione e predizione delle azioni coinvolgerebbe quindi sia processi top-down che bottom-up, in una combinazione dinamica e flessibile di elementi di interpretazione delle azioni e di simulazione motoria diretta, con il coinvolgimento dei neuroni specchio (Gallese et al., 1996). Viene inoltre sottolineata l'importanza della plasticità neuronale e delle precoci esperienze visuomotorie: esse, secondo un principio di graduale specializzazione, assumerebbero un ruolo cruciale nello sviluppo dei meccanismi di risonanza motoria (Quadrelli, 2022).

1.5.5 Anticipazione e comprensione delle azioni

Alla luce di quanto enunciato precedentemente, è possibile affermare che la comprensione delle azioni non solo è strettamente interconnessa con il sistema motorio, ma affonda le radici in esso (Gredebäck & Falck-Ytter, 2015). Inoltre, è bene sottolineare quanto l'abilità di cogliere e predire gli obiettivi delle azioni altrui sia cruciale nel corso dello sviluppo (Gredebäck et al., 2009). Diverse ricerche hanno cercato di delineare la precocità di questa competenza, suggerendo che si sviluppi nel corso del primo anno di vita, ma ottenendo talvolta risultati discordanti.

Nello studio di Falck-Ytter et al. (2006), ad esempio, è emerso che bambini di 12 mesi, diversamente dagli infanti di 6 mesi, si focalizzano sullo scopo dell'azione allo stesso

modo degli adulti, mostrando una risposta anticipatoria. Risultati simili sono stati riscontrati da Gredebäck et al. (2009) in infanti di 14 mesi, le cui abilità di previsione sarebbero modulate dalla salienza dello scopo dell'azione. D'altra parte, Kochukhova e Gredebäck (2010) hanno evidenziato un comportamento di anticipazione già in infanti di 6 mesi durante la visione di normali azioni alimentari, in cui un cucchiaino viene manualmente portato alla bocca, comportamento assente nell'osservazione del cucchiaino che si muove da solo verso la bocca e nella visione dell'azione di pettinarsi. Questo pattern è stato riscontrato anche a 10 mesi, mentre l'anticipazione è stata mostrata dagli adulti. Gli autori hanno interpretato ciò enfatizzando il ruolo dell'esperienza personale sulla percezione e anticipazione delle azioni altrui. Daum e Gredebäck (2011) hanno messo in evidenza un graduale sviluppo della comprensione della direzionalità delle azioni dai 3 ai 7 mesi di età, in particolare a partire dai 5 mesi, coerentemente con l'acquisizione di tappe dello sviluppo motorio. Questo è stato mostrato quando l'azione era svolta da una mano umana, ma non da un artiglio meccanico. Un altro studio rilevante è quello di Cannon e Woodward (2012), i quali hanno dimostrato che a 11 mesi i bambini, dopo essere stati familiarizzati con una mano che afferrava un oggetto nella stessa posizione, si sono mostrati in grado di prevedere che essa avrebbe raggiunto tale obiettivo anche in una nuova posizione, mentre questo pattern risultava opposto quando era un artiglio a svolgere l'azione, in cui gli infanti perseveravano nell'osservazione della vecchia posizione. Un interessante studio di Ambrosini et al. (2013) ha cercato di spiegare i discordanti risultati presenti in letteratura considerando il graduale e variegato sviluppo delle abilità fino-motorie degli infanti. Evidenziando la forte associazione tra il saper produrre un'azione ed il saperla predire durante la sua osservazione, gli autori sottolineano come la capacità dei bambini di eseguire con precisione azioni di presa preveda il modo in cui essi utilizzano le informazioni visive per dirigere lo sguardo verso lo scopo dell'azione osservata.

Brandone et al. (2014) hanno approfondito la questione, esplorando le abilità predittive degli infanti in azioni che falliscono nel loro scopo. Dallo studio emerge che a 10 mesi (ma non a 8) essi non solo mostrano sguardi anticipatori verso il target dell'azione, se pur esso non venga raggiunto, ma sono anche in grado di aggiornare le loro aspettative in base alle informazioni acquisite man mano. Ganglmayer et al. (2019), considerando il contributo di Cannon e Woodward (2012) e lo studio di Daum et al. (Daum et al., 2012,

in Ganglmayer et al., 2019), hanno effettuato due studi in due laboratori differenti. Essi hanno riscontrato che bambini di 11,12 e 32 mesi mostrano anticipazione visiva basandosi sulla traiettoria precedente piuttosto che sullo scopo, ottenendo quindi risultati non in linea con Cannon e Woodward. Gli autori suggeriscono che gli infanti processino le azioni basandosi su regolarità statistiche ed informazioni visuo-spaziali. Jackson & Sirois (2022) hanno ampliato un loro precedente studio considerando, insieme ai tempi di fissazione, i dati di dilatazione pupillare. Hanno rilevato che infanti di 9 mesi, familiarizzati con eventi impossibili, mostrano durante la fase di test una reazione di sorpresa agli eventi possibili, con maggiori tempi di fissazione e maggiore dilatazione pupillare nel caso dell'oggetto familiarizzato con il colore familiare. Viene quindi, nuovamente, sottolineata l'importanza dell'apprendimento delle regolarità nella sequenza di apprendimento iniziale.

In sintesi, è emersa la complessità del costrutto delle abilità predittive (Zhang & Emberson, 2020), la quale ha spesso portato a risultati differenti nella letteratura scientifica. Tuttavia, un aspetto su cui tutti gli autori sembrano convergere è l'importanza dello sviluppo precoce dell'abilità di predire e comprendere le azioni. È importante sottolineare quanto la focalizzazione sull'obiettivo di un'azione sia formato da sottocomponenti e funzioni che variano nel corso di tutta la vita e a seconda del tipo di obiettivo considerato (Moersdorf et al., 2023).

1.6 CONCLUSIONI

All'interno di questo capitolo è stata dunque delineata la cornice teorica di riferimento su cui si basa la presente ricerca. A partire dalla esplicazione della prospettiva teorico-pratica della *embodied cognition*, è stato messo in risalto lo stretto legame esistente tra lo sviluppo cognitivo e quello motorio, con particolare enfasi sul ruolo delle esperienze senso-motorie. Successivamente, l'attenzione si è focalizzata sulla pianificazione motoria, evidenziandone il ruolo cruciale per un'interazione efficace con l'ambiente ed il raggiungimento degli obiettivi desiderati, tenendo in considerazione il fondamentale contributo delle Neuroscienze. In particolare, sono state considerate le azioni di presa (*reach to grasp*). Alla luce delle caratteristiche dell'attuale ricerca, è stato delineato l'effetto comfort dello stato finale, il quale implica la necessità di adoperare una postura

iniziale scomoda per garantire una presa finale comoda, ed il suo sviluppo in relazione all'età e all'esperienza motoria. Si è quindi giunti all'esplorazione del collegamento con le abilità di previsione e comprensione delle azioni, andando ad esaminare come esse siano legate allo sviluppo motorio e alla pianificazione. Sono stati messi in luce i vantaggi dell'utilizzo dell'eye-tracking e della pupillometria nello studio di tali abilità. Infine, si è cercato di fornire un panorama teorico sulle competenze di anticipazione e comprensione durante l'osservazione di azioni, tenendo in considerazione l'eterogeneità della letteratura sul loro precoce sviluppo.

2 CAPITOLO 2 - PROGETTO DI RICERCA ESTESO

2.1 Introduzione

Il presente lavoro di tesi fa parte di un progetto di ricerca che ha coinvolto diverse tesi. Nello specifico, l'attuale contributo costituisce il proseguo della tesi della Dott.ssa Frontino Laura (Frontino, 2024), insieme alla quale sono stati realizzati i filmati del compito attentivo, la raccolta e la codifica dei dati. Le analisi statistiche dei dati del progetto sono state condotte dalla Dott.ssa Calignano Giulia.

Il progetto consta di due compiti sperimentali: un compito esecutivo ed un compito attentivo, i quali sono stati analizzati singolarmente nella tesi della Dott.ssa Frontino. All'interno di questo capitolo verranno brevemente descritti i due compiti e verranno riportati i principali risultati ottenuti nella precedente tesi, a partire dai quali è stato progettato l'attuale lavoro di tesi. Nello specifico, la presente ricerca ha lo scopo di indagare la relazione tra gli aspetti motori e attentivi, ovvero mira a comprendere se le performance motorie dei partecipanti (compito esecutivo) modulano le loro strategie visuo-attentive quando viene loro richiesto di osservare le medesime azioni realizzate da adulti (compito attentivo).

La procedura sperimentale dell'intero progetto è stata approvata dal Comitato Etico della Ricerca Psicologica dell'Università di Padova con il protocollo 468-a.

Il progetto è stato presentato ed avviato presso gli Asili Nido afferenti alla Cooperativa Progetto Now, in convenzione con il BabyLab del DPSS dell'Università degli Studi di Padova. La partecipazione è avvenuta su base volontaria, coinvolgendo nello studio i bambini con il dovuto consenso dei genitori o dei tutori, tramite la firma dell'apposito modulo di consenso informato.

2.2 Compito esecutivo

2.2.1 Breve descrizione del compito e della procedura sperimentale

L'obiettivo della prima parte della ricerca è stato quello di indagare la performance motoria in bambini di età compresa tra 13 e 39 mesi tramite l'utilizzo di un compito di pianificazione motoria di crescente difficoltà. A tal fine, ci si è avvalsi di una versione semplificata e adattata all'età dell'*Overtuned Glass Task* di Adalbjornsson et al. (2008),

proposta ai bambini in modalità ludica dopo un iniziale momento di conoscenza. Sempre in presenza delle educatrici del nido, ad ogni partecipante è stato chiesto di prendere singolarmente un bicchiere ed una tazza in plastica, posizionati su un tavolino, al fine di simulare l'azione del bere. Nello specifico, entrambi gli oggetti sono stati presentati in modalità canonica e ruotati di 180°, andando a costituire quattro diverse condizioni di graduale difficoltà crescente (si veda Cap. 3 §3.2 e *Figura 6* per una descrizione dettagliata).

Al fine di analizzare la qualità dei movimenti anticipatori e di presa dell'oggetto messi in atto dai bambini nello svolgimento del compito, è stata utilizzata una scala di valutazione Likert, suddivisa in cinque livelli (si veda Cap. 3 §3.2 e *Tabella 1, Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4* per una descrizione dettagliata). In particolare, ogni punto della scala (1-5) permette di rappresentare numericamente la qualità dell'azione effettuata considerando la configurazione della mano nei diversi momenti dell'azione. Questo, tenendo conto delle abilità di pianificazione (cfr. Cap. 1 §1.3) e dell'effetto comfort dello stato finale (cfr. Cap. 1 §1.4), il quale implica la capacità di adottare una modalità di presa inizialmente scomoda per terminare con una presa finale comoda, come nel caso degli oggetti ruotati di 180°. I punteggi relativi alle prestazioni motorie dei bambini sono stati assegnati da due osservatrici indipendenti (io e la Dott.ssa Frontino) con un inter-rater reliability pari al 95.83%.

2.2.2 Domande di ricerca, ipotesi e risultati (Frontino, 2024)

Al compito esecutivo hanno preso parte 73 bambini, di cui 42 maschi e 31 femmine, con età compresa tra i 13 e i 39 mesi ($M = 26,18$; $DS = 6,764$). Dal campione iniziale, due bambini non sono stati testati a causa della loro ridotta disponibilità a partecipare all'esperimento.

Questo compito era volto ad indagare se l'età dei partecipanti e la difficoltà del compito (i.e. compito che richiede o meno una pianificazione) modulassero le performance motorie dei bambini. Ci si aspettava infatti che all'aumentare dell'età aumentassero i punteggi e quindi la qualità della performance motoria, e che all'aumentare della difficoltà del compito diminuisse la capacità di pianificazione motoria degli infanti.

In linea con quanto atteso, entrambe le ipotesi sono state confermate. Nelle figure successive sono riportati i grafici generati dalle analisi statistiche.

È stato quindi evidenziato, innanzitutto, come la performance motoria dei bambini (valutata tramite una scala Likert a 5 punti) sia predetta dalla loro età in mesi (*Figura 1*).

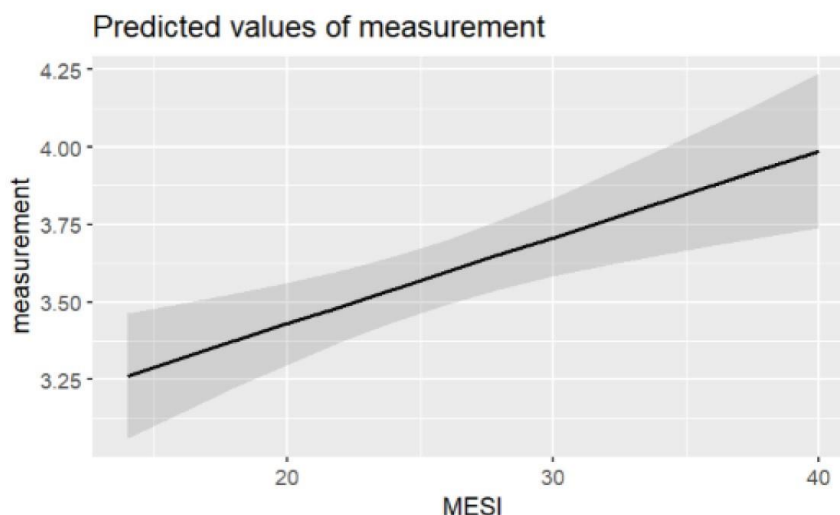


Figura 1: Analisi della relazione tra prestazione motoria (asse delle ordinate: punteggi ottenuti al compito esecutivo) ed età (asse delle ascisse: espressa in mesi). Fonte: Frontino, 2024.

Inoltre, è stata messa in luce una differenza statisticamente significativa tra le diverse condizioni del compito motorio, evidenziando una difficoltà crescente nelle quattro condizioni (*Figura 2*). Nello specifico, la prestazione alla prova della tazza posizionata in modalità canonica (TC) ha ottenuto i punteggi più alti, seguita dal bicchiere canonico (BC), dal bicchiere ruotato di 180° (BR), ed infine dalla tazza ruotata (TR), la condizione risultata meno assimilata dai bambini. Il fatto che la tazza in posizione canonica sia risultata la condizione con punteggi più alti può essere letto alla luce della familiarità che i bambini appartenenti ai nidi hanno con tale oggetto, adoperandolo quotidianamente. Assolvere il compito con gli oggetti ruotati di 180° è risultato quindi più complesso per i partecipanti. Infatti, per poter simulare l'azione del bere in tali condizioni diventa necessario prendere l'oggetto tramite una postura della mano inizialmente scomoda a favore di una conformazione finale comoda (Comalli et al., 2016).

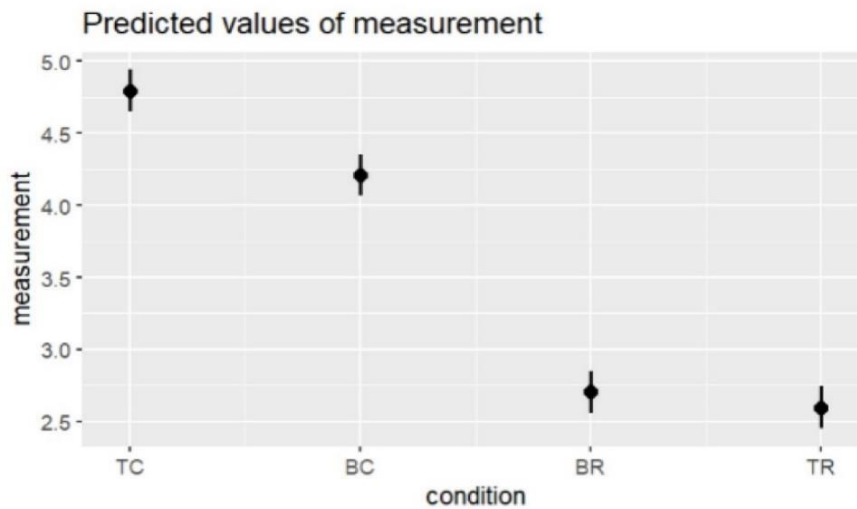


Figura 2: Analisi della relazione tra prestazione motoria (asse delle ordinate: punteggi ottenuti al compito esecutivo) e difficoltà del compito (asse delle ascisse: condizioni di presa, quali Tazza e Bicchieri, in posizione Canonica o Ruotata di 180°). Fonte: Frontino, 2024.

2.3 Compito attentivo

2.3.1 Breve descrizione del compito e della procedura sperimentale

La seconda parte della ricerca ha avuto l'obiettivo di analizzare l'abilità di anticipazione visiva di movimenti di raggiungimento e presa di oggetti (*reach to grasp*) negli stessi bambini che hanno partecipato al compito esecutivo. È stato loro presentato un filmato che ripropone le stesse azioni valutate nel compito esecutivo, compiute da un adulto. Tramite l'utilizzo di un eye-tracker, si sono misurate le variazioni della dilatazione pupillare nel corso del compito attentivo ed il tracciamento oculare. Questo compito sperimentale, come da procedura, ha seguito il compito motorio, ed è stato svolto sempre in presenza di un'educatrice affinché i bambini potessero sentirsi a loro agio. Si veda Cap.3 §3.3 per una descrizione dettagliata.

2.3.2 Domande di ricerca, ipotesi e risultati (Frontino, 2024)

In questo paragrafo verranno presentati unicamente gli obiettivi, le ipotesi ed i risultati a partire dai quali ha preso origine il presente lavoro di tesi.

Al compito attentivo hanno preso parte 62 bambini, che in precedenza avevano partecipato al compito esecutivo. Dal campione iniziale sono stati esclusi sette bambini a

causa di una scarsa disponibilità a partecipare anche a questo compito sperimentale, e quattro a causa di inadeguata calibrazione.

Tale compito mirava ad esplorare possibili comportamenti visivi anticipatori. In particolare, si è indagato se la direzione dello sguardo si orientasse sul target (bicchiere o tazza) prima che la mano lo raggiungesse. Sono state pertanto analizzate le coordinate del Gaze point Y, ovvero la posizione dello sguardo verticale, in relazione all'asse delle ordinate. Le Aree di Interesse (AOI) considerate sono state: il volto dell'attrice che indicava con la direzione degli occhi la posizione del target dell'azione, il target (bicchiere o tazza) e la posizione della mano dell'attrice durante l'esecuzione dell'azione.

I risultati hanno permesso di mettere in luce che i bambini dimostrano comportamenti anticipatori visivi, dirigendo lo sguardo verso l'oggetto target prima che la mano lo raggiunga (intorno ai 1000 ms). Nello specifico, durante l'esecuzione corretta (*Figura 3*), lo sguardo dei bambini inizialmente si concentra sulla mano, sia per l'oggetto in posizione canonica che capovolta. Durante l'esecuzione scorretta (*Figura 4*), invece, i comportamenti anticipatori dei bambini sono meno omogenei e risultano modulati dal tipo di rotazione dell'oggetto (0° o 180°).

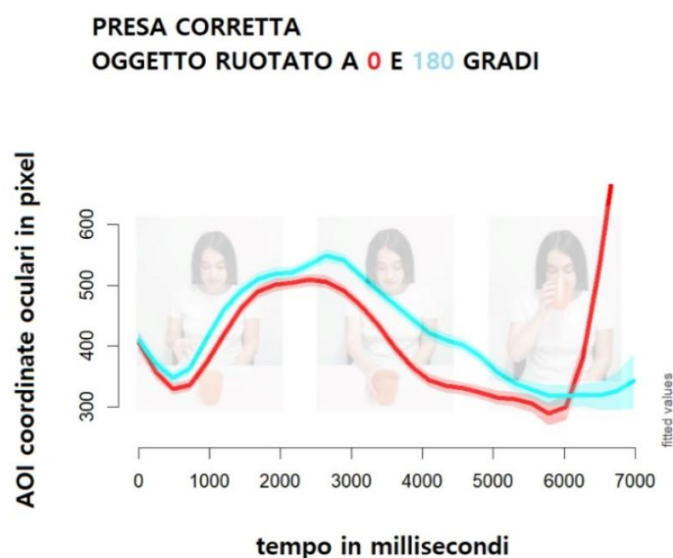


Figura 3: Analisi del tracciamento oculare in relazione alla rotazione dell'oggetto, condizione di presa corretta. Fonte: Frontino, 2024.

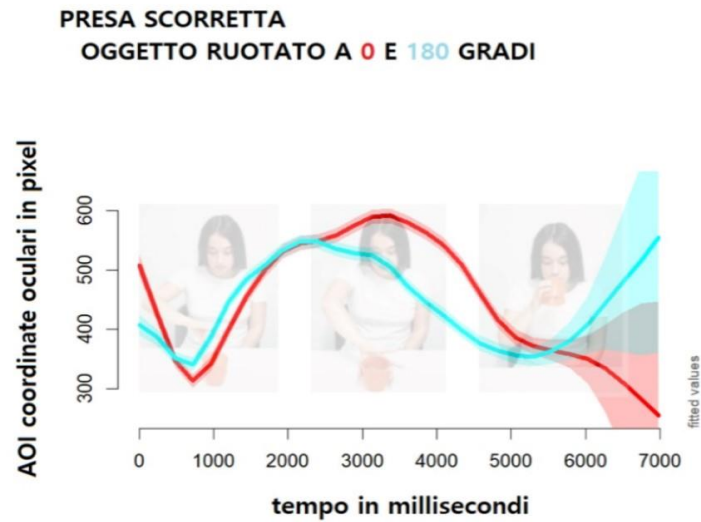


Figura 4: Analisi del tracciamento oculare in relazione alla rotazione dell'oggetto, condizione di presa corretta. Fonte: Frontino, 2024.

Inoltre, il compito attentivo indagava se lo sforzo cognitivo, misurato attraverso la dilatazione pupillare, fosse modulato dalla visione di prese corrette o scorrette. Ci si aspettava infatti che la dilatazione pupillare aumentasse quando le prese vengono eseguite in maniera errata, perciò senza alcuna pianificazione.

I risultati confermano tale ipotesi, evidenziando un aumento significativo della dilatazione pupillare per la condizione di presa scorretta rispetto a quella corretta, dimostrando quindi l'ipotesi di partenza. Questo potrebbe implicare un maggiore sforzo cognitivo associato all'osservazione di azioni di presa svolte scorrettamente.

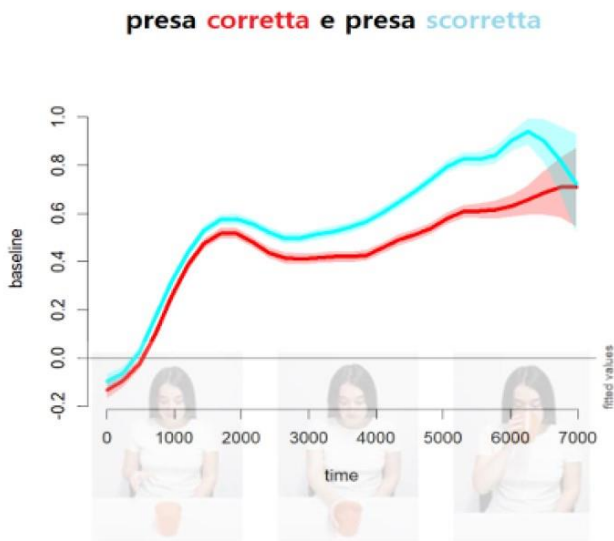


Figura 5: Analisi della dilatazione pupillare in relazione alla modalità di presa. Nell'asse delle ascisse, il tempo del filmato in ms. Nell'asse delle ordinate, la dilatazione pupillare in mm. Fonte: Frontino, 2024

2.4 Conclusioni e questioni aperte

All'interno di questo capitolo sono stati riportati i risultati preliminari al mio studio, in cui sono stati indagati gli aspetti motori ed attentivi in maniera separata, coprendo quindi i primi due obiettivi del progetto di ricerca esteso.

Per quanto riguarda i risultati del compito motorio, essi hanno messo in luce due aspetti: innanzitutto, un aumento della prestazione motoria all'aumentare dell'età dei bambini espressa in mesi; inoltre, una prestazione motoria inferiore nella condizione dell'oggetto ruotato di 180°. Questi risultati sono in linea con la letteratura teorica di riferimento secondo cui l'efficienza del processo di pianificazione motoria aumenta all'aumentare dell'età e dell'esperienza, in particolar modo in riferimento all'effetto comfort dello stato finale (Krajenbrink et al., 2020). Esso implica infatti l'abilità di cogliere le complesse relazioni esistenti tra la propria mano, le caratteristiche fisiche dell'oggetto e lo scopo dell'azione (Comalli et al., 2016; Pereira et al., 2019).

Per quanto concerne i risultati del compito attentivo, è stata evidenziata la capacità di anticipazione visiva (cfr Cap. 1 §1.5): i bambini, infatti, orientano il proprio sguardo verso il target prima che la mano lo raggiunga. In relazione alla pupillometria, è stato dimostrato un aumento della dilatazione pupillare durante l'osservazione di prese scorrette rispetto alle corrette.

A partire da questi dati si è voluto indagare se le prestazioni motorie e attentive nei due compiti, finora analizzate separatamente, fossero relate l'una all'altra. Più precisamente, a partire da quanto precedentemente riportato ed in considerazione del legame descritto in letteratura tra gli aspetti cognitivi e motori, quindi tra l'abilità di anticipazione e comprensione delle azioni e l'esecuzione delle stesse (Gredebäck & Falck-Ytter, 2015; Schwarzer & Jovanovic, 2024; Valenza & Turati, 2019), la presente tesi si pone l'obiettivo di indagare tale legame in relazione ai due compiti, andando perciò a coprire il terzo obiettivo del progetto esteso. Nello specifico, è volta ad esplorare se la performance al compito attentivo durante la visione di presa di oggetti ruotati di 180° è modulata dall'esperienza motoria dei bambini, ovvero dalla loro capacità o meno di pianificare un'azione motoria che richieda un effetto comfort allo stato finale.

3 CAPITOLO 3 – IL CONTRIBUTO DELLA PRESENTE TESI

3.1 LA PRESENTE RICERCA: Introduzione

L'obiettivo della presente tesi riguarda l'esplorazione della relazione tra la performance motoria mostrata dai bambini al compito esecutivo e la loro performance attentiva al compito visivo. In particolare, ciò è stato indagato considerando solamente le condizioni del target ruotato di 180°, sia nel compito esecutivo (bicchiere ruotato e tazza ruotata) che nel compito attentivo (visione di presa di oggetti ruotati di 180°).

Con l'obiettivo di fornire una più chiara comprensione della procedura sperimentale, di seguito verrà ripresa ed ampliata la descrizione, dei due compiti utilizzati.

3.2 COMPITO ESECUTIVO: Procedura e disegno sperimentale

Al fine di analizzare la performance di bambini in età compresa tra i 13 ed i 39 mesi di età in un compito di pianificazione motoria di difficoltà crescente, è stata utilizzata una versione semplificata e adattata all'età dell'*Overtuned Glass Task* (Adalbjornsson et al., 2008). Similmente allo studio di Venturini (2021), si è ritenuta opportuna l'aggiunta di una tazza alla procedura sperimentale classica, al fine di indagare le azioni di raggiungimento-e-presa e l'effetto comfort dello stato finale messi in atto dai bambini con oggetti che richiedono sia una prensione palmare che a tenaglia.

In seguito ad un iniziale momento conoscitivo, e sempre in presenza delle educatrici dei nidi per favorire un clima tranquillo e familiare, ai bambini è stato richiesto di prendere un bicchiere ed una tazza, in plastica dura, vuoti, posizionati su un tavolino di fronte a loro, con l'obiettivo di simulare l'azione del bere. Nello specifico, entrambi gli oggetti sono stati presentati, uno alla volta, in modalità canonica e ruotati di 180°, proponendo dunque quattro diverse condizioni di difficoltà gradualmente crescente (*Figura 6*):

- a. Bicchiere in modalità canonica
- b. Bicchiere ruotato di 180°
- c. Tazza in modalità canonica
- d. Tazza ruotata di 180°

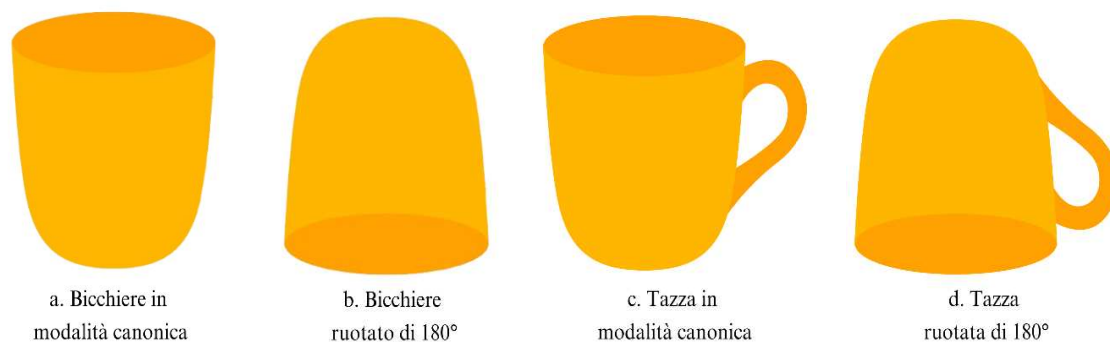


Figura 6: Condizioni presentate nel compito esecutivo di difficoltà gradualmente crescente.

Al fine di analizzare la qualità dei movimenti anticipatori e di presa dell'oggetto messi in atto dai bambini nello svolgimento del compito, è stata utilizzata una scala di valutazione Likert, suddivisa in cinque livelli. In particolare, ogni punto della scala (1-5) permette di rappresentare numericamente la qualità dell'azione effettuata considerando la configurazione della mano nei diversi momenti dell'azione. Infatti, con l'obiettivo di cogliere le diverse caratteristiche dei movimenti *reach to grasp* dei bambini, si è deciso di considerare nella valutazione sia la configurazione della mano (in termini di qualità della pianificazione) sia la modalità della presa finale. Questo approccio è stato adottato per ottimizzare la raccolta dei dati e consentire l'analisi di una possibile correlazione tra la qualità delle abilità di presa ed altre variabili numeriche. I punteggi relativi alle prestazioni motorie dei bambini sono stati assegnati da due osservatrici indipendenti (io e la Dott.ssa Frontino) con inter-rater reliability pari al 95.83%.

Di seguito vengono presentate le griglie di valutazione utilizzate per le quattro diverse condizioni (*Tabella 1; Tabella 2; Tabella 3; Tabella 4*).

BICCHIERE CANONICO	Pianificazione	Presa finale
1	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	Non effettua una presa adattiva e non modifica tale presa in funzione dei feedback tattili
2	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	In seguito a feedback tattili, adatta il tentativo di presa

3	Pianifica avviando il movimento con una presa palmare oppure a C	Afferra il bicchiere da una porzione non adattiva allo scopo di bere e dopo feedback tattili, adatta presa
4	Pianifica avviando il movimento con presa palmare oppure presa a C	Afferra una porzione limitata del bicchiere
5	Pianifica avviando il movimento con presa a C	Posizione centrale della mano sul bicchiere

Tabella 1: Scala di valutazione Likert per la condizione BICCHIERE CANONICO.

BICCHIERE RUOTATO	Pianificazione	Presa finale
1	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	Non effettua una presa adattiva, manca la rotazione e non modifica tale presa in funzione dei feedback tattili
2	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	In seguito a feedback tattili, adatta il tentativo di presa ma senza la rotazione del bicchiere necessaria allo scopo di bere
3	Pianifica la presa che non è del tutto adattiva ma in cui vi è rotazione polso (condizione di discomfort)	Presa della mano su una porzione non adattiva dell'oggetto che viene modificata e adattata dopo feedback tattili
4	Pianifica avviando il movimento con presa a C e polso ruotato (condizione di discomfort)	Afferra il bicchiere con posizione limitata e non centrale della mano sull'oggetto ma con rotazione del bicchiere per giungere ad un comfort dello stato finale
5	Pianifica avviando il movimento con presa a C e polso ruotato (condizione di discomfort)	Afferra il bicchiere con posizione centrale della mano e rotazione del bicchiere per giungere ad un comfort dello stato finale

Tabella 2: Scala di valutazione Likert per la condizione BICCHIERE RUOTATO.

TAZZA CANONICA	Pianificazione	Presa finale
1	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	Non effettua una presa adattiva, manca la rotazione e non modifica tale presa in funzione dei feedback tattili

2	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	In seguito a feedback tattili adatta il tentativo di presa
3	Pianifica avviando il movimento con una presa palmare o a C	Afferra una porzione limitata dell'oggetto, non il manico
4	Pianifica avviando il movimento con una presa a pinza	Afferra una porzione limitata del manico
5	Pianifica avviando il movimento con una presa a pinza	Afferra il manico

Tabella 3: Scala di valutazione Likert per la condizione TAZZA CANONICA.

TAZZA RUOTATA	Pianificazione	Presa finale
1	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	Non effettua una presa adattiva, manca la rotazione e non modifica tale presa in funzione dei feedback tattili
2	NON pianifica il movimento, la mano parte per afferrare senza una posizione che anticipi la presa	In seguito a feedback tattili, adatta il tentativo di presa ma senza una rotazione della tazza allo scopo di bere
3	Pianifica avviando il movimento con una presa palmare o a C e ruotando il polso	Afferra la tazza da una porzione limitata dell'oggetto che viene ruotato
4	Pianifica avviando il movimento con una presa a pinza e ruotando il polso (condizione di discomfort)	Afferra una porzione limitata del manico e ruota la tazza per giungere ad un comfort dello stato finale
5	Pianifica avviando il movimento con una presa a pinza e ruotando il polso (condizione di discomfort)	Afferra il manico e ruota la tazza per giungere ad un comfort dello stato finale

Tabella 4: Scala di valutazione Likert per la condizione TAZZA RUOTATA.

I compiti sono sempre stati proposti in modalità ludica e coinvolgente, e sono stati svolti nell'arco della mattinata (indicativamente dalle 9:30 alle 11:00), in un periodo abituale per i bambini per lo svolgimento di attività. A seconda della disponibilità e collaborazione del bambino, l'esecuzione di questo compito ha avuto una durata media di 10/15 minuti per ogni partecipante.

3.2.1 Stimoli e materiali

Per quanto riguarda le caratteristiche degli stimoli, sono stati utilizzati un bicchiere (diametro superiore = 8,02 cm, diametro inferiore = 5,02 cm, altezza = 9,03 cm) ed una tazza (diametro superiore = 8,00 cm, diametro inferiore = 8,00 cm, altezza = 9,03 cm), entrambi di plastica dura di colore arancione (*Figura 7*). Le diverse condizioni sono state presentate, una per volta, su un tavolino la cui altezza è compresa tra 39 e 41 cm, conformemente alla normativa europea UNI EN. 1729, che regola il materiale scolastico destinato a bambini con un'altezza compresa tra 80 e 95 cm.

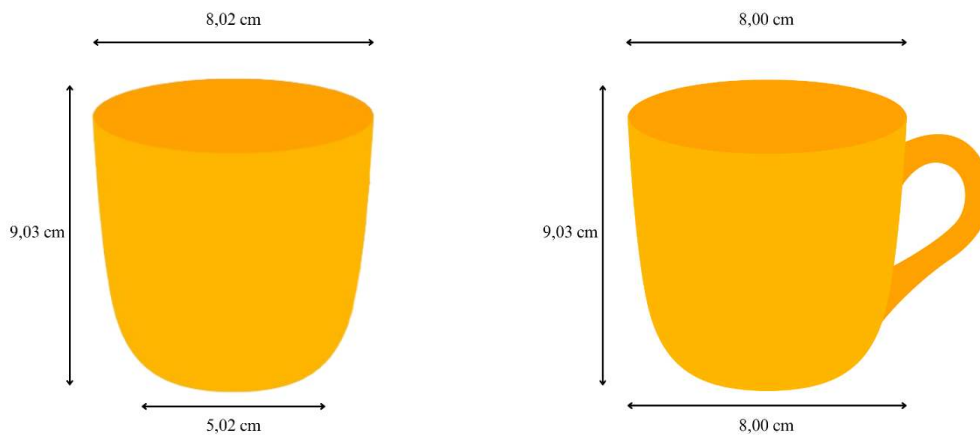


Figura 7: Descrizione della tazza e del bicchiere utilizzati per il compito esecutivo.

3.3 COMPITO ATTENTIVO: Procedura e disegno sperimentale

Al fine di analizzare le abilità di anticipazione visiva di azioni di presa in bambini tra 13 e 39 mesi di età, è stata loro proposta la visione di un filmato composto da diverse azioni di raggiungimento e presa di oggetti (*reach to grasp*), in particolare una tazza ed un bicchiere (gli stessi adoperati nel compito esecutivo). Nello specifico, veniva presentata l'esecuzione di tali azioni da parte di due differenti attrici, simulando infine l'azione del bere. I movimenti potevano essere eseguiti in maniera adattiva o disadattiva e, come nel compito esecutivo, gli oggetti visionati potevano essere posizionati in modalità canonica oppure ruotata di 180°. È stato utilizzato un eye-tracker, strumento comunemente adoperato nella ricerca infantile (cfr Cap. 1 §1.5.3), al fine di tracciare i movimenti oculari e cogliere le modificazioni della pupilla nel corso del compito attentivo, indagando perciò quali informazioni catturano maggiormente l'attenzione del partecipante.

Questo compito sperimentale, come da procedura, ha seguito il compito motorio, ed è stato eseguito in un ambiente estremamente familiare per i bambini, ovvero all'interno delle stanze dei nidi quotidianamente da loro frequentate, appositamente attrezzate per la visione del filmato. Con l'accompagnamento di un'educatrice, i partecipanti sono stati posizionati su un seggiolino, posto di fronte allo schermo su cui sarebbe stato mostrato il filmato. L'educatrice è sempre rimasta presente e poteva liberamente intervenire qualora il bambino mostrasse segni di stanchezza o disagio. In queste occasioni, è stato talvolta più efficace far visionare il filmato sulle ginocchia dell'educatrice, posizionata su una sedia alla medesima distanza dallo schermo. Per non inficiare la prova e la registrazione dei movimenti oculari del solo bambino, le è stata fatta indossare una mascherina. In assenza di collaborazione a partecipare da parte del bambino, il compito è stato interrotto e riproposto solo nel caso di maggiore disponibilità e collaborazione da parte dello stesso. In base a questi elementi, lo svolgimento di questa prova ha avuto una durata media di circa 15 minuti per ogni partecipante.

3.3.1 Stimoli e materiali

In riferimento alle caratteristiche del filmato visionato dai bambini, i video delle azioni mostrate variavano per la tipologia dell'oggetto presente (bicchiere o tazza), per la modalità di presentazione (canonica o ruotata di 180°) e per la correttezza o meno della presa, andando a formare otto scene, eseguite da due differenti attrici al fine di ottenere una maggiore variabilità, costituendo quindi un totale di sedici condizioni, presentate in maniera randomica (*Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11*).

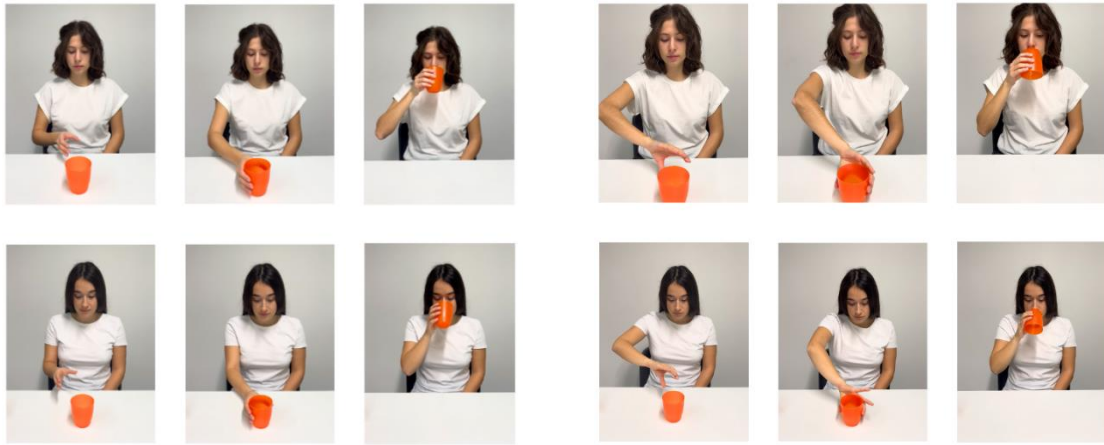


Figura 8: Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) del bicchiere in modalità canonica.

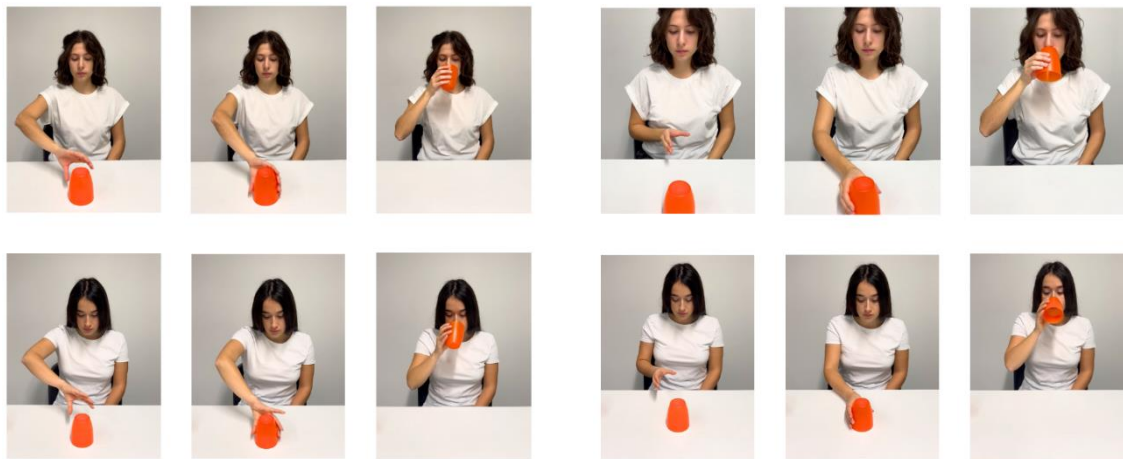


Figura 9: Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) del bicchiere ruotato di 180°.

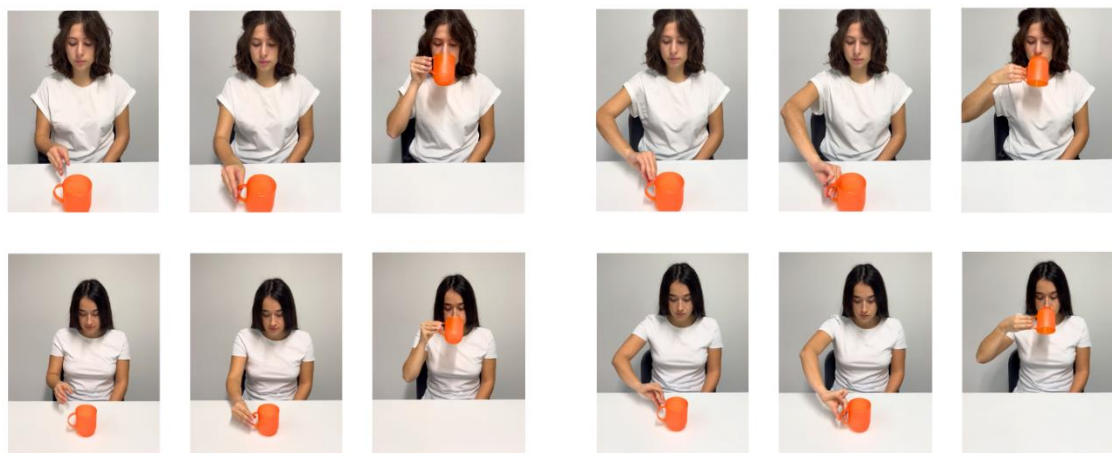


Figura 10: Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) della tazza in modalità canonica.

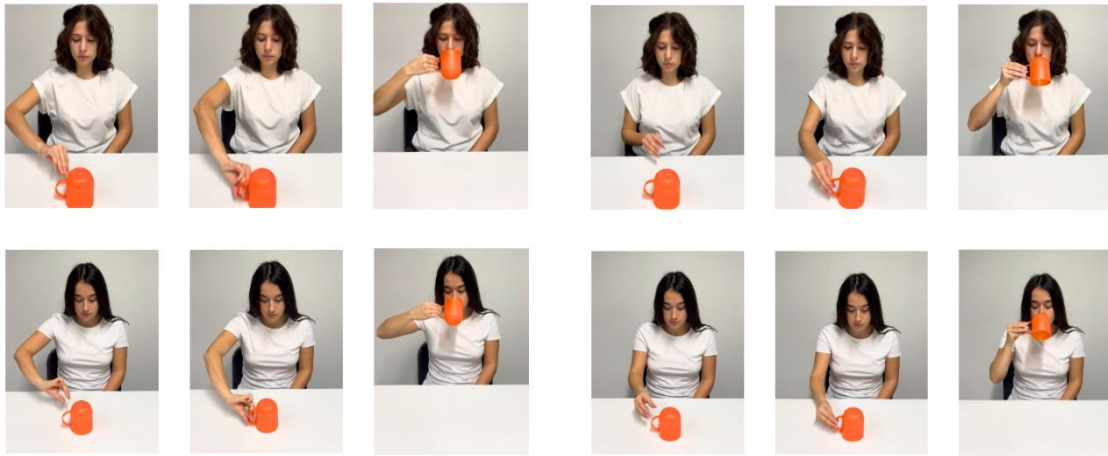


Figura 11: Presa corretta (a sinistra) e scorretta (a destra) della tazza ruotata di 180°.

Tali differenti condizioni di presa sono state presentate intervallate, all'interno del filmato, da scene della stessa durata tratte da un cartone animato adatto all'età ("*Hey Duggee: Le migliori avventure all'aperto*"), al fine di mantenere attiva l'attenzione dei bambini sullo schermo. Coerentemente, esse sono state mantenute con l'audio originale, mentre le azioni eseguite dalle attrici sono state mostrate in assenza di suoni. Ogni scena facente parte della sequenza aveva una durata media di sei secondi, andando quindi a formare un video totale composto da sedici azioni di presa e sedici ritagli del cartone animato. Complessivamente, il filmato aveva pertanto una durata di 3'40" ed è stato presentato tramite il programma *OpenSesame* nella versione 3.3.12.

Per quanto riguarda la preparazione dell'ambiente in cui si svolgeva il compito attentivo, è stato necessario oscurarlo ed utilizzare una lampada con intensità regolabile per garantire una luce costante durante ogni somministrazione ed in ogni spazio utilizzato a seconda della disponibilità dei diversi nidi. Questo, al fine di favorire un'adeguata raccolta del diametro pupillare tramite l'eye tracker.

Il video è stato presentato su un Monitor Philips di dimensione di 24", appoggiato sopra un tavolo mobile. Ogni partecipante è stato accomodato sul seggiolino adatto all'età e regolabile in altezza, posto ad una distanza di circa 60 cm dal monitor. Il monitor è stato regolato in altezza ed orizzontalmente per adattarlo alla posizione dello sguardo del bambino, favorendo così una calibrazione ottimale dell'eye-tracker. Allo schermo è stato

collegato l'Eye-Tracker Tobii X2-60, con frequenza di campionamento di 60 Hz. È stata impiegata una calibrazione a cinque punti: un personaggio animato è comparso in cinque punti specifici dello schermo, in particolare ai quattro angoli e al centro, ed il bambino veniva incoraggiato a seguirlo. Una volta ottenuta un'adeguata calibrazione, si procedeva con l'avvio del filmato. Le casse utilizzate per la riproduzione dell'audio nei momenti di visione del cartone animato erano gli speaker Logitech X-120. L'inizio della procedura e della raccolta dei dati eye-tracker sono avvenuti tramite il pc Acer TravelMate 5772. Nello specifico, è stata adottata una procedura di pseudonimizzazione per garantire che i dati raccolti non fossero direttamente riconducibili all'identità dei partecipanti: infatti, ad ognuno di essi è stato progressivamente assegnato un codice identificativo.

3.4 STUDIO SPERIMENTALE: COMPITO ESECUTIVO E ATTENTIVO A CONFRONTO

Sono stati inclusi nell'attuale ricerca solo i bambini che hanno partecipato ad entrambi i compiti sperimentali (esecutivo ed attentivo). Inoltre, sono state considerate esclusivamente le condizioni degli oggetti ruotati di 180°, sia in riferimento al compito motorio (*Figura 6*: condizioni b. e d.) che a quello visivo (*Figura 9*, *Figura 11*). Il campione finale, perciò, è costituito da 60 bambini, di cui 35 maschi e 25 femmine. La loro età è compresa tra 13 e 39 mesi ($M = 26,01$, $DS = 6,51$). Il campione è stato suddiviso in base ai punteggi ottenuti tramite la scala Likert (1-5) nel compito esecutivo nelle condizioni di presa del bicchiere e della tazza ruotati di 180° (rispettivamente, BR e TR).

BR	N. BAMBINI	TR	N. BAMBINI
1	1	1	1
2	20	2	26
3	36	3	30
4	3	4	1
5	0	5	2

Tabella 5: Numero di bambini per ciascun punteggio ottenuto al compito esecutivo nella condizione bicchiere ruotato (BR) e tazza ruotata (TR).

Come si può notare, la maggior parte dei bambini ottiene un punteggio di 3, il quale nella scala Likert considerata (si veda *Tabella 1; Tabella 2; Tabella 3; Tabella 4*) corrisponde ad un movimento di raggiungimento caratterizzato da parziale pianificazione ed una successiva rotazione se pur in maniera non pienamente pianificata. Pertanto, il campione in oggetto è costituito da bambini che si trovano nel periodo di acquisizione della pianificazione motoria, in linea con quanto atteso per l'età considerata. Quasi tutti gli altri partecipanti ottengono invece un punteggio di 2, corrispondente all'assenza di pianificazione e di rotazione.

Sulla base della distribuzione dei punteggi conseguiti, sono stati ottenuti due gruppi che differiscono per l'assenza o per la presenza della capacità di pianificare (rotazione dell'oggetto) in base all'effetto comfort dello stato finale.

- a. Gruppo 1: assenza di pianificazione (comprendente i bambini con punteggi 1 e 2).
- b. Gruppo 2: presenza di pianificazione (comprendente i bambini con punteggi 3, 4 e 5).

	BR		TR
Gruppo 1	21	Gruppo 1	27
Gruppo 2	39	Gruppo 2	33

Tabella 6: Gruppo 1 (assenza di pianificazione) e gruppo 2 (pianificazione) in base alla condizione bicchiere ruotato (BR) e tazza ruotata (TR) al compito esecutivo.

È opportuno sottolineare come la maggior parte dei bambini facente parte del gruppo 2 (pianificazione) ha ottenuto un punteggio di 3, mentre la maggior parte dei bambini del gruppo 1 (non pianificazione) ha conseguito un punteggio di 2. Le performance dei due gruppi esaminati sono molto simili, e si differenziano prevalentemente per la presenza o assenza di pianificazione motoria.

La formulazione della domanda principale che guida la ricerca è la seguente: in che modo la performance motoria, che dicotomizza il campione in due gruppi (i.e. chi pianifica e chi non pianifica nel compito con oggetto ruotato di 180°) è associata alla performance attentiva? Per indagare ciò, è stato considerato il parametro di dilatazione pupillare. Nelle

analisi dei dati, i due gruppi esaminati sono stati inclusi nei modelli ad effetti misti come effetti random al fine di tenere conto delle differenze individuali.

3.4.1 Domanda di ricerca e ipotesi

In riferimento all'indagine del legame tra le modificazioni del diametro pupillare durante la visione del filmato e la performance motoria mostrata al compito esecutivo, ci si è chiesti:

- a. In che modo varia l'engagement attentivo (pupilla) nel vedere la presa Corretta vs Scorretta e come varia questa relazione nei due gruppi?

Ci si aspetta che:

1. La dilatazione pupillare durante la visione di presa scorretta sia maggiore rispetto alla visione della presa corretta, indipendentemente dalla prestazione dei due gruppi al compito esecutivo;
2. La dilatazione pupillare del gruppo 2 (pianificazione) sia maggiore rispetto al gruppo 1 (non pianificazione) durante la visione di presa scorretta;
3. La dilatazione pupillare del gruppo 2 (pianificazione) sia minore rispetto al gruppo 1 (non pianificazione) durante la visione di presa corretta;
4. La differenza nella dilatazione pupillare tra azioni scorrette e corrette sia maggiore nel gruppo 2 (pianificazione).

La prima ipotesi è stata innanzitutto formulata con l'idea che visionare un'azione di raggiungimento e presa di un oggetto ruotato a 180° eseguita in modo scorretto richieda uno sforzo cognitivo superiore rispetto all'esecuzione della stessa azione in modo corretto, a prescindere dalla propria abilità o meno di saper assolvere a tale compito. Le ipotesi n. 2 e n. 3 si basano sul legame tra il saper eseguire un'azione e l'interpretazione della stessa eseguita da un'altra persona (un adulto). Ci si aspetta pertanto che i bambini che sanno pianificare, rispetto a chi non ha mostrato tale abilità, mostreranno maggiore dilatazione pupillare durante la presa scorretta (in quanto richiederebbe uno sforzo cognitivo ed un tentativo di comprensione maggiore) e minore dilatazione pupillare durante la visione della presa corretta (in quanto azione familiare per loro, appartenente al loro repertorio comportamentale). In linea con ciò, si è formulata infine l'ipotesi n. 4,

con l'idea che i bambini che hanno ottenuto punteggi più alti al compito esecutivo impieghino maggiori risorse cognitive durante la visione di prese scorrette e che la differenza tra le condizioni S e C sia per loro più evidente. Tutto questo, tenendo in considerazione che un aumento della dilatazione pupillare in relazione alle differenti richieste del compito viene generalmente interpretato come un maggiore sforzo cognitivo, come una reazione di sorpresa o come engagement attentivo (e.g. Cheng et al., 2019; Krüger et al., 2020).

3.4.2 Analisi dei dati

Per analizzare i dati sulla dilatazione pupillare registrata tramite eye-tracker, è stata eseguita la procedura di preprocessing del dato (Calignano et al., 2023). Attraverso l'utilizzo di Modelli Generalizzati Lineari ad Effetti Misti (GLMMs), si è indagato se la dilatazione pupillare vari in associazione a due fattori principali: la modalità di svolgimento del compito esecutivo, in particolare se i partecipanti avevano mostrato o meno l'abilità di pianificazione durante il compito esecutivo; e la tipologia di presa dell'oggetto visionata durante il compito attentivo, la quale poteva essere corretta o scorretta. Perciò, il modello a due fattori (2x2) è volto all'indagine dell'interazione tra la tipologia di presa osservata (a due livelli: corretta vs scorretta) e l'abilità di pianificazione mostrata (a due livelli: gruppo pianifica vs non pianifica). Sono stati dunque considerati gli effetti fissi della variabile Presa e della variabile Gruppo. Inoltre, al fine di tenere conto della variabilità individuale, sono stati inclusi gli effetti random dei partecipanti.

3.4.3 Risultati

I risultati ottenuti dalle analisi statistiche in relazione alla pupillometria sono riportati in *Figura 12*. Tale grafico permette di evidenziare l'effetto di interazione stimato dal modello Presa (nell'asse delle ascisse, condizione Corretta e Scorretta) e Gruppo (in rosso i partecipanti che hanno mostrato l'abilità di pianificazione durante il compito esecutivo, in blu i bambini che non hanno mostrato tale abilità).

Innanzitutto, il modello generalizzato lineare ad effetti misti che stima le variabilità individuali e l'interazione Presa (corretta vs scorretta) X Gruppo (pianifica vs non pianifica) mostra che la pupilla aumenta maggiormente con la visione della presa

Scorretta, indipendentemente quindi dalla prestazione dei due gruppi al compito esecutivo ($b = 0.09$, $SE = 0.0008$, $t = 106.755$, $p < 0.0001$). Infatti, confrontando le due diverse condizioni di presa nell'asse delle ascisse, è possibile osservare nell'asse delle ordinate un generale aumento della dilatazione pupillare associato alla visione di presa Scorretta (S). Inoltre, il grafico evidenzia che il gruppo Pianifica (in rosso), costituito dai bambini che al compito esecutivo hanno ottenuto punteggi di 3,4 e 5, mostra una minore dilatazione pupillare durante la visione della presa Corretta rispetto al gruppo Non Pianifica ($b = 0.01$, $SE = 0.001$, $t = 8.914$, $p < 0.01$). Mentre l'opposto si verifica nella condizione di presa Scorretta: infatti, in essa è il gruppo Non Pianifica (in blu), formato dai partecipanti che hanno ottenuto punteggi 1 e 2 al compito esecutivo, a mostrare minore dilatazione pupillare rispetto a chi pianifica ($b = -0.023$, $SE = 0.002$, $t = -14.629$, $p < 0.001$).

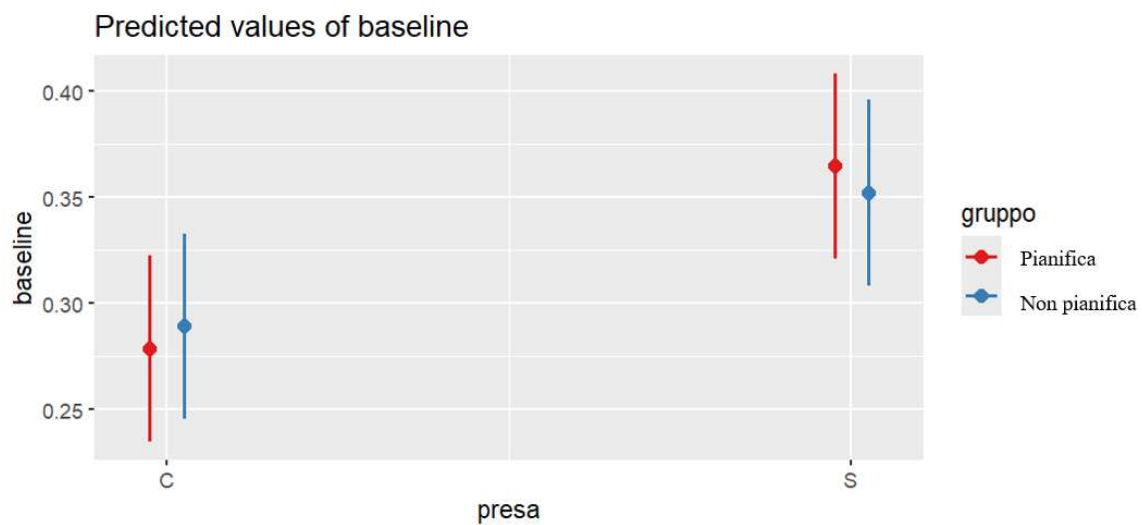


Figura 12: Effetto di interazione stimato dal modello tra Presa (Corretta vs Scorretta) e Gruppo (Pianifica vs Non pianifica) e gli intervalli di confidenza al 95%. Asse delle ascisse: condizione di visione di presa corretta (C) e scorretta (S). Asse delle ordinate: dilatazione pupillare in mm.

3.4.4 Discussione

L'obiettivo del presente lavoro di tesi riguardava l'indagine della relazione tra i due compiti sperimentali in termini di pianificazione motoria (ossia se i bambini avessero mostrato o meno capacità di pianificare al compito esecutivo) tramite la pupillometria, misura non invasiva comunemente utilizzata nella ricerca infantile (Hepach &

Westermann, 2016). In particolare, ci si era domandati in che modo variasse il diametro pupillare (engagement attentivo) nel vedere azioni di presa corrette o scorrette, e come tale relazione variasse nei due gruppi.

I risultati confermano un aumento del diametro pupillare durante la visione di azioni di presa di oggetti (tazza e bicchiere) ruotati di 180° eseguite in modo scorretto rispetto all'esecuzione corretta. Ciò si verifica indipendentemente dalla prestazione dei due gruppi al compito motorio, dimostrando la prima ipotesi di partenza e costituendo l'effetto principale riportato dalle analisi statistiche. La visione di azioni eseguite in modo scorretto sembrerebbe quindi richiedere, di base, un maggiore sforzo cognitivo rispetto alla visione di azioni svolte correttamente.

Il Modello utilizzato (GLMM) ha poi permesso di evidenziare una effettiva differenza nelle variazioni pupillari durante il compito attentivo tra coloro che hanno mostrato, o meno, l'abilità di pianificare nel compito motorio. Gli effetti interazione sono di seguito riportati.

Durante la visione della presa scorretta (S), si è verificato un aumento del diametro pupillare statisticamente significativo nei bambini appartenenti al gruppo Pianifica (gruppo 2) rispetto al gruppo Non Pianifica, confermando perciò la seconda ipotesi formulata. Questo risultato sembrerebbe in linea con la possibile associazione riportata in letteratura tra le proprie abilità motorie e la comprensione e anticipazione delle azioni altrui (Schwarzer & Jovanovic, 2024), suggerendo un maggiore sforzo cognitivo associato alla comprensione dell'azione eseguita dall'adulto in modo scorretto. I bambini che hanno mostrato l'abilità di pianificazione, dunque, avrebbero acquisito (o, comunque, sarebbero in una fase di acquisizione superiore rispetto all'altro gruppo) all'interno del loro repertorio mentale-motorio la capacità di prendere un oggetto (tazza/bicchiere) ruotato di 180° tramite una modalità di presa adattiva, se pur parziale. Di conseguenza, osservare un adulto eseguire la medesima azione in maniera scorretta (e riconosciuta come tale), sembra comportare una reazione di sorpresa e l'investimento di maggiori risorse cognitive (Krüger et al., 2020), generando un aumento del diametro pupillare in un tentativo di comprensione. Per quanto invece riguarda la visione della presa corretta (C), è emersa una differenza statisticamente significativa tra i due gruppi: il gruppo dei bambini che pianifica ha mostrato una minore dilatazione pupillare rispetto al gruppo che

non pianifica, confermando anche la terza ipotesi. Coerentemente con quanto enunciato finora, questo risultato sembrerebbe suggerire che l'osservazione di un'azione di raggiungimento e presa di un oggetto tramite l'effetto comfort dello stato finale, in chi ha acquisito tale abilità (gruppo 2, Pianifica) risulterebbe come molto familiare, non comportando un forte investimento attentivo. Invece, in chi non ha mostrato di aver ancora acquisito l'abilità di pianificazione (gruppo 1), tale visione implicherebbe la necessità di investire maggiori risorse cognitive.

Infine, è possibile osservare (*Figura 12*) come la visione di azioni eseguite con la presa scorretta comporti sì una maggiore dilatazione pupillare rispetto alle azioni svolte correttamente, ma come tale differenza sia più marcata per il gruppo che pianifica, ovvero i bambini che hanno ottenuto punteggi più alti nel compito esecutivo. Quest'ultimo risultato conferma l'ultima ipotesi (n. 4): la presa scorretta predice una maggiore dilatazione pupillare per tutti, ma sembra che i bambini che sanno pianificare impieghino risorse cognitive ancora maggiori rispetto a chi non pianifica. Complessivamente, ed in piena considerazione di una prospettiva di cognizione incarnata (Adolph & Hoch, 2019), questi dati suggeriscono che le azioni appartenenti al proprio repertorio comportamentale modulino le strategie attentive e la comprensione delle azioni altrui, implicando un investimento di risorse cognitive superiori quando esse vengono compiute in modo errato.

3.4.5 Limiti e direzioni future

Per quanto riguarda il compito esecutivo, la valutazione dei movimenti di raggiungimento e presa di oggetti dei bambini è stata condotta tramite una procedura osservativa, la quale potrebbe essere influenzata dalla soggettività dell'osservatore. Benché i punteggi siano stati assegnati da due osservatrici indipendenti con inter-rater reliability pari al 95.83%, una rilevazione strumentale della performance motoria potrebbe superare i limiti della procedura osservativa qui utilizzata.

In riferimento al compito attentivo, le educatrici dei nidi erano state invitate ad accompagnare gli altri bambini in aree di gioco lontane dalla stanza dedicata alla visione del filmato. Tuttavia, durante la presentazione del filmato, si sono verificati occasionali rumori esterni che potrebbero aver influenzato l'attenzione di alcuni partecipanti. Inoltre, considerando l'età dei bambini, bisogna tenere conto delle diverse capacità di

adattamento all'ambiente che, pur essendo familiare, era stato modificato ed appositamente attrezzato per la procedura sperimentale.

Studi futuri potrebbero approfondire l'andamento del diametro pupillare dei partecipanti nel corso del filmato in relazione alla loro prestazione motoria, esplorando eventuali differenze nei diversi momenti dell'osservazione di azioni di presa di oggetti ruotati di 180°. Inoltre, sarebbe interessante includere altre misure raccolte tramite l'eye-tracker per ottenere una visione più completa dei processi attentivi e cognitivi coinvolti.

4 CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha indagato le abilità di pianificazione motoria di bambini di età compresa tra 13 e 39 mesi mostrate durante un compito esecutivo di raggiungimento e presa di oggetti (un bicchiere ed una tazza) ruotati di 180°, e le loro prestazioni attentive durante un compito visivo che richiedeva l'osservazione di un filmato che riproduceva le medesime azioni eseguite da un adulto.

In linea con la cornice teorica di riferimento, ovvero l'*embodied cognition*, che considera mente, cervello e corpo come un sistema in continua interazione dinamica e reciproca con l'ambiente (Shapiro, 2007), si è indagato l'emergere dei processi di pianificazione nell'infanzia, un periodo dello sviluppo caratterizzato da un'intensa attività di esplorazione dell'ambiente (Wellsby & Pexman, 2014).

Ci si è domandati in che modo variasse l'engagement attentivo (diametro pupillare) durante la visione di prese corrette e scorrette, e se questa relazione fosse modulata dalla performance motoria del partecipante durante il compito esecutivo. I risultati hanno evidenziato un aumento della dilatazione pupillare durante la visione di prese scorrette, indipendentemente dalla prestazione dei due gruppi. Ciò suggerisce che la loro osservazione richieda uno sforzo cognitivo maggiore rispetto alla visione di azioni corrette. Inoltre, i risultati hanno messo in luce un aumento del diametro pupillare durante le prese scorrette nel gruppo dei bambini che ha mostrato l'abilità di pianificazione al compito esecutivo, rispetto al gruppo di bambini che non hanno mostrato tale abilità. Infine, i risultati suggeriscono un andamento opposto durante la visione di prese corrette. Complessivamente, questi risultati sembrano dunque suggerire come i processi di elaborazione cognitiva ed attenzione visiva durante le azioni motorie siano fortemente influenzati sia dalla modalità di presa che dalle competenze motorie individuali. Questi dati sono in linea con quanto riportato da Schwarzer & Jovanovic (2024), secondo cui man mano che i bambini acquisiscono nuove esperienze motorie, migliorano le loro capacità di fare previsioni accurate, affinando i loro modelli interni ed interagendo in modo più efficace con l'ambiente. È necessario tenere in considerazione che la maggior parte dei partecipanti del gruppo Pianificazione ha ottenuto un punteggio di 3 (movimento *reach to grasp* formato da parziale pianificazione), mentre la maggior parte dei partecipanti del gruppo Non Pianificazione ha ottenuto un punteggio di 2 (non pianificazione, non rotazione ma adattamento del tentativo di presa in seguito a feedback

tattili). Questo suggerisce che il campione della presente ricerca si trova in fase di acquisizione del processo di pianificazione motoria, e che le loro abilità sono in evoluzione.

Complessivamente, questi risultati suggeriscono come le competenze motorie appartenenti al proprio repertorio comportamentale abbiano un ruolo nell'anticipazione ed interpretazione delle azioni osservate. Saper eseguire un'azione favorisce il riconoscimento della medesima azione compiuta da un altro, comportando un maggiore sforzo cognitivo per azioni scorrette ed un minor engagement attentivo per azioni corrette, come conseguenza della loro familiarità. Perciò, è stata evidenziata la complessità delle interazioni tra abilità motorie e processamento cognitivo, dimostrando come queste due dimensioni siano strettamente interconnesse. Inoltre, i risultati forniscono spunti preziosi per lo sviluppo di strategie terapeutiche ed educative personalizzate, che possano meglio supportare e stimolare sia le abilità motorie che quelle cognitive nel corso dell'infanzia. Infatti, l'integrazione di approcci che tengano in considerazione la dimensione sensomotoria e cognitiva in modo congiunto potrebbe ottimizzare i programmi di intervento, favorendo un miglioramento complessivo di entrambe le competenze (come suggerito da Harbourne & Berger, 2019).

BIBLIOGRAFIA

- Adalbjornsson, C. F., Fischman, M. G., & Rudisill, M. E. (2008). The end-state comfort effect in young children. *Research quarterly for exercise and sport*, 79(1), 36–41. <https://doi.org/10.1080/02701367.2008.10599458>
- Adolph, K. E., & Hoch, J. E. (2019). Motor Development: Embodied, Embedded, Enculturated, and Enabling. *Annual Review of Psychology*, 70(1), 141–164. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102836>
- Ambrosini, E., Reddy, V., De Looper, A., Costantini, M., Lopez, B., & Sinigaglia, C. (2013). Looking Ahead: Anticipatory Gaze and Motor Ability in Infancy. *PLoS ONE*, 8(7), e67916. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067916>
- Bornstein, M. H., Hahn, C.-S., & Suwalsky, J. T. D. (2013). Physically Developed and Exploratory Young Infants Contribute to Their Own Long-Term Academic Achievement. *Psychological Science*, 24(10), 1906–1917. <https://doi.org/10.1177/0956797613479974>
- Brandone, A. C., Horwitz, S. R., Aslin, R. N., & Wellman, H. M. (2014). Infants' goal anticipation during failed and successful reaching actions. *Developmental Science*, 17(1), 23–34. <https://doi.org/10.1111/desc.12095>
- Cadoret, G., Bigras, N., Duval, S., Lemay, L., Tremblay, T., & Lemire, J. (2018). The mediating role of cognitive ability on the relationship between motor proficiency and early academic achievement in children. *Human Movement Science*, 57, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.12.002>
- Calignano, G., Girardi, P., & Altoè, G. (2023). First steps into the pupillometry multiverse of developmental science. *Behavior Research Methods*, 56(4), 3346–3365. <https://doi.org/10.3758/s13428-023-02172-8>
- Cannon, E. N., & Woodward, A. L. (2012). Infants generate goal-based action predictions. *Developmental Science*, 15(2), 292–298. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01127.x>
- Castro-Alonso, J. C., Ayres, P., Zhang, S., De Koning, B. B., & Paas, F. (2024). Research Avenues Supporting Embodied Cognition in Learning and Instruction. *Educational Psychology Review*, 36(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09847-4>
- Cheng, C., Kaldy, Z., & Blaser, E. (2019). Focused attention predicts visual working memory performance in 13-month-old infants: A pupillometric study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 36, 100616. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100616>
- Claxton, L. J., Keen, R., & McCarty, M. E. (2003). Evidence of Motor Planning in Infant Reaching Behavior. *Psychological Science*, 14(4), 354–356. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.24421>

- Colombo-Dougovito, A. M. (2017). The role of dynamic systems theory in motor development research: How does theory inform practice and what are the potential implications for autism spectrum disorder? *International Journal on Disability and Human Development*, 16(2). <https://doi.org/10.1515/ijdhhd-2016-0015>
- Comalli, D. M., Keen, R., Abraham, E. S., Foo, V. J., Lee, M.-H., & Adolph, K. E. (2016). The development of tool use: Planning for end-state comfort. *Developmental Psychology*, 52(11), 1878–1892. <https://doi.org/10.1037/dev0000207>
- Craighero, L. (2024). An embodied approach to fetal and newborn perceptual and sensorimotor development. *Brain and Cognition*, 179, 106184. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2024.106184>
- Daum, M. M., & Gredebäck, G. (2011). The development of grasping comprehension in infancy: Covert shifts of attention caused by referential actions. *Experimental Brain Research*, 208(2), 297–307. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2479-9>
- Davis, J. D., Coulson, S., Arnold, A. J., & Winkielman, P. (2021). Dynamic Grounding of Concepts: Implications for Emotion and Social Cognition. In M. D. Robinson & L. E. Thomas (A c. Di), *Handbook of Embodied Psychology* (pp. 23–42). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78471-3_2
- Elsner, B., & Adam, M. (2021). Infants' Goal Prediction for Simple Action Events: The Role of Experience and Agency Cues. *Topics in Cognitive Science*, 13(1), 45–62. <https://doi.org/10.1111/tops.12494>
- Engel, A. K., Maye, A., Kurthen, M., & König, P. (2013). Where's the action? The pragmatic turn in cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(5), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.03.006>
- Español, S., Martínez, M., & Rodríguez, F. G. (A c. Di). (2022). *Moving and Interacting in Infancy and Early Childhood: An Embodied, Intersubjective, and Multimodal Approach to the Interpersonal World* (pp. 1-20). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-08923-7>
- Falck-Ytter, T., Gredebäck, G., & Von Hofsten, C. (2006). Infants predict other people's action goals. *Nature Neuroscience*, 9(7), 878–879. <https://doi.org/10.1038/nn1729>
- Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2003). Action plans used in action observation. *Nature*, 424(6950), 769–771. <https://doi.org/10.1038/nature01861>
- Franchak, J. M. (2020). The ecology of infants' perceptual-motor exploration. *Current Opinion in Psychology*, 32, 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.06.035>
- Frontino, L. (2024). *Dall'azione alla cognizione: le radici della pianificazione* [Tesi di Laurea Magistrale]. Università degli Studi di Padova.

- Fuelscher, I., Williams, J., Wilmut, K., Enticott, P. G., & Hyde, C. (2016). Modeling the Maturation of Grip Selection Planning and Action Representation: Insights from Typical and Atypical Motor Development. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00108>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119(2), 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Ganglmayer, K., Attig, M., Daum, M. M., & Paulus, M. (2019). Infants' perception of goal-directed actions: A multi-lab replication reveals that infants anticipate paths and not goals. *Infant Behavior and Development*, 57, 101340. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2019.101340>
- Gehb, G., Jovanovic, B., Kelch, A., & Schwarzer, G. (2023). The Influence of Active and Passive Motion Experience on Infants' Visual Prediction Ability. *Perceptual and Motor Skills*, 130(1), 170–190. <https://doi.org/10.1177/00315125221137949>
- Gottwald, J. M., Achermann, S., Marciszko, C., Lindskog, M., & Gredebäck, G. (2016). An Embodied Account of Early Executive-Function Development: Prospective Motor Control in Infancy Is Related to Inhibition and Working Memory. *Psychological Science*, 27(12), 1600–1610. <https://doi.org/10.1177/09567976166667447>
- Gredebäck, G., & Falck-Ytter, T. (2015). Eye Movements During Action Observation. *Perspectives on Psychological Science*, 10(5), 591–598. <https://doi.org/10.1177/1745691615589103>
- Gredebäck, G., Green, D., Falck-Ytter, T., Rosander, K., & Hofsten, C. (2009). Action Type and Goal Type Modulate Goal-Directed Gaze Shifts in 14-Month-Old Infants. *Developmental psychology*, 45, 1190–1194. <https://doi.org/10.1037/a0015667>
- Gredebäck, G., & Von Hofsten, C. (2004). Infants' Evolving Representations of Object Motion During Occlusion: A Longitudinal Study of 6- to 12-Month-Old Infants. *Infancy*, 6(2), 165–184. https://doi.org/10.1207/s15327078in0602_2
- Harbourne, R. T., & Berger, S. E. (2019). Embodied Cognition in Practice: Exploring Effects of a Motor-Based Problem-Solving Intervention. *Physical Therapy*, 99(6), 786–796. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz031>
- Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B., & Swinnen, S. P. (2018). Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 94, 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.08.003>
- Hatsopoulos, N. G., & Suminski, A. J. (2011). Sensing with the Motor Cortex. *Neuron*, 72(3), 477–487. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.020>

- Hepach, R., & Westermann, G. (2016). Pupillometry in Infancy Research. *Journal of Cognition and Development, 17*(3), 359–377. <https://doi.org/10.1080/15248372.2015.1135801>
- Jackson, I. R., & Sirois, S. (2022). But that’s possible! Infants, pupils, and impossible events. *Infant Behavior and Development, 67*, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2022.101710>
- Jeannerod, M. (2001). Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage, 14*(1), S103–S109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Johnson, M. (2006). Mind incarnate: From Dewey to Damasio. *Daedalus, 135*(3), 46–54. <https://doi.org/10.1162/daed.2006.135.3.46>
- Jovanovic, B., & Schwarzer, G. (2011). Learning to grasp efficiently: The development of motor planning and the role of observational learning. *Vision Research, 51*(8), 945–954. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.003>
- Karl, J. M., Slack, B. M., Wilson, A. M., Wilson, C. A., & Bertoli, M. E. (2019). Increasing task precision demands reveals that the reach and grasp remain subject to different perception-action constraints in 12-month-old human infants. *Infant Behavior and Development, 57*, 101382. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2019.101382>
- Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences, 2*(10).
- Keen, R. (2011). The Development of Problem Solving in Young Children: A Critical Cognitive Skill. *Annual Review of Psychology, 62*(1), 1–21. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.031809.130730>
- Knudsen, B., Henning, A., Wunsch, K., Weigelt, M., & Aschersleben, G. (2012). The End-State Comfort Effect in 3- to 8-Year-Old Children in Two Object Manipulation Tasks. *Frontiers in Psychology, 3*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00445>
- Kochukhova, O., & Gredebäck, G. (2010). Preverbal Infants Anticipate That Food Will Be Brought to the Mouth: An Eye Tracking Study of Manual Feeding and Flying Spoons. *Child Development, 81*(6), 1729–1738. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01506.x>
- Krajenbrink, H., Lust, J., Wilson, P., & Steenbergen, B. (2020). Development of motor planning in children: Disentangling elements of the planning process. *Journal of Experimental Child Psychology, 199*, 104945. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104945>
- Krüger, M., Bartels, W., & Krist, H. (2020). Illuminating the Dark Ages: Pupil Dilation as a Measure of Expectancy Violation Across the Life Span. *Child Development, 91*(6), 2221–2236. <https://doi.org/10.1111/cdev.13354>

- Laeng, B., Sirois, S., & Gredebäck, G. (2012). Pupillometry: A Window to the Preconscious? *Perspectives on Psychological Science*, 7(1), 18–27. <https://doi.org/10.1177/1745691611427305>
- Leitan, N., & Chaffey, L. (2014). Embodied Cognition and its applications: A brief review. *Sensoria: A Journal of Mind, Brain & Culture*, 10, 3–10. <https://doi.org/10.7790/sa.v10i1.384>
- Lux, V., Non, A. L., Pexman, P. M., Stadler, W., Weber, L. A. E., & Krüger, M. (2021). A Developmental Framework for Embodiment Research: The Next Step Toward Integrating Concepts and Methods. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15, 672740. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2021.672740>
- Mathôt, S., & Vilotijević, A. (2022). Methods in cognitive pupillometry: Design, preprocessing, and statistical analysis. *Behavior Research Methods*, 55(6), 3055–3077. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01957-7>
- McCarty, M. E., Clifton, R. K., & Collard, R. R. (1999). Problem solving in infancy: the emergence of an action plan. *Developmental psychology*, 35(4), 1091–1101. <https://doi.org/10.1037//0012-1649.35.4.1091>
- Michel, G. F., Campbell, J. M., Marcinowski, E. C., Nelson, E. L., & Babik, I. (2016). Infant Hand Preference and the Development of Cognitive Abilities. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00410>
- Moersdorf, L., Freund, A. M., & Daum, M. M. (2023). What do you focus on? An investigation of goal focus from childhood to old age. *Psychological Research*, 87(7), 2120–2137. <https://doi.org/10.1007/s00426-023-01804-0>
- Monroy, C. D., Gerson, S. A., & Hunnius, S. (2017). Toddlers' action prediction: Statistical learning of continuous action sequences. *Journal of Experimental Child Psychology*, 157, 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.12.004>
- Pereira, K., Medeiros, J. C., Bernardes, L. R., & Souza, L. A. P. S. D. (2019). End-state comfort effect in manipulative motor actions of typical and atypical children: A systematic review. *Fisioterapia e Pesquisa*, 26(2), 202–209. <https://doi.org/10.1590/1809-2950/17009426022019>
- Quadrelli, E. (2022). Comprendere le azioni e le emozioni altrui attraverso il corpo. In *Mente e corpo nello sviluppo*. Carocci editore.
- Rat-Fischer, L., Plunkett, K., Von Bayern, A. M. P., & Kacelnik, A. (2024). Object play and problem solving in infancy: Insights into tool use. *Journal of Experimental Child Psychology*, 244, 105957. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2024.105957>

- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2002). Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), 149–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00308-2](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00308-2)
- Rosenbaum, D. A., Chapman, K. M., Weigelt, M., Weiss, D. J., & Van Der Wel, R. (2012). Cognition, action, and object manipulation. *Psychological Bulletin*, 138(5), 924–946. <https://doi.org/10.1037/a0027839>
- Rosenbaum, D. A., Marchk, F., Barnes, H. J., Vaughan, J., Slotta, J. D., & Jorgensen, M. J. (1990). Constraints for Action Selection: Overhand Versus Underhand Grips. In M. Jeannerod (A c. Di), *Attention and Performance XIII* (1^a ed., pp. 321–342). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203772010-10>
- Rounis, E., Zhang, Z., Pizzamiglio, G., Duta, M., & Humphreys, G. (2017). Factors influencing planning of a familiar grasp to an object: What it is to pick a cup. *Experimental Brain Research*, 235(4), 1281–1296. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4883-x>
- Schwarzer, G., & Jovanovic, B. (2024). Infants’ predictive minds: The role of motor experience. *Child Development Perspectives*, cdep.12506. <https://doi.org/10.1111/cdep.12506>
- Shapiro, L. (2007). The Embodied Cognition Research Programme. *Philosophy Compass*, 2(2), 338–346. <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2007.00064.x>
- Smith, L., & Gasser, M. (2005). The Development of Embodied Cognition: Six Lessons from Babies. *Artificial Life*, 11(1–2), 13–29. <https://doi.org/10.1162/1064546053278973>
- Turati, C., & Valenza, E. (A c. Di). (2022). *Mente e corpo nello sviluppo*. Carocci editore.
- Valenza, E., & Turati, C. (A c. Di). (2019). *Promuovere lo sviluppo della mente*. Il Mulino.
- Venturini, A. (2021). *Movimenti anticipatori e tratti autistici subclinici nei bambini in età prescolare*. [Tesi di Laurea Magistrale]. Università degli Studi di Padova.
- Weigelt, M., & Schack, T. (2010). The Development of End-State Comfort Planning in Preschool Children. *Experimental Psychology*, 57(6), 476–482. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000059>
- Wellsby, M., & Pexman, P. M. (2014). Developing embodied cognition: Insights from children’s concepts and language processing. *Frontiers in Psychology*, 5, 83250. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00506>

Wunsch, K., Henning, A., Aschersleben, G., & Weigelt, M. (2013). A Systematic Review of the End-State Comfort Effect in Normally Developing Children and in Children With Developmental Disorders. *Journal of Motor Learning and Development*, 1(3), 59–76. <https://doi.org/10.1123/jmld.1.3.59>

Zhang, F., & Emberson, L. L. (2020). Using pupillometry to investigate predictive processes in infancy. *Infancy*, 25(6), 758–780. <https://doi.org/10.1111/infa.12358>

Zhang, F., Jaffe-Dax, S., Wilson, R. C., & Emberson, L. L. (2019). Prediction in infants and adults: A pupillometry study. *Developmental Science*, 22(4), e12780. <https://doi.org/10.1111/desc.12780>